

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY
AND ORTHOPEDICS
OF RUSSIA

2024 • Т. 30 • № 2

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)

Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 30, N 2, 2024

QUARTERLY SCIENTIFIC AND PRACTICAL PEER-REVIEWED JOURNAL

Journal founded in 1993

FOUNDERS

- Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector
Address: 3A, Aptekarskiy lane, office 1N,
St. Petersburg, 191186, Russia
e-mail: info@eco-vector.com
<https://eco-vector.com>
Phone: +7(812)648-83-67

EDITORIAL OFFICE

Address: 8, Akademika Baikova st.,
St. Petersburg, Russia, 195427
e-mail: journal@rniito.org
<https://journal.rniito.org>
Phone: +7(812)670-86-84

INDEXING

Scopus
Emerging Sources Citation Index
(Web of Science)
Russian Science Citation Index
Google Scholar
Directory of Open Access Journals (DOAJ)
WorldCat
BASE
Dimensions
Ulrich's Periodicals Directory
OpenAIRE

The journal is listed among the peer-reviewed scientific periodicals recommended by Higher Attestation Commission at the Ministry of Education and Science.

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications.
Registration certificate PI No. FC77-82474 was issued on December 10, 2021.



The content is available under the Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY license.

Editors: I.V. Kolesnikova, A.S. Shen
Layout: I.N. Bukreeva
Translator: M.A. Sergeeva, Chepushtanova A.E.

Printed in "Typography Lesnik",
197183, St. Petersburg, Sabirovskaya st., 37

© Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia, 2024
© Eco-Vector, 2024

Editor-in-Chief

Rashid M. Tikhilov – Dr. Sci. (Med.), Professor
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Igor I. Shubnyakov – Dr. Sci. (Med.)
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Executive secretary

Irina V. Kolesnikova
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Ildar F. Akhtyamov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kazan State Medical University, Kazan, Russia)
Aleksey G. Baidurashvili – Dr. Sci. (Med.), Professor (Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia)
Igor G. Belenkiy – Dr. Sci. (Med.) (Dzhanelidze St. Petersburg Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia)
Mikhail V. Belov – Cand. Sci. (Med.) (Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)
Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Dmitry Yu. Borzunov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia)
Vadim E. Dubrov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)
Aleksander K. Dulaev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Pavlov University, St. Petersburg, Russia)
Georgiy S. Golubev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia)
Luigi Zagra – MD, Professor (Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)
Nikolai N. Kornilov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Andrey V. Korolev – Dr. Sci. (Med.), Professor (European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)
Andrey A. Korytkin – Cand. Sci. (Med.) (Tsvivan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)
Djoldas Kuldjanov – MD, Professor (University Hospital, St. Louis, USA)
Dmitry A. Malanin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia)
Alexander M. Miromanov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Chita State Medical Academy, Chita, Russia)
Vyacheslav N. Mitrofanov – Cand. Sci. (Med) (Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia)
Valery Yu. Murylev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia)
Javad Parvizi – MD, Professor (Rothman Institute, Philadelphia, USA)
Carsten Perka – MD, Professor (Charité – University Medicine, Berlin, Germany)
Dmitry A. Ptashnikov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Sergey O. Ryabykh – Dr. Sci. (Med.) (Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia)
Andrey P. Sereda – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Leonid N. Solomin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Marc Thomsen – MD, Professor (Mittelbaden Clinics Baden-Baden Balg, Baden-Baden, Germany)
Vladimir V. Khominets – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)
Robert Hube – MD, Professor (Center of Arthroplasty, Munich, Germany)

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journal.rniito.org>. Permissions to reproduce material must be obtained in writing to the publisher and retained in order to confirm the legality of using reproduced materials.



Травматология и ортопедия России

Том 30, Выпуск 2, 2024

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1993 г.

УЧРЕДИТЕЛИ

- ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России
- ООО «Эко-Вектор»

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»
Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург,
Аптекарский пер., д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
<https://eco-vector.com>
тел.: +7(812)648-83-67

РЕДАКЦИЯ

Адрес: 195427, Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, дом 8;
тел.: +7 (812) 670-86-84
e-mail: journal@rniito.org
<https://journal.rniito.org>

ИНДЕКСАЦИЯ

Scopus
Emerging Sources Citation Index (Web of Science)
RSCI на платформе Web of Science
РИНЦ
Google Scholar
BASE
Dimensions
DOAJ (Directory of Open Access Journals)
Ulrich's Periodicals Directory
WorldCat
OpenAIRE

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал зарегистрирован Госкомитетом печати, телерадиовещания и массовых коммуникаций 12 апреля 1993 г. (Свидетельство № 0110540). Перерегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия СМИ 10 декабря 2021 г. (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-82474)



Контент журнала доступен под лицензией Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY.

Распространяется по подписке:
Индекс **ПНО30** в каталоге «Почта России»;
Индекс **33020** в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакторы: Колесникова И.В., Шен А.С.
Технический редактор: Гаврилова С.В.
Переводчики: Сергеева М.А., Чепуштанова А.Е.

Подписано в печать 20.06.2024.
Формат 60×84¹/₈. Объем 29 печ. л.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург,
ул. Сабировская, д. 37.
Тираж 250 экз.
Цена свободная.

© ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России, 2024
© ООО «Эко-Вектор», 2024

Главный редактор

Тихилов Рашид Муртузалиевич – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Заместитель главного редактора

Шубняков Игорь Иванович – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь

Колесникова Ирина Владимировна (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ахтямов И.Ф. – д-р мед. наук, профессор (Казанский ГМУ, Казань, Россия)
Баиндурашвили А.Г. – академик РАН, д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия)
Беленький И.Г. – д-р мед. наук, доцент (СПб НИИ скорой помощи им. И.И. Джanelидзе, Санкт-Петербург, Россия)
Белов М.В. – канд. мед. наук (Клиническая больница скорой медицинской помощи им. Н.В. Соловьевы, Ярославль, Россия)
Божкова С.А. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Борзунов Д.Ю. – д-р мед. наук, профессор (Уральский ГМУ, Екатеринбург, Россия)
Голубев Г.Ш. – д-р мед. наук, профессор (Ростовский ГМУ, Ростов-на-Дону, Россия)
Дубров В.Э. – д-р мед. наук, профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия)
Дулаев А.К. – д-р мед. наук, профессор (ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия)
Загра Л. – д-р медицины, профессор (Ортопедический институт Галеацци, Милан, Италия)
Корнилов Н.Н. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Королев А.В. – д-р мед. наук, профессор (ЕССТО, Москва, Россия)
Корыткин А.А. – канд. мед. наук (Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия)
Кочиш А.Ю. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Кренн В. – д-р медицины, профессор (Центр гистологии, цитологии и молекулярной диагностики, Трир, Германия)
Кульджанов Д. – д-р медицины, профессор (Университетская клиника, Сент-Луис, США)
Маланин Д.А. – д-р мед. наук, профессор (Волгоградский ГМУ, Волгоград, Россия)
Мироманов А.М. – д-р мед. наук, профессор (Читинская ГМА, Чита, Россия)
Митрофанов В.Н. – канд. мед. наук (Приволжский исследовательский медицинский университет, Новгород, Россия)
Мурылев В.Ю. – д-р мед. наук, профессор (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия)
Парвизи Дж. – д-р медицины, профессор (Институт Ротмана, Филадельфия, США)
Перка К. – д-р медицины, профессор (Центр скелетно-мышечной хирургии Университетской клиники Шарите, Берлин, Германия)
Пташников Д.А. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Рябых С.О. – д-р мед. наук (РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия)
Серета А.П. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Соломин Л.Н. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Томсен М. – д-р медицины, профессор (Клиника Миттельбаден, Баден-Баден, Германия)
Хоминец В.В. – д-р мед. наук, профессор (ВМедА им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия)
Хубэ Р. – д-р медицины, профессор (Центр эндопротезирования, Мюнхен, Германия)

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journal.rniito.org>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя и редакции, ссылка на журнал обязательна.



CONTENTS

CLINICAL STUDIES

- Bozhkova S.A., Oleinik Yu.V., Artyukh V.A., Antipov A.P., Toropov S.S.**
The First Step of Two-Stage Hip Revision: What Affects the Result? 5
- Burtsev A.V., Tryapichnikov A.S., Ermakov A.M., Silant'eva T.A., Rozhkov N.I., Dyatlova I.M.**
Primary Data from the Local Registry of Periprosthetic Hip Infection at the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics 16
- Murylev V.Yu., Parvizi J., Rudnev A.I., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Muzychenkov A.V., Alekseev S.S., Erokhin N.E., Yakovlev K.G.**
The Impact of Extended Preoperative Examination on the Treatment Tactics Choice Before the Second Stage of Revision Hip Arthroplasty 29
- Tufanova O.S., Kasimova A.R., Astakhov D.I., Rukina A.N., Bozhkova S.A.**
Factors Affecting the Course and Prognosis of Implant-Associated Infection Caused by *Klebsiella* spp. 40
- Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Neverov V.A., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnyukov I.Yu., Baskaeva T.V., Poznovich M.S., Vyrikov D.V., Rybinskikh T.S.**
Causes of Total Hip Replacement in Children: Part 1 54
- Zadneprovskiy N.N., Scharifullin F.A., Zhukov A.I., Barmina T.G., Ivanov P.A.**
Influence of Age on Pelvic Inlet and Outlet Radiographic Views 72
- Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Lukinov V.L., Rubtsov D.V., Pavlov V.V., Korytkin A.A.**
Peroneus Longus Tendon Autograft for One-Stage Revision ACL Reconstruction: Mid-Term Results 82
- Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Stafeev D.V., Kutuzov M.O.**
Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears by Different Surgical Techniques: Comparative Analysis of Early Outcomes 97
- Gazimiev A.M., Ilyin D.O., Koneva E.S., Logvinov A.N., Pilipson Zh.Yu., Frolov A.V., Lyadov K.V., Achkasov E.E., Korolev A.V.**
Single Assessment Numeric Evaluation Score in Shoulder Pathologies: Cross-Cultural Adaptation and Validation into Russian 109
- Petlenko I.S., Fedyunina S.Yu., Aliyev A.G., Bilyk S.S., Zakhmatov N.S., Shubnyakov I.I.**
Effectiveness of 3D Visualization Technologies in Planning and Performing Reconstructive Plastic Surgeries in Patients with Elbow Contractures Caused by Ossification 120

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

- Maiborodin I.V., Ryaguzov M.E., Kuzkin S.A., Shevela A.A., Sheplev B.V., Marinkin I.O., Maiborodina V.I., Lushnikova E.L.**
Risk of Thromboembolism After Intraosseous Implantation of Metallic Devices with Extracellular Vesicles Derived from Multipotent Stromal Cells: Preliminary Results 131
- NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS**
- Khodjanov I.Yu., Ubaydullaev B.S.**
A Modified Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with BTB Autograft 143
- Malagoli E., Vandenbulcke F., Ziadi M., Lucchesi G., Zini S., Kirienko A.**
Dead or Alive — Use of Indocyanine Green Angiography for Intraoperative Assessment of Bone Vitality in Nonunion Fractures: A Controlled Case Series of Four Patients 151
- CASE REPORTS**
- Maierov B.A., Belen'kiy I.G., Il'in V.S., Sergeev G.D.**
Impression Fracture of the Lateral Condyle of Tibial Plateau Complicated by Acute Peri-Implant Infection: A Case Report 158
- Vishnevskiy A.A., Naumov D.G., Shchelkunov M.M., Novitskaya T.A.**
Chronic Pyogenic Spondylitis in Patients with Spinal Gout: A Case Series and Literature Review 168
- DISCUSSIONS**
- Sereda A.P., Dzhabadov A.A., Cherny A.A.**
Artificial Intelligence in Traumatology and Orthopedics. Reality, Fantasy or False Hopes? 181
- REVIEWS**
- Astakhov D.I., Artyukh V.A.**
Pathogenesis and Modern Methods for Treatment of Hip Infectious Arthritis: A Review 192
- JUBILEES**
- Valentin A. Neverov**
On the 80th Anniversary of the Birth 206
- MEMORIAL DATES**
- Danilyak V.V., Dubrov V.E., Abeltsev V.P.**
In Memory of Kristaps Juris Keggi — A Foreign Member of the Russian Academy of Sciences 208
- FOR PRACTICAL PHYSICIANS**
- Hyaluronic Acid in Traumatology and Orthopedics. Orthobiological Aspects. Consensus Project 215
- NEWS**
- Vreden Games 2024: Scientific Competitions of Young Scholars 231
- Experts Discussed the Issues on Rehabilitation and Conservative Treatment of Trauma and Orthopedic Patients 232



The First Step of Two-Stage Hip Revision: What Affects the Result?

Svetlana A. Bozhkova, Yuliya V. Oleinik, Vasilii A. Artyukh, Alexander P. Antipov, Sergei S. Toropov

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. The most common method of treatment of chronic periprosthetic joint infection (PJI) is considered to be a two-stage revision arthroplasty. The efficacy of this technique is largely determined by the results of infection management after the first (debridement) stage, which may depend on many factors. At the same time, the widespread tendency to reduce the duration of patients' hospital stay brings to the forefront the problem of long wait for the results of preoperative microbiological examination.

Aims of the study: 1) to retrospectively evaluate the efficacy of the debridement stage of chronic periprosthetic hip joint infection in 2021 depending on the availability of preoperative microbiological examination results; 2) to determine the factors influencing the treatment outcome.

Methods. Patients (n = 86) with chronic PJI of the hip were allocated into two groups depending on the presence or absence of results of the microbiological examination of preoperative biomaterials (aspirate and/or tissue biopsy) at the time of performing the first stage of the two-stage revision arthroplasty.

Results. The availability of final results of the microbiological examination (MBE) of joint aspirate at the time of surgery had no significant effect on the efficacy of infection management (p = 0.536; OR = 1.53, 95% CI 0.43-5.45). There was a significant reduction of the risk when the results of preoperative and intraoperative MBE coincided (p = 0.024; OR = 0.121, 95% CI 0.015-0.990). An increased risk of adverse outcome of the debridement stage of treatment was observed in the case of types 2C (p = 0.042; OR = 6.66; 95% CI 1.26-35.2) and 3B (p = 0.078; OR = 8.1, 95% CI 1.015-64.8) acetabular defects, type 3A femoral defects (p = 0.021; OR = 6.57, 95% CI 1.49-29.01), and connective tissue diseases (p = 0.062; OR = 5.25, 95% CI 1.05-26.2). The presence of microbial associations (p=0.02; OR = 6.75, 95% CI 1.36-33.44) and the presence of Gram-negative bacteria in them (p = 0.058; OR = 4.2, 95% CI 1.02-17.20) significantly worsened the treatment prognosis. As the number of patient's risk factors increased, the probability of an unfavorable outcome increased significantly (p<0.001).

Conclusions. Polymicrobial infection, presence of Gram-negative bacteria in microbial associations, connective tissue diseases, types 2C and 3B acetabular defects, type 3A femoral bone defects, and total number of risk factors in one patient had a significant negative impact on the outcome of debridement surgery. Apparently, the results of the microbiological examination of preoperatively sampled biomaterials are much more important as a diagnostic criterion for suspected periprosthetic infection than as a criterion for the drug choice for etiotropic antibacterial therapy. However, this assumption should be studied on a larger sample of patients.

Keywords: chronic periprosthetic joint infection, PJI, microbiological examination, initial antibiotic treatment, risk factors for recurrence of PJI.

Cite as: Bozhkova S.A., Oleinik Yu.V., Artyukh V.A., Antipov A.P., Toropov S.S. The First Step of Two-Stage Hip Revision: What Affects the Result? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):5-15. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17518>.

✉ Yuliya V. Oleinik; e-mail: hamster715@gmail.com

Submitted: 01.04.2024. Accepted: 13.05.2024. Published Online: 23.05.2024.

© Bozhkova S.A., Oleinik Yu.V., Artyukh V.A., Antipov A.P., Toropov S.S., 2024



Научная статья
УДК 616.728.2-089.844-022-08
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17518>

Санлирующий этап лечения пациентов с хронической перипротезной инфекцией тазобедренного сустава: от чего зависит результат?

С.А. Божкова, Ю.В. Олейник, В.А. Артюх, А.П. Антипов, С.С. Торопов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Самым распространенным методом лечения хронической перипротезной инфекции (ППИ) считается двухэтапное резэндопротезирование. Эффективность данной методики во многом определяют результаты купирования инфекции после первого (санлирующего) этапа, что может зависеть от множества различных факторов. При этом повсеместная тенденция к уменьшению продолжительности госпитализации профильных пациентов выводит на передний план проблему длительного ожидания результатов дооперационного микробиологического исследования.

Цели исследования: 1) ретроспективно оценить эффективность санлирующего этапа лечения хронической перипротезной инфекции тазобедренного сустава за 2021 г. в зависимости от наличия результатов дооперационного микробиологического исследования; 2) определить факторы, влияющие на исход лечения.

Материал и методы. Пациенты ($n = 86$) с хронической ППИ тазобедренного сустава были распределены на две группы в зависимости от наличия или отсутствия результатов микробиологического исследования дооперационных биоматериалов (аспират и/или тканевой биоптат) на момент выполнения первого этапа двухэтапного ревизионного эндопротезирования.

Результаты. Наличие окончательных результатов микробиологического исследования (МБИ) суставного аспирата на момент выполнения операции не оказывало значимого влияния на эффективность купирования инфекционного процесса ($p = 0,536$; ОШ = 1,53; 95% ДИ 0,43–5,45). Установлено значимое снижение риска при полном совпадении результатов МБИ до- и интраоперационных материалов ($p = 0,024$; ОШ = 0,121; 95% ДИ 0,015–0,990). Увеличение риска неблагоприятного исхода санлирующего этапа лечения наблюдалось при наличии дефектов вертлужной впадины типов 2С ($p = 0,042$; ОШ = 6,66; 95% ДИ 1,26–35,2) и 3В ($p = 0,078$; ОШ = 8,1; 95% ДИ 1,015–64,8), дефектов бедренной кости типа 3А ($p = 0,021$; ОШ = 6,57; 95% ДИ 1,49–29,01), а также заболеваний соединительной ткани ($p = 0,062$; ОШ = 5,25; 95% ДИ 1,05–26,2). Значимо ухудшало прогноз лечения наличие микробных ассоциаций ($p = 0,02$; ОШ = 6,75; 95% ДИ 1,36–33,44), а также присутствие в их составе грамотрицательных Гр(-) бактерий ($p = 0,058$; ОШ = 4,2; 95% ДИ 1,02–17,20). С увеличением количества факторов риска у пациента значительно возрастала вероятность неблагоприятного исхода ($p < 0,001$).

Заключение. Значимое негативное влияние на результат санлирующей операции имели полимикробная инфекция, наличие грамотрицательных бактерий в составе микробных ассоциаций, заболевания соединительной ткани, дефекты вертлужной впадины типов 2С и 3В, дефекты бедренной кости типа 3А, а также совокупное количество факторов риска у одного пациента. По-видимому, результаты микробиологического исследования дооперационно взятых биоматериалов имеют гораздо большее значение как диагностический критерий при подозрении на перипротезную инфекцию, чем как критерий выбора препаратов для этиотропной антибактериальной терапии. Однако это предположение должно быть исследовано на большей выборке пациентов.

Ключевые слова: хроническая перипротезная инфекция, микробиологическое исследование, стартовая антибактериальная терапия, факторы риска рецидива перипротезной инфекции.

Для цитирования: Божкова С.А., Олейник Ю.В., Артюх В.А., Антипов А.П., Торопов С.С. Санлирующий этап лечения пациентов с хронической перипротезной инфекцией тазобедренного сустава: от чего зависит результат? *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):5-15. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17518>.

✉ Олейник Юлия Владимировна; e-mail: hamster715@gmail.com

Рукопись получена: 01.04.2024. Рукопись одобрена: 13.05.2024. Статья опубликована онлайн: 23.05.2024.

© Божкова С.А., Олейник Ю.В., Артюх В.А., Антипов А.П., Торопов С.С., 2024

BACKGROUND

Periprosthetic joint infection (PJI) is considered one of the most devastating complications of total hip arthroplasty (THA), which worsens the quality and overall life expectancy of patients [1, 2]. At the same time, the risk of treatment failure remains rather high, and according to some scientific publications, it reaches 10-29% after performing a two-stage revision arthroplasty, which is still considered the gold standard [3, 4]. The high recurrence rate is determined by various factors starting from the somatic status of patients [5, 6] and hypoalbuminemia [7, 8] to the impossibility of prolonged oral antimicrobial therapy [9].

One of the most important parameters significantly affecting the treatment efficacy is the etiology of the infectious process, i.e. the type of microbial pathogen and its antibiotic sensitivity [6]. The results of preoperative microbiological examinations (MBE) should determine the type of etiologic antibacterial therapy in the postoperative period, but the peculiarities of PJI pathogenesis, including the presence of bacterial depots in the patient's organism and biofilm formation [10], predetermine a significant share of disagreement of the results of MBE of preoperative aspirate and intraoperatively taken materials and thus require correction of previously prescribed antibacterial therapy (ABT) [11]. Moreover, the widespread tendency to decrease the duration of hospital stay in orthopedic clinics often forces to stop waiting for preoperative MBE results and to prescribe initial empirical antibiotic therapy before surgery.

Aim of the study is to retrospectively evaluate the efficacy of the debridement stage of treatment of chronic periprosthetic hip joint infection depending on the results of preoperative microbiological examination, as well as to determine the risk factors for an unfavorable outcome.

METHODS

Study design

This retrospective study is based on the treatment outcomes of patients with chronic PJI of the hip in the department of septic osteology from January to December 2021.

Inclusion criterion for the study was the performed stage 1 of a two-stage revision hip arthroplasty for chronic PJI of the hip.

Exclusion criteria:

- 1) sepsis, systemic inflammatory response syndrome, bacteremia on admission;
- 2) no data on MBE performed before and/or after surgery;
- 3) history of infectious diseases of the musculoskeletal system before primary hip arthroplasty;
- 4) total removal of the femur during debridement stage.

A total of 130 patients with chronic PJI of the hip were treated during this period, 86 of them meeting the inclusion and exclusion criteria. The share of men was 51.2% (44/86) with a median age of 64 years (IQR 53-71), while the share of women was 48.8% (42/86) with a median age of 68 years (IQR 64-72). The median of BMI reached 27.1 kg/m² (24.2-71.7).

In the preoperative period, in those cases when aspirate obtaining was impossible, tissue biopsy samples were taken from within the fistula according to the original technique (Russian Federation patent RU 2698175 C1).

The patients were divided into two groups depending on the presence (Group 1) or absence (Group 2) of the results of MBE of preoperative biomaterials (aspirate and/or tissue biopsy) at the time of surgery. Group 1 included 39 patients, Group 2 – 47 patients.

Surgical intervention in all patients consisted of implant removal, debridement and radical surgical treatment of an osteomyelitis focus, insertion of an antimicrobial spacer and drainage of the joint cavity. The final etiology of the infectious process was determined on the basis of MBE results of intraoperative materials: five tissue biopsy samples, synovial fluid and removed prosthetic components. From the day of surgery the patients, whose final results of preoperative MBE were not ready, received empirical ABT (vancomycin + cefoperazone/sulbactam or vancomycin + levofloxacin) according to the local protocol of treatment of patients with chronic PJI of the hip. Patients with a previously known etiology of the infectious process were treated according to these data. The final results of MBE of intraoperative materials having been received, a clinical pharmacologist was consulted for

correction of therapy and prescription of drugs for the outpatient stage.

Using the data from the arthroplasty registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, the database of the microbiological laboratory and the data extracted from the medical records, a database of patients was formed in Microsoft Office Excel 365 spreadsheets. It included gender, age, BMI, concomitant diseases, waiting period for MBE results, results of examination of pre- and intraoperative materials, anamnesis data (duration of infection, number of debridement surgeries), local status: bone defects, laboratory tests (WBC, Hb, total protein, CRP) at the time of admission and discharge. The degree of bone mass loss was determined according to the W.G. Paprosky classifications for the acetabulum and femur [12, 13]. ABT duration at the inpatient and outpatient stages was also taken into account.

Treatment outcomes were determined by a phone interview of patients: a favorable outcome was considered to be the absence of signs of infection recurrence at a follow-up period of at least 24 months from the time of surgery.

Statistical analysis

IBM SPSS Statistics v.26 software was used for statistical analysis. Normality of distribution of quantitative variables was tested using the Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. The median (Me) was used to describe quantitative variables and the lower (Q1) and upper (Q3) quartiles (25-75% IQR) were used as measures of dispersion. Comparisons within the study groups were performed using the Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests. Nominative data were described with absolute values and percentages (n, %), the presence or absence of significant differences was tested by two tests: Pearson's χ^2 and Fisher's exact test. Differences between groups were considered statistically significant at $p < 0.05$. An odds ratio (OR) with 95% confidence interval (95% CI) was calculated to quantify the relationship between the probability of outcome (recurrence) and the presence of a risk factor. A subanalysis of treatment outcomes in groups was performed depending on the number of risk factors identified in each patient during the study. Discriminant analysis was performed to determine the relationship between

the probability of developing an unfavorable outcome and the number of risk factors identified. Discriminant function equation:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + a_0,$$

where y – value of discriminant function; x – independent indicators (factors); a_1, a_n – coefficients; a_0 – constant.

Statistically significant differences between groups when comparing the mean values of the discriminant function in both groups were established using Wilks' λ statistic.

RESULTS

The share of patients with chronic hematogenous infection in Group 1 was 48.1% (n = 24), in Group 2 – 51.9% (n = 27), $p = 0.658$. The average time from the primary arthroplasty to the infectious process onset in both groups was about two years (Table 1). The duration of the infectious process in Group 1 was 12 months, in Group 2 – 10 months ($p = 0.53$).

Table 1

Medical history data

Parameter	Group 1, Me (IQR)	Group 2, Me (IQR)	p
Time from arthroplasty to PJI onset, mos.	24.3 (3-73)	24.3 (2.5-73.0)	0.879
Time from PJI onset to index surgery, mos.	12.0 (3.1-34.5)	10.0 (3.8-24.0)	0.530

There were no previous interventions for PJI of the hip in Group 1 – 48.7% (n = 19) of patients, in Group 2 – 61.7% (n = 29), $p = 0.278$. Among patients with recurrent PJI, 3 or more operations were performed in 45% (n = 9) and 22.2% (n = 4) of patients ($p = 0.075$) in groups 1 and 2, respectively. The share of patients with a draining fistula was 46.2% (n = 18) in Group 1 and 76.6% (n = 36) in Group 2 ($p = 0.007$). The preoperative MBE result of tissue biopsy samples from the fistulae was obtained in an average of 9 days (IQR = 8-11) from sampling, while the result of hip synovial fluid examination was ready in an average of 6.5 days (IQR = 6-7). The hospital stay duration in Group 1 was 15 days (IQR = 12-18), (IQR = 14-21) in Group 2 – 17 days.

Cardiovascular and gastrointestinal diseases accounted for more than 70% of cases in Group 1

and 85% in Group 2 (Table 2). Anemia of varying severity at the time of admission was diagnosed in 25.6% (n = 10) and 40.4% (n = 19) of patients, respectively. Group 1 patients were almost 5 times more likely to have renal and urinary diseases (p = 0.038) and 2.5 times more likely to have hepatic and biliary diseases (p = 0.129). Connective tissue diseases had a significant impact on the outcomes of chronic PJI treatment, increasing the risk of recurrence of the infectious process more than 5-fold (p = 0.062, OR = 5.25, 95% CI 1.05-26.20).

No intergroup differences were found between the laboratory parameters at the time of admission and in the postoperative period (p>0.05). At the

same time, all patients included in the study showed significant negative dynamics of pre- and postoperative hemoglobin, total protein and albumin levels (p<0.001). Hemoglobin in patients by the time of discharge decreased by 20 g/L, total protein and albumin – by 13 and 9 g/L, respectively (Table 3).

No significant differences were obtained when analyzing perioperative parameters: the median of the blood loss in both groups was 700 ml (p = 0.737). The surgery duration was 175 min (IQR = 149-208) and 165 min (IQR = 137-192) in groups 1 and 2, respectively (p = 0.248). Blood transfusion was administered to 3 (7.7%) patients in Group 1 and to 6 (12.0%) in Group 2 (p = 0.464).

Table 2

Concomitant diseases

Disease	Group 1, Me (IQR)	Group 2, Me (IQR)	p
Essential hypertension	28 (71.8)	42 (89.4)	0.052
Gastrointestinal diseases	29 (74.4)	40 (85.1)	0.279
Coronary heart disease	18 (46.2)	25 (53.2)	0.665
Chronic heart failure	16 (41.0)	15 (39.1)	0.449
Anemia	10 (25.6)	19 (40.4)	0.174
Diabetes mellitus	9 (23.1)	9 (19.1)	0.791
Renal and urinary diseases	8 (20.5)	2 (4.2)	0.038
Hepatic and biliary diseases	8 (20.5)	4 (8.5)	0.129
Cardiac arrhythmia	7 (17.9)	14 (29.8)	0.221
Respiratory diseases	6 (15.4)	11 (23.4)	0.422
Smoking	3 (7.7)	8 (17.0)	0.331
Hepatitis C	4 (10.3)	3 (6.4)	0.697
Connective tissue diseases	2 (5.1)	6 (12.8)	0.283
Anticoagulant intake	3 (7.7)	4 (8.5)	1.0
Other diseases	3 (7.7)	5 (10.6)	>0.05

Table 3

Pre- and postoperative laboratory parameters

Laboratory parameters	Before surgery, Me (IQR)	After surgery, Me (IQR)	p
Hb, g/L	117.5 (106.0-130.0)	97 (91.0-105.0)	<0.001
CRP, mmol/L	33.9 (16.3-53.7)	37.4 (23.8-65.0)	0.164
WBC, 109/L	8.0 (6.5-9.7)	7.8 (6.6-9.5)	0.121
Total protein, g/L	74.8 (71.0-79.2)	61.7 (57.0-67.0)	<0.001
Albumin (n = 79), g/L	40.2 (37.4-42.0)	33.3 (30.5-35.5)	<0.001

Types 2A and 2B acetabular defects were prevalent in both groups (Fig. 1). Type 3A defect was diagnosed only in 2.6% (n = 1) of cases in Group 1 and 25.5% (n = 12) in Group 2 (p = 0.005). Significant differences (p = 0.013) were found when analyzing the effect of the acetabular bone loss on the outcomes of PJI treatment: type 2C defects increased the risk of recurrence 6.7-fold (p = 0.042; OR = 6.66, 95% CI 1.26-35.20) and type 3B defects 8-fold (p = 0.078; OR = 8.1, 95% CI 1.015-64.800).

In both groups, in the vast majority of cases, femoral defects formed during the debridement surgery corresponded to type 2 (Fig. 2). There were no significant intergroup differences by femoral defect type, but the risk of unfavorable outcome was significantly lower in patients with type 2 femoral defects (p = 0.06; OR = 0.24, 95% CI 0.07-0.90). In contrast, type 3A defects increased the risk of recurrence 6.6-fold (p = 0.021; OR = 6.57, 95% CI 1.49-29.01).

According to the results of preoperative MBE, the pathogen growth in Group 1 was absent

in 12.8% (n = 5) of cases, and in 17.9% (n = 7) the microbial associations were isolated with 42.8% (n = 3) including Gram-negative bacteria. Staphylococci predominated in the spectrum of pathogens isolated from preoperative material (Fig. 3), with a cumulative proportion of 76.3%. The share of methicillin-resistant strains was 11.1% among *S. aureus* (MRSA) and 69.2% among *S. epidermidis* (MRSE).

In the postoperative period, no bacterial growth was obtained from intraoperative materials from only one (2.6%) patient in Group 1, and the infection was considered culture-negative. Polybacterial infection was diagnosed in 48.7% (n = 19) of Group 1 patients and in 42.6% (n = 20) of Group 2 patients (p = 0.448). The incidence of microbial associations with Gram-negative pathogens was 36.8% (n = 7) and 30.0% (n = 6) (p = 0.556), respectively. It was found that the polybacterial infection unlike the monobacterial one increased the risk of adverse outcome more than 6.7-fold (p = 0.02; OR = 6.75, 95% CI 1.36-33.44), and the presence of Gram-

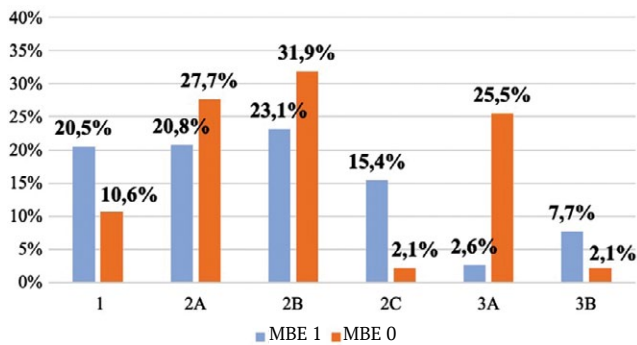


Fig. 1. Acetabular bone defects

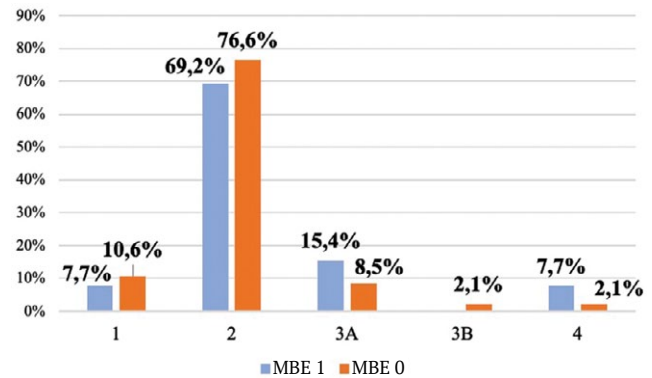


Fig. 2. Femoral bone defects

- *S. aureus*
 - *S. epidermidis*
 - *Enterococcus* spp.
 - Anaerobic bacteria
 - *Streptococcus* spp.
 - *Fam. Enterobacteriaceae*
 - *Acinetobacter* spp., *P. aeruginosa*
 - Koagulase-negative staphylococci*
 - Others
- * – except for *S. epidermidis*.

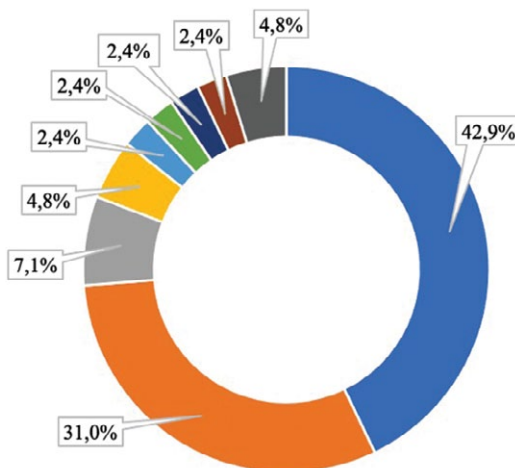


Fig. 3. Preoperative microbiology spectrum in Group 1

negative bacteria in microbial associations increased the risk of unfavorable treatment outcome 4-fold ($p = 0.058$; OR = 4.2, 95% CI 1.02-17.20).

An intragroup analysis of the concordance between the MBE results of pre- and intraoperative samples in Group 1 showed complete disagreement in 17.9% of cases ($n = 7$) and partial agreement in 41.05% ($n = 16$). In the remaining 41.05% ($n = 16$) of cases, the MBE results of pre- and intraoperative materials were the same. Statistical analysis revealed that complete agreement of the MBI results of pre- and intraoperative samples more than 8-fold reduced the risk of PJI recurrence ($p = 0.024$; OR = 0.121, 95% CI 0.015-0.990). Despite some differences in MBE results, staphylococci prevailed in the microbial spectrum postoperatively, with the total share of staphylococci in Group 1 reaching 80% (Table 4). In Group 2, they accounted for only 57.3% of the microbial spectrum, and in comparison with Group 1, streptococci were 6 times more frequent, and anaerobic pathogens and representatives of the *Enterobacteriaceae* were 2.6 times more frequent.

Intravenous antibiotic therapy in all patients was started on the day of surgery after biomaterial sampling for microbiological examination. On average, its duration in the studied cohort of patients was 8 days (IQR = 7-11) and did not differ between the groups ($p > 0.05$). Empirical antibiotic therapy was administered to 38.5% of patients ($n = 15$) who had preoperative MBE results, as the isolated pathogens were within the spectrum of antibiotic activity defined by the local protocol for initial therapy. In Group 2 in 48.9% of cases ($n = 23$) empirical antibiotic therapy was administered as well. Initial therapy in the remaining 51.1% of patients included antibiotics against the strains of pathogens most often characterized by a high level of resistance, which were isolated during the previous debridement surgeries. It took an average of 5 days (IQR = 3-6) until the final correction of therapy. Etiotropic intravenous antibacterial therapy from the moment of its administration lasted 4 days (IQR = 1-7) with subsequent change to oral drug forms. Correction of antibacterial therapy was carried out not in all patients (Table 5).

Table 4

Microbial spectrum in groups according to postoperative examination, %

Pathogen	Group 1	Group 2
<i>S. aureus</i>	351.40	25.30
<i>S. epidermidis</i>	32.30	21.30
Coagulase-negative staphylococci	12.30	10.70
Anaerobic bacteria	4.60	12.00
Enterobacteriaceae	3.10	8.00
<i>Acinetobacter</i> spp., <i>P. aeruginosa</i>	3.10	4.00
<i>Streptococcus</i> spp.	1.50	9.30
<i>Enterococcus</i> spp.	1.50	5.30
Other pathogens	6.20	4.00

* – except for *S. epidermidis*.

Table 5

Correction of antibiotic therapy in groups

Correction of antibiotic therapy	Group 1		Group 2	
	n (%)	n (%) of recurrences	n (%)	n (%) of recurrences
No correction	17 (43.6)	1 (5.9)	15 (31.9)	0 (0)
Partial correction (1 drug)	12 (30.8)	3 (25.0)	12 (25.5)	1 (8.3)
Complete correction	10 (25.6)	2 (20.0)	20 (42.6)	4 (20.0)

Complete or partial change of antibacterial drugs was performed in 56.4% (n = 22) and 68.1% (n = 32) of cases in groups 1 and 2, respectively. Complete change of intravenous therapy was performed 1.7 times more often in Group 2. Despite the absence of statistical significance (p>0.05), in both groups there was a tendency to increase the frequency of recurrences depending on the need to change antibiotic therapy (see Table 5). At the outpatient stage all patients were administered oral antibiotics for 8 weeks. The maximum period of administration was 4 weeks in case of linezolid prescription only in accordance with the instructions for medical use of the drug, since longer administration is associated with a high incidence of adverse effects.

The share of patients with an unfavorable outcome of PJI treatment at 2-year follow-up in the groups with presence or absence of an MBE result at the time of surgery was 15.4% (n = 6) and 10.6% (n = 5), respectively (p = 0.536; OR = 1.53, 95% CI 0.43-5.45).

The following factors statistically significantly worsening treatment outcomes were included

in further subanalysis: microbial associations, presence of Gram-negative bacteria in microbial associations, connective tissue diseases, types 2C and 3B acetabular defects, and type 3A femoral defects.

It was found that in all 18 patients (44.2%) enrolled in the study who did not have the considered risk factors, persistent suppression of infection was achieved. The share of such patients in Group 2 was 1.9 times higher than in Group 1 (Table 6). The presence of a single risk factor for recurrence was found in 35.9% and 27.7% of cases in groups 1 and 2, respectively (n = 14; n = 13), leading to recurrences in 14.3% and 7.7% of observations, respectively (n = 2; n = 1). Patients with a combination of two or more factors were more numerous in Group 1. Adverse outcomes were more frequent in Group 2 (44.4%) than in Group 1 (33.3%).

Discriminant analysis revealed a statistically significant positive correlation between the number of risk factors identified during the study and unfavorable treatment outcome (p<0.001). The sensitivity of the model was 72.7%, the specificity was 82.7%.

Table 6

Number of risk factors in groups

Number of factors	Group 1		Group 2	
	n (%)	n (%) of recurrences	n (%)	n (%) of recurrences
0	13 (33.3)	0 (0.0)	25 (53.2)	0 (0.0)
1	14 (35.9)	2 (14.3)	13 (27.7)	1 (7.7)
2 and more	12 (30.8)	4 (33.3)	9 (19.1)	4 (44.4)

DISCUSSION

In the studied cohort of patients, the efficacy of the management of chronic PJI of the hip after debridement stage was 87.2% (n = 75), despite a high share of patients with polymicrobial infection (45.3%), which, according to the scientific literature, is a significant risk factor for PJI recurrence [24]. The achieved results are comparable with the data of Russian and foreign authors. F. Li et al. in their meta-analysis describe favorable outcomes after two-stage revision arthroplasty in 79.6% of patients [14]. In a multicenter study by B.J. Kildow et al. this parameter amounted to 88.2% [15]. According

to the data of V.Y. Murylev et al. eradication of infection after debridement stage of the two-stage revision arthroplasty was achieved in 92.1% of cases [16]. A.A. Kochish et al. reported effective treatment of PJI in 89% of cases as a result of the use of the modified tactics of perioperative management of profile patients [17].

According to some researchers, the impossibility to start etiotropic antibacterial therapy from the day of surgery negatively affects the treatment outcomes [9]. However, the intergroup analysis of efficacy in our study showed no significant differences depending on the presence or absence of MBE results at the time

of surgery: this parameter was 84.6% (n = 33) and 89.4% (n = 42), respectively (p = 0.535). It should be noted that the clinical profile of patients in the comparison groups differed: patients with an identified etiology of the infectious process were more likely to have urinary infection, multiple debridement interventions in the history, and significant defects of the bones forming the hip. At the same time, 38.5% and 48.9% of patients in groups 1 and 2, respectively, received initial empiric therapy. The need for a broad-spectrum initial therapy is determined by the significant differences in pre- and intraoperative MBE results reported previously [11]. In our study in Group 1, complete matching of pre- and intraoperative MBE results was observed in only 41% of cases (n = 16). At the same time, the share of polymicrobial infection increased 2.7-fold: from 17.9% preoperatively (n = 7) to 48.7% postoperatively (n = 19). In our opinion, such discrepancies are caused by the peculiarities of the pathogenesis of the infectious process associated with orthopedic implants: formation of sessile forms of bacteria as part of biofilms [18], intracellular location of microorganisms, as well as colonization of osteocyte-lacunar tubules, proved in relation to *S. aureus* [19, 20]. In Group 1, this pathogen accounted for 35.4% of the microbial spectrum, in Group 2 – only 25.3%.

The COVID-19 pandemic made a certain contribution to the shortening of the preoperative period, when the terms of preoperative examination of trauma and orthopedic patients were universally reduced in order to decrease the risk of coronavirus infection outbreak among the hospitalized patients [21]. As a consequence, it was often not possible to postpone surgical intervention until the final results of MBE were available. The lack of data on the etiology of the infectious process determines the need to prescribe empiric antibacterial therapy to patients in the postoperative period according to the educated guess principle [22], which requires regular microbiological monitoring of the spectrum of leading pathogens and their antibiotic resistance [23]. The study showed that the necessity to change parenteral antibacterial therapy was accompanied by an increase in the incidence of PJI recurrence.

Regardless of the presence or absence of MBE results at the time of surgery, a number of factors had a statistically significant impact on

patients' treatment outcomes. First of all, the presence of microbial associations in a patient 6.7 times increased the risk of PJI recurrence, and the presence of Gram-negative bacteria in their composition – 4 times. Our earlier studies showed a similar trend: extremely low rate of polymicrobial infection management – only 27.8% (p<0.0001). At the same time, the presence of Gram-negative pathogens in microbial associations significantly increased the risk of recurrence (p=0.07) [24].

Other risk factors identified in this study leading to unfavorable outcome of PJI treatment have also been reported in the relevant literature. In Group 1, 45% of patients (n = 9) with recurrent infection had a history of 3 or more debridement interventions. In the study of H. Abdelaziz et al. this factor more than 4-fold increased the risk of reinfection (p<0.005) [25]. Type 3A femoral defects, which were more common in patients with the identified etiology of PJI (15.4%; n = 6), increased the probability of an unfavorable outcome 6.6 times (p = 0.021). According to P.A. Slullitel et al. a similar loss of bone mass was associated with a 13.5-fold greater risk of PJI recurrence (p<0.003) [26]. According to A.A. Kochish et al. data, a long-term course of type III chronic hematogenous PJI is often associated with the formation of extensive defects of the acetabulum [27]. In our study, types 2C and 3B were also more frequently observed in Group 1 – 15.4% of patients (n = 6) and 7.7% of patients (n = 3) than in Group 2 – 2.1% of cases each (n = 1), increasing the risk of recurrence 6.7 and 8 times, respectively.

Discriminant analysis showed that the unfavorable outcome of debridement stage of treatment of PJI of the hip statistically significantly (p<0.001) depends on the number of risk factors in a patient. At that, among the cohort of patients with 2 and more risk factors the unfavorable outcome of debridement stage was observed in 38% of cases, with one risk factor – in 11,1%. In the absence of risk factors, persistent suppression of the infectious process was achieved in all patients.

Limitation of the study

Small size of the study groups is considered to be a limitation of the study, which has been taken into account when choosing statistical methods. Also, such factors as the time from arthroplasty and

infection onset to primary surgical care, creation and benefits of a local depot of antibiotics have not been considered in this study.

CONCLUSIONS

To date, no similar analysis of the impact of the presence or absence of microbiological examination results at the time of debridement surgery has been performed in the scientific literature, and the principle of the necessity to obtain these results before surgical intervention has not been questioned. The study showed that the availability of data on the causative agent isolated from aspirate and/or tissue biopsy samples from the peri-implant fistula in the preoperative period had no significant effect on the efficacy of treatment of chronic periprosthetic hip joint infection. However, the probability of an unfavorable outcome increased significantly ($p < 0.001$) with an increase in the number of identified risk factors in a patient ($p < 0.001$). Apparently, the results of microbiological examination of preoperatively taken biomaterials are much more relevant as a diagnostic criterion for suspected periprosthetic infection than as a criterion for the choice of drugs for etiotropic antibacterial therapy. Nevertheless, this assumption requires further studies on a larger sample of patients.

DISCLAIMERS

Funding source. State budgetary funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Kurtz S.M., Lau E.C., Son M.S., Chang E.T., Zimmerli W., Parvizi J. Are We Winning or Losing the Battle With Periprosthetic Joint Infection: Trends in Periprosthetic Joint Infection and Mortality Risk for the Medicare Population. *J Arthroplasty*. 2018;33(10):3238-3245. doi: 10.1016/j.arth.2018.05.042.
- Wildeman P., Rolfson O., Soderquist B., Wretenberg P., Lindgren V. What Are the Long-term Outcomes of Mortality, Quality of Life, and Hip Function after Prosthetic Joint Infection of the Hip? A 10-year Follow-up from Sweden. *Clin Orthop Relat Res*. 2021;479(10):2203-2213. doi: 10.1097/CORR.0000000000001838.
- Chen A.F., Nana A.D., Nelson S.B., McLaren A. What's New in Musculoskeletal Infection: Update Across Orthopaedic Subspecialties. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(14):1232-1243. doi: 10.2106/JBJS.17.00421.
- Lange J., Troelsen A., Thomsen R.W., Søballe K. Chronic infections in hip arthroplasties: comparing risk of reinfection following one-stage and two-stage revision: a systematic review and meta-analysis. *Clin Epidemiol*. 2012;4:57-73. doi: 10.2147/CLEP.S29025.
- Ahmad S.S., Orlik L., Ahmad S.J.S., Albers C.E., Siebenrock K.A., Klenke F.M. Obesity and smoking predict the results of two-stage exchange in septic revision hip arthroplasty: A cohort study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019;105(3):467-471. doi: 10.1016/j.otsr.2019.01.006.
- Ascione T., Pagliano P., Balato G., Mariconda M., Rotondo R., Esposito S. Oral Therapy, Microbiological Findings, and Comorbidity Influence the Outcome of Prosthetic Joint Infections Undergoing 2-Stage Exchange. *J Arthroplasty*. 2017;32(7):2239-2243. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.057.
- Traverso G., Núñez J.H., Gehrke T., Citak M. Hypoalbuminemia increases the risk of failure following one-stage septic revision for periprosthetic joint infection. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(9):5641-5648. doi: 10.1007/s00402-023-04885-z.
- Bohl D.D., Shen M.R., Kayupov E., Cvetanovich G.L., Della Valle C.J. Is Hypoalbuminemia Associated With Septic Failure and Acute Infection After Revision Total Joint Arthroplasty? A Study of 4517 Patients From the National Surgical Quality Improvement Program. *J Arthroplasty*. 2016;31(5):963-967. doi: 10.1016/j.arth.2015.11.025.
- Yang J., Parvizi J., Hansen E.N., Culvern C.N., Segreti J.C., Tan T. et al. Knee Society Research Group. 2020 Mark Coventry Award: Microorganism-directed oral antibiotics reduce the rate of failure due to further infection after two-stage revision hip or knee arthroplasty for chronic infection: a multicentre randomized controlled trial at a minimum of two years. *Bone Joint J*. 2020;102-B(6_Supple_A):3-9. doi: 10.1302/0301-620X.102B6.BJJ-2019-1596.R1.
- Peterson B.W., He Y., Ren Y., Zerdoum A., Libera M.R., Sharma P.K. et al. Viscoelasticity of biofilms and their recalcitrance to mechanical and chemical challenges. *FEMS Microbiol Rev*. 2015;39(2):234-245. doi: 10.1093/femsre/fuu008.
- Artyukh V.A., Bozhkova S.A., Boyarov A.A., Muravyova J.V., Kochish A.A. Efficiency of the One-Stage Revision Hip Arthroplasty in Chronic Periprosthetic Joint Infection with Sinus Tract. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(2):9-22. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-2-9-22.
- Paprosky W.G., Perona P.G., Lawrence J.M. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. A 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty*. 1994;9(1):33-44. doi: 10.1016/0883-5403(94)90135-x.
- Della Valle C.J., Paprosky W.G. The femur in revision total hip arthroplasty evaluation and classification. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(420):55-62. doi: 10.1097/00003086-200403000-00009.

14. Li F., Qiao Y., Zhang H., Cao G., Zhou S. Comparable clinical outcomes of culture-negative and culture-positive periprosthetic joint infections: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):210. doi: 10.1186/s13018-023-03692-x.
15. Kildow B.J., Springer B.D., Brown T.S., Lyden E., Fehring T.K., Garvin K.L. Long Term Results of Two-Stage Revision for Chronic Periprosthetic Hip Infection: A Multicenter Study. *J Clin Med.* 2022;11(6):1657. doi: 10.3390/jcm11061657.
16. Murylev V.Y., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Ivanenko L.R., Sorokina G.L., Rukin Y.A. et al. The First-Stage Treatment Algorithm for Deep Infected Total Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018;24(4):95-104. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-95-104.
17. Kochish A.A., Bozhkova S.A., Artyukh V.A., Liventsov V.N., Afanas'ev A.V., Toropov S.S. Improvement of Perioperative Management of Patients Undergoing Surgical Treatment for Hip Periprosthetic Joint Infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(1):143-152. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-143-152.
18. Mooney J.A., Pridgen E.M., Manasherob R., Suh G., Blackwell H.E., Barron A.E. et al. Periprosthetic bacterial biofilm and quorum sensing. *J Orthop Res.* 2018;36(9):2331-2339. doi: 10.1002/jor.24019.
19. Gimza B.D., Cassat J.E. Mechanisms of Antibiotic Failure During Staphylococcus aureus Osteomyelitis. *Front Immunol.* 2021;12:638085. doi: 10.3389/fimmu.2021.638085.
20. de Mesy Bentley K.L., Trombetta R., Nishitani K., Bello-Irizarry S.N., Ninomiya M., Zhang L. et al. Evidence of Staphylococcus Aureus Deformation, Proliferation, and Migration in Canaliculi of Live Cortical Bone in Murine Models of Osteomyelitis. *J Bone Miner Res.* 2017;32(5):985-990. doi: 10.1002/jbmr.3055.
21. McCoy M., Touchet N., Chapple A.G., Cohen-Rosenblum A. Total Joint Arthroplasty Patient Demographics Before and After Coronavirus Disease 2019 Elective Surgery Restrictions. *Arthroplast Today.* 2023;20:101081. doi: 10.1016/j.artd.2022.101081.
22. Goh G.S., Parvizi J. Diagnosis and Treatment of Culture-Negative Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2022;37(8):1488-1493. doi: 10.1016/j.arth.2022.01.061.
23. Kasimova A.R., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetzky A.N., Radaeva K.S., Rukina A.N., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M. Single-center retrospective study of 12-year dynamics of the spectrum of leading pathogens of orthopedic infection (2011-2022). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2024;30(1):66-75. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-16720.
24. Bozhkova S., Tikhilov R., Labutin D., Denisov A., Shubnyakov I., Razorenov V. et al. Failure of the first step of two-stage revision due to polymicrobial prosthetic joint infection of the hip. *J Orthop Traumatol.* 2016;17(4):369-376. doi: 10.1007/s10195-016-0417-8.
25. Abdelaziz H., Grüber H., Gehrke T., Salber J., Citak M. What are the Factors Associated with Re-revision After One-stage Revision for Periprosthetic Joint Infection of the Hip? A Case-control Study. *Clin Orthop Relat Res.* 2019;477(10):2258-2263. doi: 10.1097/CORR.0000000000000780.
26. Slullitel P.A., Oñativia J.I., Zanotti G., Comba F., Piccaluga F., Buttaro M.A. One-stage exchange should be avoided in periprosthetic joint infection cases with massive femoral bone loss or with history of any failed revision to treat periprosthetic joint infection. *Bone Joint J.* 2021;103-B(7):1247-1253. doi: 10.1302/0301-620X.103B7.BJJ-2020-2155.R1.

Authors' information

✉ Yuliya V. Oleinik

Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia

<http://orcid.org/0009-0001-1654-1536>

e-mail: hamster715@gmail.com

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.), Professor

<http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Vasily A. Artyukh — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>

e-mail: artyukhva@mail.ru

Denis I. Astakhov

<https://orcid.org/0009-0007-7129-1553>

e-mail: denmail_69@mail.ru

Alexander P. Antipov

<https://orcid.org/0000-0002-9004-5952>

e-mail: a-p-antipov@ya.ru

Sergey S. Toropov

<https://orcid.org/0000-0002-9451-1834>

e-mail: doctoropovss@yandex.ru

Primary Data from the Local Registry of Periprosthetic Hip Infection at the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics

Alexander V. Burtsev, Aleksandr S. Tryapichnikov, Artem M. Ermakov, Tamara A. Silant'eva, Nikita I. Rozhkov, Irina M. Dyatlova

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Abstract

Background. Obtaining accurate data on the epidemiology of periprosthetic joint infection (PJI) of the hip in the Russian Federation is a challenging task, which is associated with the peculiarities of statistical registration of complications and the lack of approved routing schemes.

The aim of the study – to provide the results of primary analysis of the data from the local registry of hip periprosthetic infection, which reflects all the treatment cases from 01.01.2020 to 31.12.2020.

Methods. Since 2021, the Center has been working on retrospective input of the data on patients PJI of the hip treated at the clinic into the electronic version of the registry. The information was collected by studying archived medical records and a medical information system, by examining patients in the outpatient clinic, and by interviewing patients via mobile phone and e-mail. During the period, we treated 449 patients with hip periprosthetic infection. The mean patients' age was 55.6 ± 12.6 years (Me – 57; 95% CI: 54.4-56.8). Male patients accounted for 61.6% (n = 277).

Results. We were able to evaluate the treatment results in 84% (n = 377) of patients. The mean follow-up period was 5.92 ± 2.55 years (Me – 6; 95% CI: 2.39-2.73). In more than 90% (n = 407) of cases, the infection was classified as chronic (more than 3 weeks of manifestation). At the admission 76,8% (n = 345) of patients had a fistula communicating with the joint cavity. The percentage of lethal outcomes due to sepsis was 1,7% (8/449); recurrences of hip PJI was observed in 6.2% (28/ 449) of cases. Resolution of infection has been achieved in 67% (300/449) of cases.

Conclusions. The primary analysis of the data from the local registry of hip periprosthetic infection of the national Ilizarov Center of Traumatology and Orthopedics showed that the average age of patients with hip PJI in our country is significantly lower than in the known national registries. At the same time, the infectious agents were similar: Gram-positive microorganisms accounted for more than 55%. The analysis of the registry data shows a significant decrease in the PJI recurrence rate over the last 5 years.

Keywords: periprosthetic infection, local registry, revision hip arthroplasty, fistula.

Cite as: Burtsev A.V., Tryapichnikov A.S., Ermakov A.M., Silant'eva T.A., Rozhkov N.I., Dyatlova I.M. Primary Data from the Local Registry of Periprosthetic Hip Infection at the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):16-28. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17431>.

✉ Aleksandr S. Tryapichnikov; e-mail: pich86@bk.ru

Submitted: 21.12.2023. Accepted: 20.02.2024. Published Online: 03.05.2024.

© Burtsev A.V., Tryapichnikov A.S., Ermakov A.M., Silant'eva T.A., Rozhkov N.I., Dyatlova I.M., 2024

Первичные данные локального регистра по перипротезной инфекции тазобедренного сустава Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. академика Г.И. Илизарова

А.В. Бурцев, А.С. Тряпичников, А.М. Ермаков, Т.А. Силантьева, Н.И. Рожков, И.М. Дятлова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Реферат

Актуальность. Точные данные об эпидемиологии перипротезной инфекции (ППИ) тазобедренного сустава в Российской Федерации получить сложно, что связано с особенностями статистической регистрации осложнений и отсутствием утвержденных схем маршрутизации пациентов.


Цель работы — представить результаты первичного анализа данных локального регистра ППИ тазобедренного сустава, в котором отражены все случаи лечения этой патологии с 01.01.2010 по 31.12.2020.

Материал и методы. С 2021 г. проводилась ретроспективная работа по внесению в электронную версию регистра данных о пациентах с ППИ тазобедренного сустава, получавших лечение в клинике Центра. Сбор информации осуществлялся посредством работы с архивными историями болезни и медицинской информационной системой, осмотра пациентов в поликлинике, опроса больных по мобильной связи и электронной почте. За указанный период были пролечены 449 пациентов с ППИ. Средний возраст пациентов составил $55,6 \pm 12,6$ лет (Me — 57; 95% ДИ: 54,4–56,8). Пациенты мужского пола составляли 61,6% ($n = 277$).

Результаты. Нам удалось оценить результаты лечения у 84% ($n = 377$) больных. Средний срок наблюдения за пациентами составил $5,92 \pm 2,55$ года (Me — 6; 95% ДИ: 2,39–2,73). В более чем 90% ($n = 407$) случаев инфекция была классифицирована как хроническая (более 3 нед. манифестации), 76,8% пациентов ($n = 345$) при поступлении имели свищевой ход, сообщающийся с полостью сустава. Летальный исход на фоне септического состояния зарегистрирован у 1,7% (8 из 449) больных, рецидив ППИ — в 6,2% (28 из 449) случаев, купирование инфекции — в 67% (300 из 449).

Заключение. Первичный анализ данных локального регистра ППИ тазобедренного сустава в центре Илизарова показал, что средний возраст пациентов с ППИ в нашей стране значительно ниже, чем в известных национальных регистрах. В то же время структура возбудителей инфекции была схожа: грамположительные микроорганизмы составляли более 55%. Анализ данных регистра демонстрирует значительное снижение частоты рецидивов ППИ за последние 5 лет.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, локальный регистр, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, свищевой ход.

 **Для цитирования:** Бурцев А.В., Тряпичников А.С., Ермаков А.М., Силантьева Т.А., Рожков Н.И., Дятлова И.М. Первичные данные локального регистра по перипротезной инфекции тазобедренного сустава Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. академика Г.И. Илизарова. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):16-28. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17431>.

 Тряпичников Александр Сергеевич; e-mail: pich86@bk.ru

Рукопись получена: 21.12.2023. Рукопись одобрена: 20.02.2024. Статья опубликована онлайн: 03.05.2024.

© Бурцев А.В., Тряпичников А.С., Ермаков А.М., Силантьева Т.А., Рожков Н.И., Дятлова И.М., 2024

BACKGROUND

Treatment of patients with periprosthetic joint infection (PJI) is a significant medical and social problem for the healthcare system [1, 2]. It is difficult to obtain accurate data on the epidemiology of PJI of the hip in the Russian Federation due to the peculiarities of statistical registration of complications and the lack of approved routing schemes [3].

To continuously collect information on the process and results of the treatment of PJI, in the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics (hereinafter – the Centre) a local registry was organized. Treatment in the clinic of the Centre is carried out by one team according to common standards. This registry cannot track the results in particular population due to the above-mentioned reasons; however, the majority of patients with PJI are treated in the federal centers of St. Petersburg, Moscow, Kurgan, Nizhny Novgorod, and Novosibirsk [3]. In this regard, the analysis of information from this local registry allows us to draw certain conclusions about the state of the problem of PJI treatment in the country.

Aim of the study is to provide the results of primary data analysis of patients with periprosthetic joint infection from the local registry of the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics.

METHODS

Since 2021, the Centre has been working on retrospective input of the data on patients with PJI of the hip treated at the clinic into the electronic version of the registry. The information was collected by studying archived medical records and medical information system, by examining patients in the outpatient clinic, and by interviewing patients via mobile phone and e-mail.

Statistical analysis

The data obtained from the registry were analyzed using Statistica 13.0 software (StatSoft). Quantitative variables were described using mean value and standard deviation ($M \pm SD$), 95% confidence interval (95% CI), and median (Me). Microsoft Excel and Statistica 13.0 (StatSoft) software were used to draw charts and box-and-whisker plots.

RESULTS

General structure of surgeries

According to the registry data for 2010-2020, 449 patients with PJI were treated in the clinic of bone and joint infection (septic osteology). The maximum increase was observed in 2016, when the number of surgeries increased by 410% relative to 2010, and in 2019 (an increase of 54%). In 2020, a regular decrease in the number of operations was registered due to the COVID-19 pandemic (Fig. 1).

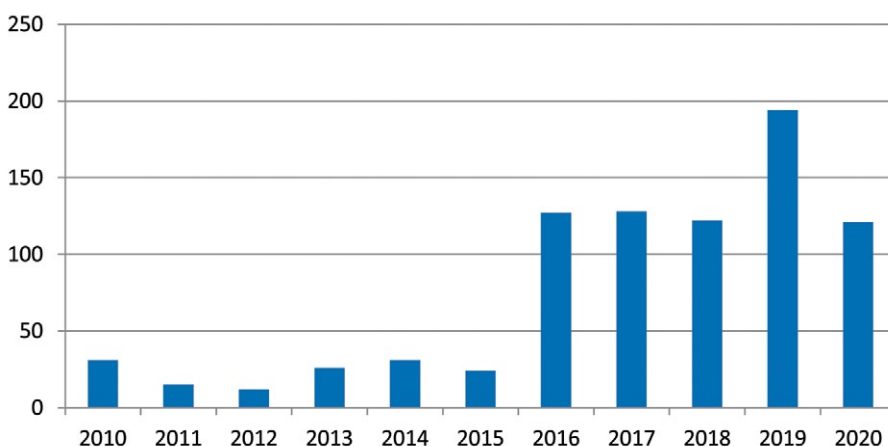


Fig. 1. Number of revision surgeries in patients with PJI of the hip

During the study period, there was an increase in the number of revision surgeries, which can be attributed to the organization and improvement of the clinic work, the increased experience of the staff and the allocation of additional treatment quotas.

Distribution of patients by age and gender

The mean patients' age was 55.6±12.6 years (Me – 57; 95% CI: 54.4-56.8). There was no clear trend toward an increase or decrease in the mean age (Fig. 2).

Patients in the 50-60 and 60-70 age groups predominated, together accounting for 54%.

The least common age group were patients over 80 years old (Table 1).

From 2010 to 2020, males accounted for 61.6% (n = 277) of patients with hip PJI, with the share of male patients ranging from 55-68% in the last 5 years. According to the New Zealand Arthroplasty Registry, male gender is a risk factor for revision for PJI [4]. Data from the Finnish and Swedish registries indicate that the risk of infection after primary arthroplasty is 1.2-1.7 times higher in males. The reason for the increased risk may lie in concomitant factors such as smoking and alcohol abuse, specific features of skin metabolism and hair growth [5, 6] (Fig. 3).

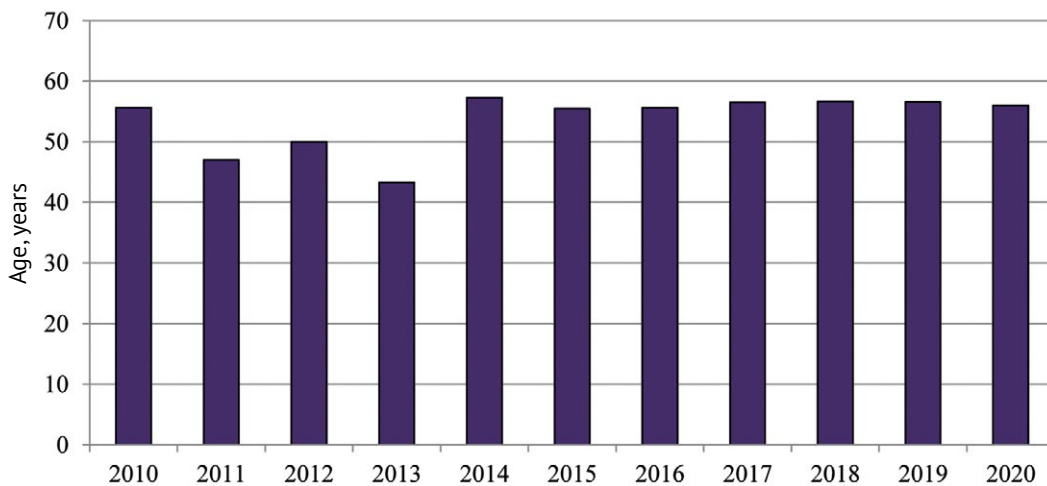


Fig. 2. Average age of patients with PJI of the hip, years

Table 1

Age structure of patients with hip PJI

Age, years	Abs. number	%
20–30	13	2.89
30–40	52	11.58
40–50	89	19.82
50–60	112	24.94
60–70	133	29.62
70–80	48	10.70
Over 80	2	0.44

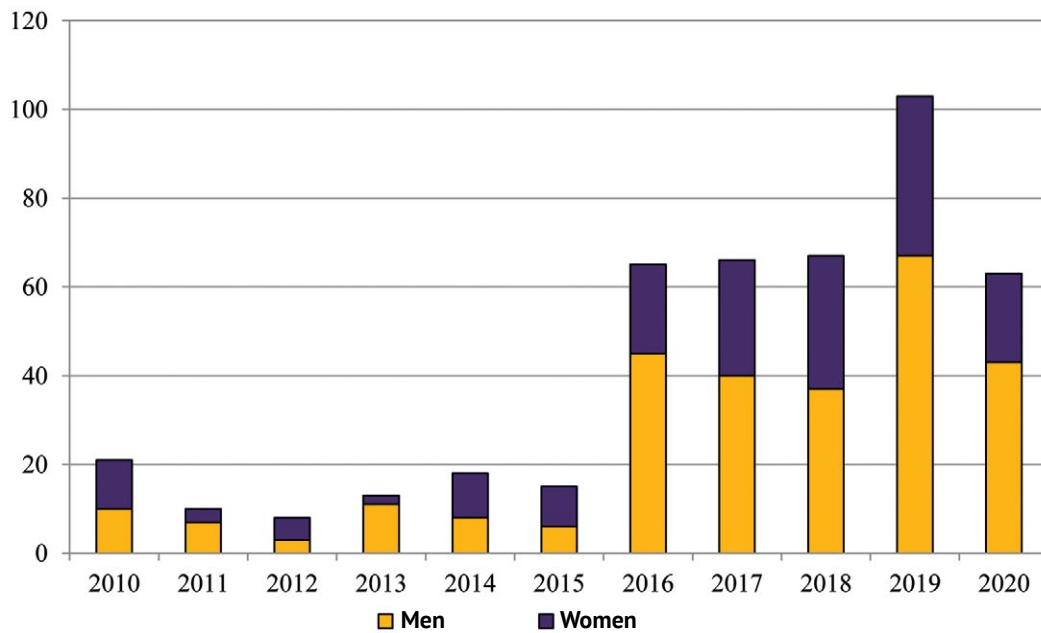


Fig. 3. Distribution of patients with PJI of the hip by gender

Structure of diagnoses that caused primary hip arthroplasty

Periprosthetic joint infection developed in patients both after primary hip arthroplasty – 45.6% (n = 205) and after revision arthroplasty – 54.4% (n = 244). Due to the absence of comprehensive discharge summaries with

anamnesis data and precise etiologic diagnosis in some patients, their distribution by etiologic diagnosis was difficult. However, based on available documents and thorough history taking, several groups of medical conditions that caused primary arthroplasty were identified (Fig. 4).

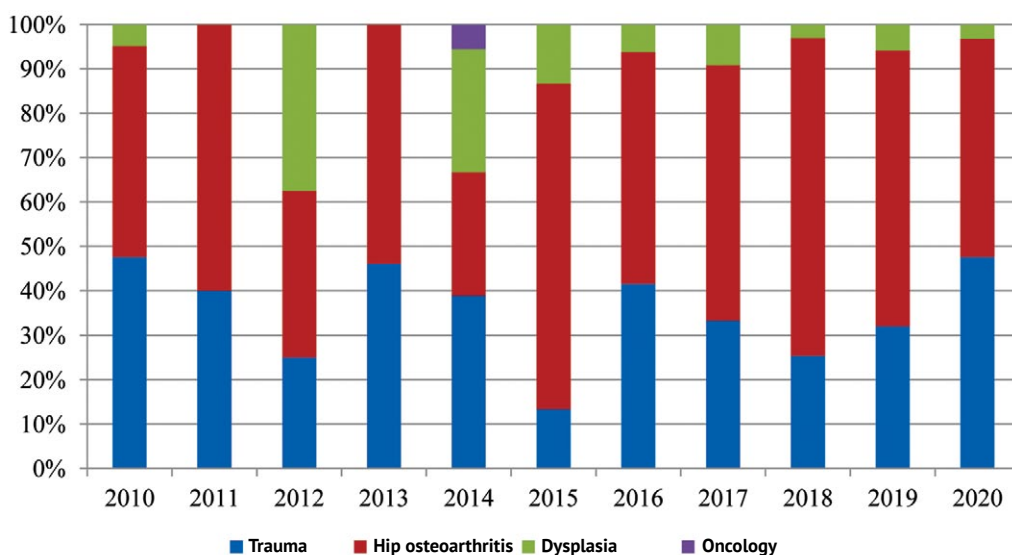


Fig. 4. Structure of patients by etiologic diagnosis at the time of primary arthroplasty

The predominant nosologic groups were hip osteoarthritis and trauma sequelae. There were isolated cases of PJI after implantation of oncologic prostheses; however, in our opinion, this is due to the fact that most of such patients are treated in hospitals where the implant has been placed.

Types of component fixation

The main types of component fixation in patients admitted to the clinic with PJI were cementless, hybrid, and cemented. Cementless acetabular components were represented by press-fit cups, augments, antiprotrusion rings, and double mobility cups. Cement fixation acetabular components included standard polyethylene cups as well as cemented double mobility components (Fig. 5).

Components of hybrid fixation were represented by combinations of cement stems and cementless cups, reverse-hybrid implants - cementless stems and cemented cups.

The influence of the type of prosthesis fixation on the risk of infection is usually evaluated after primary arthroplasty surgeries. The results of studies are contradictory.

Based on the data of Nordic Arthroplasty Register Association, cementless type of fixation and age over 75 years may increase the risk of PJI, but the impact is statistically insignificant [7]. According to the meta-analyses, the risk of PJI in the first 6 months was higher in patients with cementless implants, but in the long term the probability of inflammation increased in patients with cement fixation [8, 9]. This is probably related to a reduced amount of antibiotics being released from the cement over time.

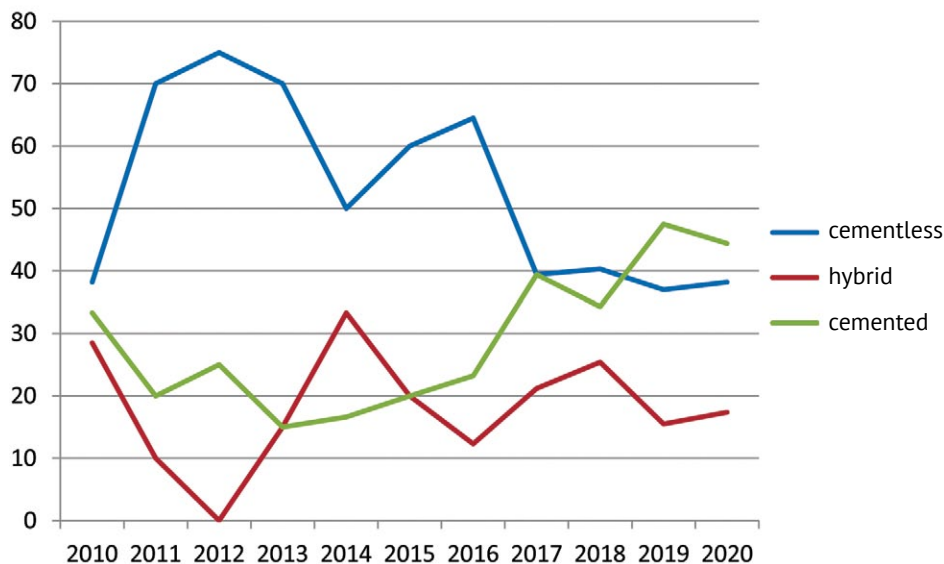


Fig. 5. Dynamics of implant distribution by fixation type at the admission of patients with PJI to the clinic

Classification of periprosthetic joint infection and *status localis*

To divide the infection into acute (less than 3 weeks of manifestation) and chronic (more than 3 weeks of manifestation), we used the W. Zimmerli classification (2014) with modifications of C. Li et al [10]. In 90.6% of cases the infection was classified as chronic, and only 9.6% of patients had an acute form of the infectious process. Figure 6 demonstrates a consistently small share

of patients with acute PJI, which did not exceed 5-10% in the last five years. The majority of patients (76.9%) had a fistula communicating with the joint cavity at the time of admission to the clinic, 13.3% of patients had no skin defects, a sutured wound was observed in 6.9% of patients. However, the most unfavorable variant was the presence of an open wound, which was encountered in 2.9% of cases (Fig. 7).

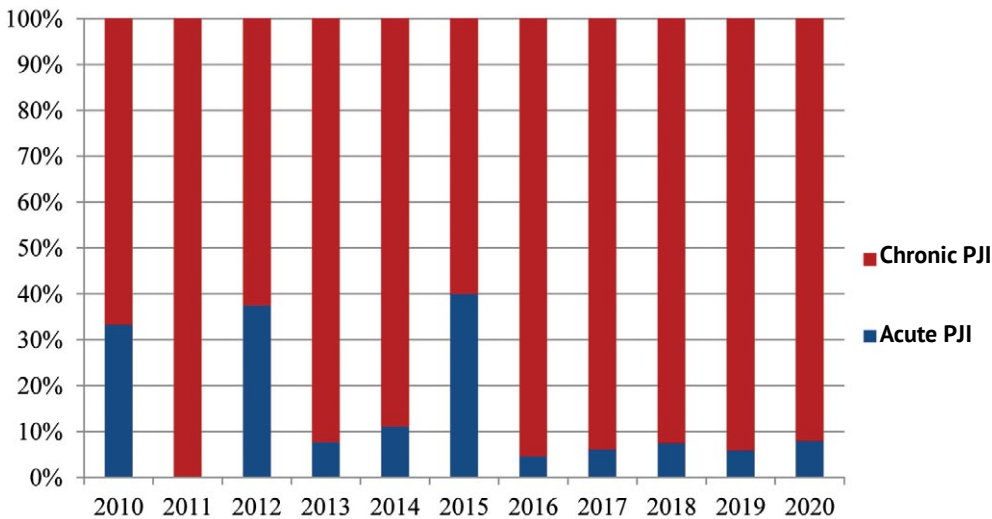


Fig. 6. Distribution of patients by the type of infection according to the W. Zimmerli classification with modifications of C. Li et al. [10]

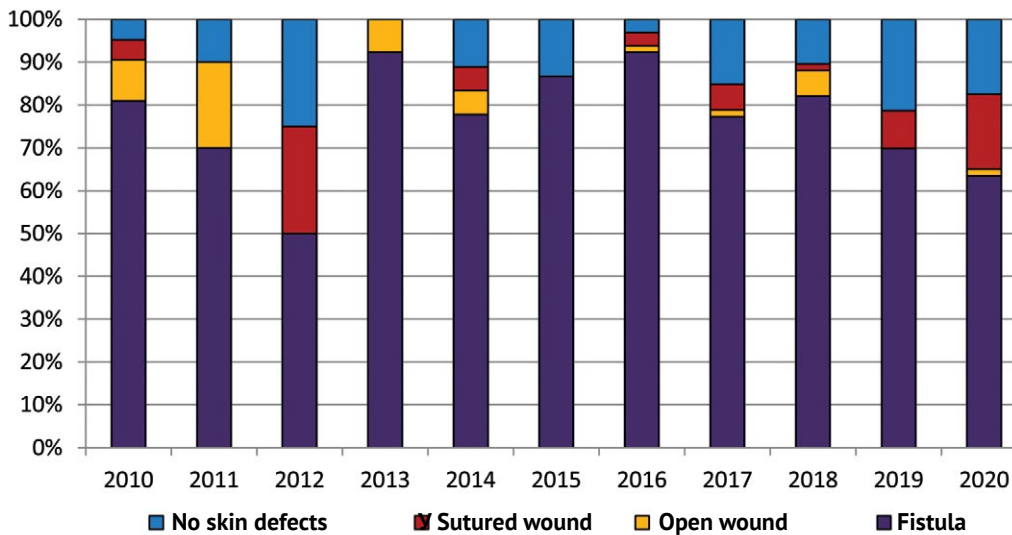


Fig. 7. Structure of patients by *status localis* at the admission to the clinic to perform the first (debridement) stage of surgery

Our data differ significantly from the Australian registry, where only 21% of patients had a fistula or duration of symptoms of more than 30 days, 24% had symptoms for less than 30 days, and the overall share of patients without a fistula was 65% [11]. These differences are probably associated with the long waiting time for a revision arthroplasty quota and the complex routing of patients with PJI.

Concomitant diseases

The mean BMI was 28.5±1.5 (Me – 28; 95% CI: 25.5-31.4). The share of obese patients (BMI>30) was 26.5% (n = 119) and increased from 2016 to 2020 (Fig. 8).

According to multivariate analyses of New Zealand and Swedish registry data, patients with

a BMI greater than 35 have a threefold greater risk of developing PJI after primary arthroplasty than patients with a BMI less than 35 [4, 12]. Obesity is not just an individual risk factor, but also has an indirect effect on such parameters as surgical complexity, blood loss, wound healing, and antibiotic penetration into tissues [4].

Diabetes mellitus is often associated with overweight, and these two factors combined affect the risk of infection. Based on the analysis of local registry data (7181 arthroplasty operations), the authors from Finland concluded that diabetes, regardless of obesity, more than doubles the risk of PJI [13]. In our study, diabetes mellitus was diagnosed in 75 (16.7%) patients, 36 patients (8%) had a combination of diabetes mellitus and obesity.

Viral hepatitis B and C or their combination were diagnosed in 19.3% (n = 87) of patients. Eight (1.78%) patients had HIV, and 6 of them (1.3%) had co-infection: viral hepatitis and HIV.

According to the data of multivariate analysis of 500,000 hip arthroplasties performed by

S.B. Sequeira et al., preoperative iron deficiency anemia increases the risk of early infection by 1.15 times [14]. The majority of patients (61%, n = 275) had anemia at the time of admission to our clinic. Over the last 7 years, there has been a significant increase in the number of patients with anemia (Fig. 9).

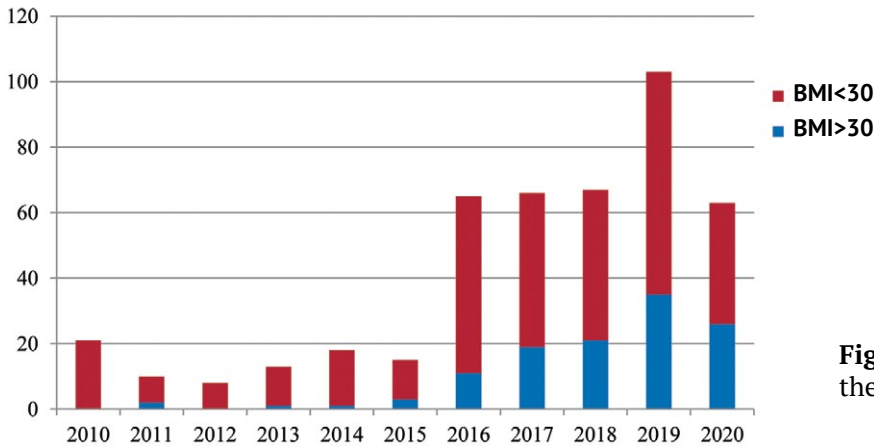


Fig. 8. Structure of patients with PJI of the hip depending on BMI

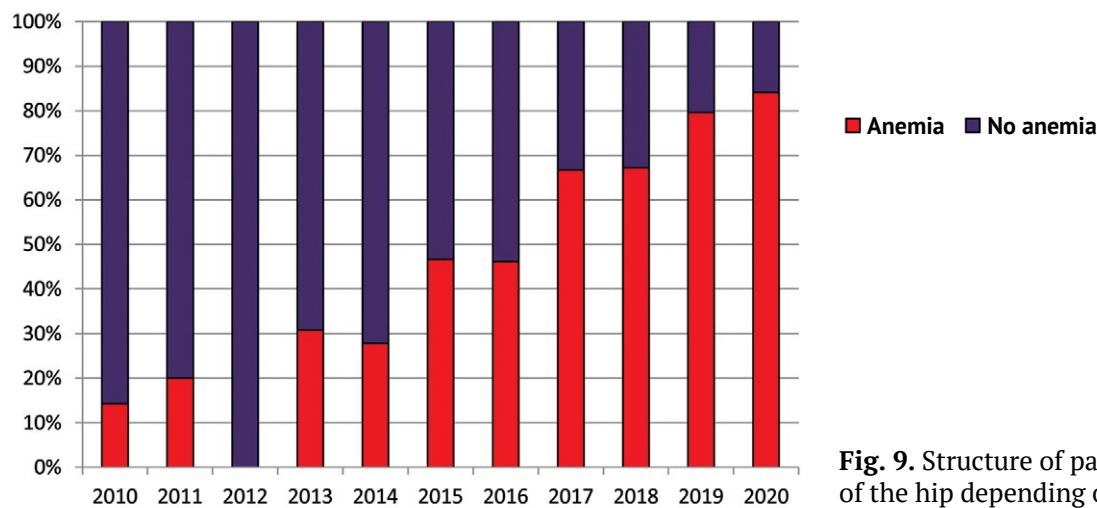


Fig. 9. Structure of patients with PJI of the hip depending on anemia

Characteristics of surgeries performed at the first stage of treatment

Removal of the infected implant with spacer implantation as the first stage of two-stage treatment was the most common operation, performed in 81.06% of cases (364 out of 449). One-stage revision arthroplasty was carried out much less frequently, in 6.23% of cases (28 out of 449). Implant retaining debridement and subsequent antibiotic therapy was performed in 6.46% of cases (29 of 449). Resection arthroplasty at the first stage was performed in 6.23% of cases (28 of 449).

The mean surgery duration when performing the first (debridement) stage was 181.6±60 minutes (Me – 170; 95% CI: 175.9-187.3), with a minimum time of 30 minutes and a maximum of 375 minutes.

From 2011 to 2014, the duration of surgery was more than 200 minutes, but a trend towards a decrease was clearly seen, and since 2016, the rate has been consistently below the 200 minutes level (Fig. 10). This can be explained by a combination of improvement of surgical technique, experience gained by surgeons, implementation of a unified

treatment algorithm according to ICM of 2013 [15], larger variety of surgical instruments and implant range.

There is also a decrease in the average intraoperative blood loss during the first stage of surgical intervention. The blood loss averaged 739 ± 321 ml (Me – 700 ml; 95% CI: 709.9-765.6),

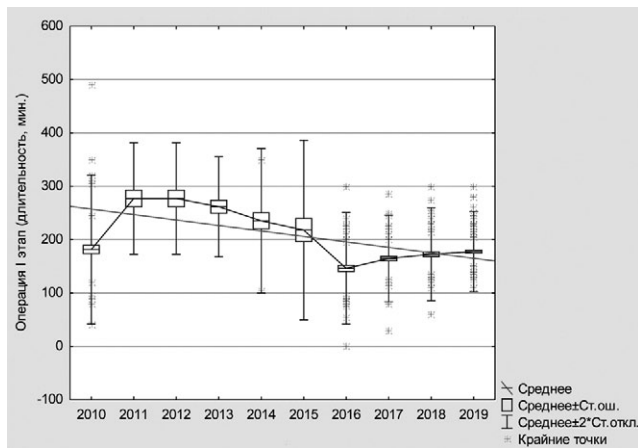


Fig. 10. Box-and-whisker plot of the surgery duration at the first stage of surgical treatment, minutes

with a minimum blood loss of 50 ml and a maximum blood loss of 2000 ml (Fig. 11).

At the time of the first stage of treatment, the acetabular and femoral bone defects were evaluated using radiologic methods and intraoperative data according to the classification of W. Paprosky [16]. Type 2 defects prevailed (Fig. 12).

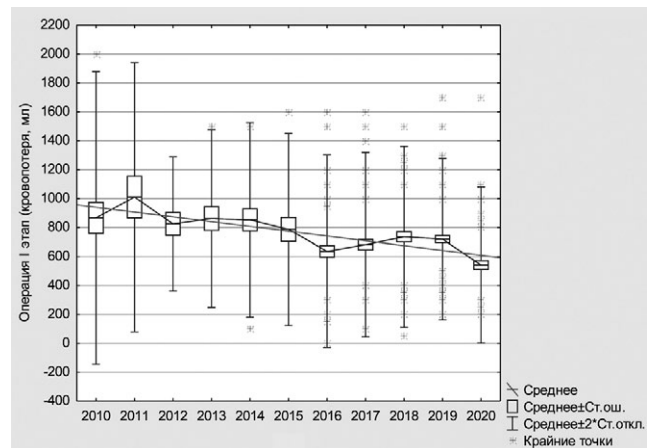


Fig. 11. Box-and-whisker plot of the blood loss at the first stage of surgical treatment, ml

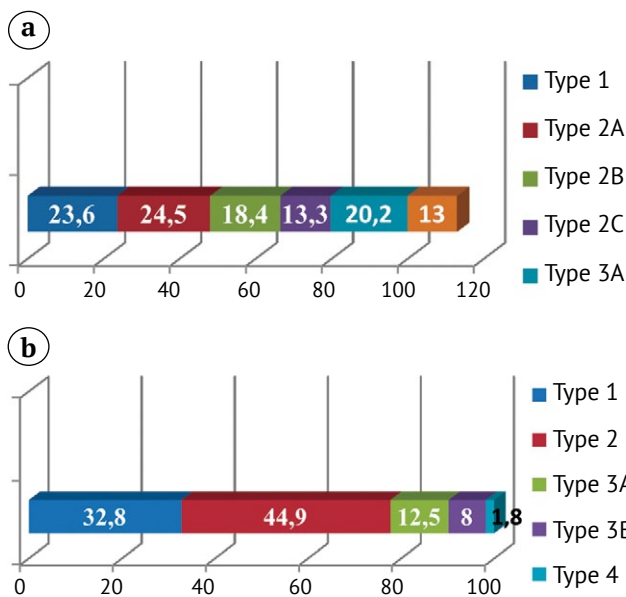


Fig. 12. Structure of patients with PJI of the hip, %: a – with acetabular defects (according to W. Paprosky); b – with femoral bone defects (according to W. Paprosky)

Etiology of the infectious process in patients with periprosthetic joint infection

During the first stage of treatment, the objects of microbiologic tests were aspirated synovial fluid, samples of excised soft and bone tissues, and

removed prosthetic components. The presence of the infectious agent was microbiologically confirmed in 91.8% (n = 412) of cases. Gram-positive microorganisms predominated among the pathogens – 55.7% (n = 250), Gram-negative microflora in monoculture was identified in 7.8% (n = 35) of cases, polymicrobial infection was found in 27.6% (n = 124) of patients, and fungal infection in 0.7% (n = 3). In 8.2% (n = 37) of patients, the causative agents could not be identified.

Annual reports from various registries do not include specific information on the number of surgeries for the PJI and on microbiologic tests. However, the following data have been reported

in some papers. P.H. Gundtoft, having analyzed 271 revisions for PJI performed in Denmark, showed that in 36% of cases the causative agent was *Staphylococcus aureus*, in 33% – coagulase-negative staphylococci. Pathogens of the *Enterobacteriaceae* family, *Enterococcus* spp. and *Streptococcus* spp. were also frequently encountered. [17]. Data from the Australian national registry for 2014-2017 also show the predominance of *S. aureus* (40%) and a large share of β -hemolytic streptococci (10.2%), while coagulase-negative staphylococci were found in only 5.6% of cases [11].

Characteristics of surgeries performed at the second stage of treatment

During the second stage of treatment, the mean surgery duration was 156.1 ± 50.0 minutes (Me – 170; 95% CI: 150.8-161.5), with a minimum time of 55 minutes and a maximum of 490 minutes. The duration of the second stage remained stable being about 160 minutes over the past 5 years (Fig. 13).

In contrast to the average duration of surgery, the average intraoperative blood loss tended to decrease (Fig. 14). The mean blood loss was 614.5 ± 316.0 ml (Me – 500; 95% CI: 578.2-650.7), with a minimum blood loss of 50 ml and a maximum blood loss of 2000 ml.

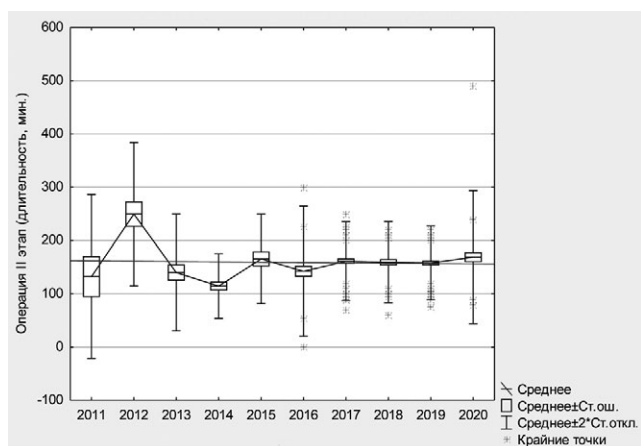


Fig. 13. Box-and-whisker plot of the surgery duration at the second stage of surgical treatment, minutes

Results of periprosthetic joint infection treatment

Data were collected by examining patients in the outpatient clinic, interviewing them using mobile phones and e-mail. We analyzed short-term (within a year after the last revision) and long-term (a year or more after discharge from the hospital) treatment results.

According to the materials of the first consensus conference on PJI (2013) [15], to objectively control the inflammatory process after treatment, it is necessary to exclude recurrence of infection (presence of wounds and/or fistulas, drainage systems in the joint, persistent pain syndrome); repeated revisions for infection; and death due to sepsis.

Short-term results (within one year of the last revision). As a result of treatment, resolution of infection was achieved in 61.3% (n = 275) of cases, recurrence of infection after the first or the second stage was observed in 38.7% (n = 174) of patients (Fig. 15). Analyzing the data from 2010 to 2015, it can be noted that the recurrence rate varied from 30 to 40%. From 2016 to 2020, it decreased significantly, ranging from 10 to 20%.

Long-term results (mean follow-up 5.92 ± 2.55 years; Me – 6; 95% CI: 2.39-2.73). We were able to evaluate the results of treatment in 84% (n = 377) of patients; in 16% (n = 72) of cases we were unable to contact the patient (Fig. 15).

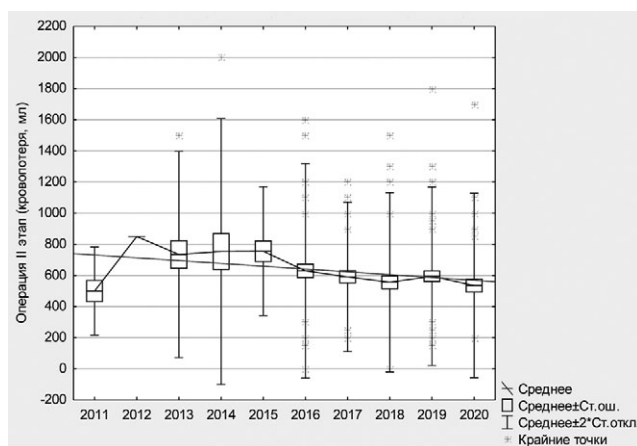


Fig. 14. Box-and-whisker plot of the blood loss at the second stage of surgical treatment, ml

It follows from the data of the diagram that lethal outcome on the background of septic state was identified in 1.7% (8 out of 449) of cases, recurrence of PJI was found in 6.2% (28 out of 449), death on the background of other diseases without signs of progression of the infectious process after revision interventions in our clinic

amounted to 9.1% (41 out of 449), resolution of infection was noted in 67% (300 out of 449). According to the ICM criteria (2013) [15], the cumulative success rate of PJI resolution was 76%, the overall lethality was 10.8%, with a mean follow-up period of 5 years.

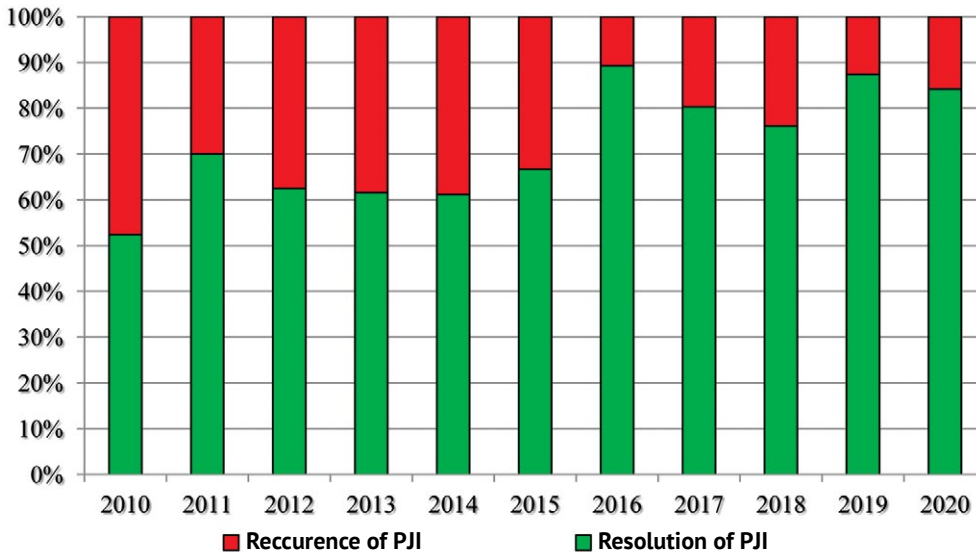


Fig. 15. Frequency of early recurrence of PJI

DISCUSSION

Different types of arthroplasty registries, including local and national ones, play an important role in the organization of treatment of patients with joint pathologies. Ineffective treatment, high rate of complications and consequently rising costs are the main problems faced by the health service. In order to improve the quality of joint replacement, arthroplasty registries have been established, which collect a limited amount of information from a specific medical facility, geographical region or the whole country. Implant registries are compiled basing on complication and survival rates for specific endoprostheses.

The PJI registry organized at the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics has certain differences. The main purpose of the registry is to collect institutional data to analyze and draw statistically significant conclusions regarding the patient, surgical technique and implant-related risk factors that lead to good or bad outcomes. Therefore, there is no record of manufacturer-specific implants that were removed or implanted during treatment.

It should be noted that among the national registry reports that we found in public access, there are no documents in which the treatment of PJI was distinguished in a separate section. Moreover, when analyzing revision surgeries, the main emphasis is placed on specific prosthetic components of different manufacturers, friction pairs, head dimensions, other technical characteristics, and the period of its removal after implantation.

Analysis of the age of patients showed that the results of our study are close to the data of the largest national registry, which is conducted at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics for 2007-2012 [18]. But in comparison with the data of foreign national registries, some figures are different. Thus, according to the Swedish registry, the average age of patients in revision hip replacement is 73.5 years [19], in the UK for two-stage revisions – 70 years [20], in Denmark and Australia – 69 years [17].

Patients with viral hepatitis B and C made up a significant part of the patients in our registry. There are publications in which hepatitis is considered as a separate risk factor. H. Bedair and

colleagues compare two groups of patients with chronic hepatitis C: one group received proper treatment for hepatitis before hip replacement in contrast to the other one. The incidence of infection in the untreated group of patients was 14%, while no such complications were found in patients receiving interferon [21]. B. Kidow et al. discovered that viral hepatitis C increases the risk of PJI development during one and a half years after surgery almost twofold [22].

Human immunodeficiency virus can be considered as an independent factor that increases the risk of inflammation [23]. Studies have shown that the combination of viral hepatitis (B, C) and HIV increases the incidence of infection after joint replacement [22, 24].

In our study, 29 (6.5%) of 449 patients with PJI of hip received hormonal treatment for systemic connective tissue diseases (rheumatoid arthritis, systemic lupus erythematosus, etc.). Analysis of data from the New Zealand national registry indicates that rheumatoid arthritis more than doubles the risk of revision for PJI in the first year after surgery [4]. Another study based on the data from the Nordic Arthroplasty Register Association showed that the risk of revision for infection is 1.3 times higher in such patients [25].

More than 90% of patients in our centre had chronic PJI, and three quarters of patients had a fistula, which is significantly higher than in the above-mentioned registries.

CONCLUSIONS

The primary analysis of the data from the local registry of hip periprosthetic infection of the Ilizarov Centre showed that the average age of patients in our country is significantly lower than in the known national registries. At the same time, the infectious agents were similar: Gram-positive microorganisms accounted for more than 55%. The registry data shows a significant decrease in the PJI recurrence rate over the last 5 years.

A more profound and detailed analysis of the performed surgeries and risk factors for recurrence of infection is planned in our future studies.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Kini S.G., Gabr A., Das R., Sukeik M., Haddad F.S. Two-stage Revision for Periprosthetic Hip and Knee Joint Infections. *Open Orthop J.* 2016;10:579-588. doi: 10.2174/1874325001610010579.
2. Varnum C., Pedersen A.B., Gundtoft P.H., Overgaard S. The what, when and how of orthopaedic registers: an introduction into register-based research. *EFORT Open Rev.* 2019;4(6):337-343. doi: 10.1302/2058-5241.4.180097.
3. Sereda A.P., Kochish A.A., Cherny A.A., Antipov A.P., Aliev A.G., Veber E.V. et al. Epidemiology of Hip And Knee Arthroplasty and Periprosthetic Joint Infection in Russian Federation. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(3):84-93. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93.
4. Smith J.O., Frampton C.M.A, Hooper G.J., Young S.W. The Impact of Patient and Surgical Factors on the Rate of Postoperative Infection After Total Hip Arthroplasty – A New Zealand Joint Registry Study. *J Arthroplasty.* 2018;33(6):1884-1890. doi: 10.1016/j.arth.2018.01.021.
5. Panula V.J., Alakylä K.J., Venäläinen M.S., Haapakoski J.J., Eskelinen A.P., Manninen M.J. et al. Risk factors for prosthetic joint infections following total hip arthroplasty based on 33,337 hips in the Finnish Arthroplasty Register from 2014 to 2018. *Acta Orthop.* 2021;92(6):665-672. doi: 10.1080/17453674.2021.1944529.
6. Bülow E., Hahn U., Andersen I.T., Rolfson O., Pedersen A.B., Hailer N.P. Prediction of Early Periprosthetic Joint Infection After Total Hip Arthroplasty. *Clin Epidemiol.* 2022;14:239-253. doi: 10.2147/CLEP.S347968.
7. Dale H., Fenstad A.M., Hallan G., Overgaard S., Pedersen A.B., Hailer N.P. et al. Increasing risk of revision due to infection after primary total hip arthroplasty: results from the Nordic Arthroplasty Register Association. *Acta Orthop.* 2023;94:307-315. doi: 10.2340/17453674.2023.13648.
8. Kunutsor S.K., Beswick A.D., Whitehouse M.R., Blom A.W., Lenguerrand E. Implant Fixation and Risk of Prosthetic Joint Infection Following Primary Total Hip Replacement: Meta-Analysis of Observational Cohort and Randomised Intervention Studies. *J Clin Med.* 2019;8(5):722. doi: 10.3390/jcm8050722.
9. Yoon B.H., Ha Y.C., Lee Y.K., Koo K.H. Postoperative Deep Infection After Cemented Versus Cementless Total Hip Arthroplasty: A Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2015;30(10):1823-1827. doi: 10.1016/j.arth.2015.04.041.
10. Li C., Renz N., Trampuz A. Management of Periprosthetic Joint Infection. *Hip Pelvis.* 2018;30(3):138-146. doi: 10.5371/hp.2018.30.3.138.
11. Sinagra Z.P., Davis J.S., Lorimer M., de Steiger R.N., Graves S.E., Yates P. et al. The accuracy of reporting of periprosthetic joint infection to the Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. *Bone Joint Open.* 2022;3(5):367-373. doi: 10.1302/2633-1462.35.BJO-2022-0011.R1.

12. Qvistgaard M., Nåtman J., Lovebo J., Almerud-Österberg S., Rolfson O. Risk factors for reoperation due to periprosthetic joint infection after elective total hip arthroplasty: a study of 35,056 patients using linked data of the Swedish Hip Arthroplasty Registry (SHAR) and Swedish Perioperative Registry (SPOR). *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):275. doi: 10.1186/s12891-022-05209-9.
13. Jämsen E., Nevalainen P., Eskelinen A., Huotari K., Kalliovalkama J., Moilanen T. Obesity, diabetes, and preoperative hyperglycemia as predictors of periprosthetic joint infection: a single-center analysis of 7181 primary hip and knee replacements for osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(14):e101. doi: 10.2106/JBJS.J.01935.
14. Sequeira S.B., Quinlan N.D., Althoff A.D., Werner B.C. Iron Deficiency Anemia is Associated with Increased Early Postoperative Surgical and Medical Complications Following Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2021;36(3):1023-1028. doi: 10.1016/j.arth.2020.09.043.
15. Parvizi J., Gehrke T., Chen A.F. Proceedings of the International Consensus on Periprosthetic Joint Infection. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11):1450-1452. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.33135.
16. Della Valle C.J., Paprosky W.J. The femur in revision total hip arthroplasty evaluation and classification. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(420):55-62. doi: 10.1097/00003086-200403000-00009.
17. Gundtoft P.H. Prosthetic Joint Infection following Total Hip Arthroplasty – Incidence, Mortality and Validation of the Diagnosis in the Danish Hip Arthroplasty Register. *Dan Med J.* 2017;64(9):B5397.
18. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Kovalenko A.N., Cherniy A.Z., Muravyeva Y.V., Goncharov M.Y. Data of hip arthroplasty registry of Vreden Institute for the period 2007-2012 years. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2013;19(3):167-190. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2013--3-167-190.
19. W-Dahl A., Kärrholm J., Rogmark C., Mohaddes M., Carling M., Sundberg M. et al. Swedish Hip Arthroplasty Register - annual report file. URL: https://registercentrum.blob.core.windows.net/sar/r/SAR-Annual-Report-2022_EN-HkgQE89Nus.pdf.
20. Ben-Shlomo Y., Blom A., Boulton C., Brittain R., Clark E., Dawson-Bowling S. et al. The National Joint Registry 19th Annual Report 2022. National Joint Registry. URL: <https://www.njrcentre.org.uk/njr-annual-report-2022/>.
21. Bedair H.S., Schurko B.M., Dwyer M.K., Novikov D., Anoushiravani A.A., Schwarzkopf R. Treatment for Chronic Hepatitis C Prior to Total Hip Arthroplasty Significantly Reduces Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2018;34(1):132-135. doi: 10.1016/j.arth.2018.09.036.
22. Kildow B.J., Politzer C.S., DiLallo M., Bolognesi M.P., Seyler T.M. Short and Long-Term Postoperative Complications Following Total Joint Arthroplasty in Patients With Human Immunodeficiency Virus, Hepatitis B, or Hepatitis C. *J Arthroplasty.* 2018;33(7):S86-S92.e1. doi: 10.1016/j.arth.2017.10.061.
23. Triapichnikov A.S., Ermakov A.M., Malkova T.A. Outcomes of revision arthroplasty for hip joint infection in matched groups of HIV-positive and HIV-negative patients. *Curr HIV Res.* 2022 Aug 5. doi: 10.2174/1570162X20666220805093833. Epub ahead of print.
24. Mahure S.F., Bosco M.J., Slover J.D., Vigdorichik G., Iorio R., Schwarzkopf R. Risk of Complications After THA Increases Among Patients Who Are Coinfected With HIV and Hepatitis. *Clin Orthop Relat Res.* 2018;50(2):356-369. doi: 10.1007/s11999-0000000000000025.
25. Schrama J.C., Fenstad A.M., Dale H., Havelin L., Hallan G., Overgaard S. et al. Increased risk of revision for infection in rheumatoid arthritis patients with total hip replacements. *Acta Orthop.* 2015;86(4):491-497. doi: 10.3109/17453674.2015.1017793.

Authors' information

✉ Aleksandr S. Tryapichnikov – Cand. Sci. (Med.)
Address: 6, M. Ulyanova st., Kurgan, 640014, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7305-506X>
e-mail: pich86@bk.ru

Alexander V. Burtsev – Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>
e-mail: bav31rus@mail.ru

Artem M. Ermakov – Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5420-4637>
e-mail: ema_cab@mail.ru

Tamara A. Silant'eva – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-6405-8365>
e-mail: tsyl@mail.ru

Nikita I. Rozhkov
<https://orcid.org/0000-0003-1848-9839>
e-mail: digham@mail.ru

Irina M. Dyatlova
<https://orcid.org/0009-0007-6733-838X>
e-mail: ic_bic@mail.ru

The Impact of Extended Preoperative Examination on the Treatment Tactics Choice before the Second Stage of Revision Hip Arthroplasty

Valery Yu. Murylev^{1,2}, J. Parvizi³, Alexander I. Rudnev^{1,2}, Grigory A. Kukovenko^{1,2}, Pavel M. Elizarov^{1,2}, Alexey V. Muzychenkov^{1,2}, Semyon S. Alekseev², Nikolay E. Erokhin^{1,2}, Konstantin G. Yakovlev²

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

² S.P. Botkin Moscow City Clinical Hospital, Moscow, Russia

³ Acibadem University, Istanbul, Turkey

Abstract

Background. Reinfection and recurrence of periprosthetic infection rates during the second stage of revision hip arthroplasty (RHA) remain quite high. Performing preoperative diagnostic aspiration in patients with the installed hip spacer is a controversial issue.

Aims of the study: 1) to compare the diagnostic accuracy, specificity and sensitivity of the used infection markers as a part of preoperative diagnostic protocols in order to exclude reinfection in patients with installed hip spacer before the second stage of RHA; 2) to analyze and compare the microbiological spectrum obtained at the stages of RHA.

Methods. Diagnostic accuracy parameters of the used infection markers were assessed in order to exclude reinfection/recurrence in 107 patients with installed hip spacer. All patients were divided into two groups. In Group 1 (prospective), blood tests as well as diagnostic aspiration of synovial fluid were performed within the extended diagnostic protocol. In Group 2 (retrospective), the examination was performed according to the screening preoperative diagnostic protocol including blood tests. The used reference range of inflammatory biomarkers was based on the “small criteria” of ICM 2018. According to the results of the intraoperative microbiological examination of peri-implant tissue samples at the first and second stages of RHA, the analysis of detected microflora was conducted in order to assess probable reinfection/recurrence.

Results. According to the results of the intraoperative microbiologic examination during the second stage of RHA, reinfection was detected in 40% of cases: in Group 1–9 cases, in Group 2–31 case. Synovial fluid was obtained from 85% of cases when preoperative diagnostic aspiration was performed. Synovial fluid could not be obtained in 15% cases (dry joint).

Conclusions. Performing preoperative diagnostic aspiration before the second stage of RHA in patients with the installed spacer allowed choosing correct treatment tactics in 9% of cases. The parameters of diagnostic accuracy accounted for 82.6%. In the structure of detected pathogens in case of recurrence and reinfection, the representatives of Gram-positive coagulase-negative flora were the most frequent.

Keywords: diagnostics of hip periprosthetic infection, reinfection, recurrence of infection, synovial fluid aspiration, hip spacer, revision hip arthroplasty.

Cite as: Murylev V.Yu., Parvizi J., Rudnev A.I., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Muzychenkov A.V., Alekseev S.S., Erokhin N.E., Yakovlev K.G. The Impact of Extended Preoperative Examination on the Treatment Tactics Choice before the Second Stage of Revision Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2): 29-39. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17510>.

✉ Valery Yu. Murylev; e-mail: nmuril@yandex.ru

Submitted: 23.03.2024. Accepted: 23.04.2024. Published Online:.

© Murylev V.Yu., Parvizi J., Rudnev A.I., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Muzychenkov A.V., Alekseev S.S., Erokhin N.E., Yakovlev K.G., 2024

Научная статья

УДК 616.728.2-089.844-089.193.4-07

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17510>

Влияние расширенного предоперационного обследования на выбор тактики лечения перед вторым этапом ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава

В.Ю. Мурылев^{1,2}, Д. Парвизи³, А.И. Руднев^{1,2}, Г.А. Куковенко^{1,2}, П.М. Елизаров^{1,2},
А.В. Музыченков^{1,2}, С.С. Алексеев², Н.Е. Ерохин^{1,2}, К.Г. Яковлев²

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия

² ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.П. Боткина» Департамента здравоохранения г. Москвы, г. Москва, Россия

³ Университет Аджибадем, г. Стамбул, Турция

Реферат

Актуальность. Показатели реинфекции или рецидива перипротезной инфекции при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава (РЭТС) остаются достаточно высокими. Выполнение предоперационной диагностической аспирации у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава является дискуссионным вопросом.

Цели исследования: 1) сравнить диагностическую точность, специфичность и чувствительность используемых маркеров инфекции в рамках предоперационных диагностических протоколов для исключения реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава перед вторым этапом ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава; 2) проанализировать и сравнить микробиологический пейзаж, полученный на этапах ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава.

Материал и методы. Проведена оценка показателей диагностической точности используемых маркеров инфекции с целью исключения реинфекции/рецидива у 107 пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава. Пациенты были разделены на две группы: 1-я группа — проспективная, в которой использовался расширенный диагностический протокол с выполнением диагностической аспирации синовиальной жидкости и анализов крови; 2-я группа — ретроспективная, в которой использовался скрининговый диагностический протокол с выполнением анализов крови. Используемые референсные значения биомаркеров реинфекции основывались на «малых критериях» протокола ISM (2018). По результатам интраоперационного микробиологического исследования образцов перимплантных тканей на первом и втором этапах РЭТС был проведен анализ полученной микрофлоры с целью оценки вероятного рецидива/реинфицирования.

Результаты. Реинфекция в обеих группах по результатам интраоперационного микробиологического исследования при выполнении второго этапа РЭТС диагностирована в 40% случаев: в 1-й группе пациентов — 9 случаев, во 2-й группе — 31 случай. Синовиальная жидкость при выполнении предоперационной аспирации была получена в 85% случаев, «сухой сустав» — в 15%.

Заключение. Выполнение предоперационной диагностической аспирации перед вторым этапом РЭТС у пациентов с установленным спейсером позволило в 9% случаев выбрать правильную тактику лечения, продемонстрировав показатель диагностической точности в 82,6%. Преобладающая микрофлора в структуре реинфекции тазобедренного сустава при выполнении второго этапа РЭТС представлена грамположительными коагулазонегативными микроорганизмами.

Ключевые слова: диагностика перимплантной инфекции тазобедренного сустава, реинфекция, рецидив инфекции, аспирация синовиальной жидкости, лабораторная диагностика перимплантной инфекции тазобедренного сустава, спейсер тазобедренного сустава, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава.

Для цитирования: Мурылев В.Ю., Парвизи Д., Руднев А.И., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Музыченков А.В., Алексеев С.С., Ерохин Н.Е., Яковлев К.Г. Влияние расширенного предоперационного обследования на выбор тактики лечения перед вторым этапом ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2024;30(2):29-39. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17510>.

Мурылев Валерий Юрьевич; e-mail: nmuril@yandex.ru

Рукопись получена: 23.03.2024. Рукопись одобрена: 23.04.2024. Статья опубликована онлайн:

© Мурылев В.Ю., Парвизи Д., Руднев А.И., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Музыченков А.В., Алексеев С.С., Ерохин Н.Е., Яковлев К.Г., 2024

BACKGROUND

According to the data of the national arthroplasty registries, the number of hip arthroplasties is steadily increasing, resulting in a growing number of complications. Periprosthetic joint infection (PJI) of the hip is the most common and destructive complication of hip arthroplasty [1, 2, 3].

Progressive bone tissue deficit, as well as the need for prolonged hospital stay and repeated surgical interventions increase the risk of fatal complications and reduce patients' quality of life, often leading to disability and death [4, 5, 6]. According to K.M. Natsuhara et al., the mortality rate after two-stage revision intervention for PJI within a year is 4.22%, and within 5 years – more than 21% [7]. Moreover, there is a possibility of reinfection and recurrence of infectious process in the area of the operated hip. There are data on the incidence of recurrence of infection after revision surgeries, which is 10% one year after the intervention, 14% after 5 years and 15% after 15 years from the surgery [8]. There are several ways of treating PJI of the hip. To determine further treatment tactics, it is necessary to make a correct diagnosis.

C. Li et al. developed a classification of PJI based on the maturity of microbial biofilm on the surface of prosthetic components, dividing PJI into acute and chronic [9]. In their earlier work D.T. Tsukayama et al. proposed a classification of PJI based on the time of manifestation of clinical signs and the entry sites of infection [10].

It is not difficult to make a diagnosis if the local signs of inflammation, as well as the presence of a fistula with abundant discharge in the area of the hip clearly indicate PJI. It is much more challenging to distinguish between chronic PJI caused by low-virulent strains of microorganisms and aseptic loosening of prosthetic components. For this purpose, specialists all over the world use various protocols for PJI diagnostics, among them the most popular are EBJIS [11], ICM [12], WAIOT [13]. One way or another, the routine microbiological examination of synovial fluid and periprosthetic tissue samples remains the gold standard for PJI diagnostics [14].

In cases of PJI detection, specialists use such surgical treatment options as one- and two-stage revision hip arthroplasty (RHA) [15]. In one-stage RHA, all prosthetic components are removed, debridement of the joint is performed,

and revision components are implanted, followed by prolonged antibiotic therapy [16].

When treating late deep hip PJI, a two-stage RHA is preferred [17, 18]. The advantage of this method is the local impact of antibacterial drugs directly in the focus of infection [19]. The first stage includes removal of prosthetic components, debridement, and installation of various types of antibiotic-impregnated spacers. At the second stage, when reinfection is excluded, spacer removal, debridement, and installation of revision prosthetic components are performed [16, 20].

The so-called desperate operation for chronic PJI is Girdlestone arthroplasty or limb amputation [21].

Nowadays, the problem of the necessity to perform diagnostic aspiration of synovial fluid of the hip before the second stage of revision arthroplasty is acute. Due to the peculiarities associated with the installed spacer, some specialists suggest proceeding to the second stage of RHA, bypassing diagnostic procedures and, moreover, aspiration of synovial fluid. In this case, the reinfection rate, according to different data, ranges from 8.4% to 33% [22, 23]. Q. Wang et al. in their study provide data on the reinfection rate of 22.5% already after the first stage of RHA [24].

Aims of the study: 1) to compare the diagnostic accuracy, specificity and sensitivity of the used infection markers as a part of preoperative diagnostic protocols in order to exclude reinfection in patients with installed hip spacer before the second stage of RHA; 2) to analyze and compare the microbiological spectrum obtained at the stages of RHA.

METHODS

Study design

Type of the study – prospective single-center with retrospective analysis.

The study was performed in 2018-2023 on the basis of the orthopedic department of Botkin City Clinical Hospital. It enrolled 107 patients.

Inclusion criteria:

- presence of a hip spacer inserted for the first time for PJI;
- absence of clinical signs of infectious process in the area of the planned operation (fistula, local hyperemia, hyperthermia);

- consent to perform the second stage of revision arthroplasty;
- written informed consent of the patient to participate in the study.

Non-inclusion criteria:

- active infectious process with a fistula in the hip joint area, local hyperemia, hyperthermia;
- previous Girdlestone surgery for PJI;
- objective contraindications to revision surgery due to somatic or mental status;
- HIV infection;
- repeated spacer implantation.

Exclusion criteria:

- appearance of a fistula in the area of the studied hip joint;
- patient's refusal of surgical intervention and further unwillingness to participate in the study;
- detection of reinfection during preoperative diagnostics;
- death of the patient before the second stage of RHA.

The scheme of patient enrollment is presented in Figure 1.

All patients were divided into two groups according to the retrospective or prospective nature of the data obtained and the scope of diagnostic measures performed.

Characteristics of the patients included in the study are presented in Table 1.

In Group 1 (prospective), blood tests for ESR, CRP, as well as diagnostic aspiration of synovial fluid of the hip with subsequent microbiological examination and determination of sensitivity to antibacterial drugs were performed within the extended diagnostic protocol at the preoperative stage. The obtained biomaterial was delivered to laboratory for microbiological analysis within 30 minutes. The obligatory condition was the refusal of local anesthesia, as well as the strict adherence to “antibacterial vacations” by patients at least 14 days before the planned aspiration. When the material was obtained, it was cultured on culture media (BD BACTEC Peds Plus, Becton Dickinson, USA) for up to 14 days, and the sensitivity to antibiotics was determined.

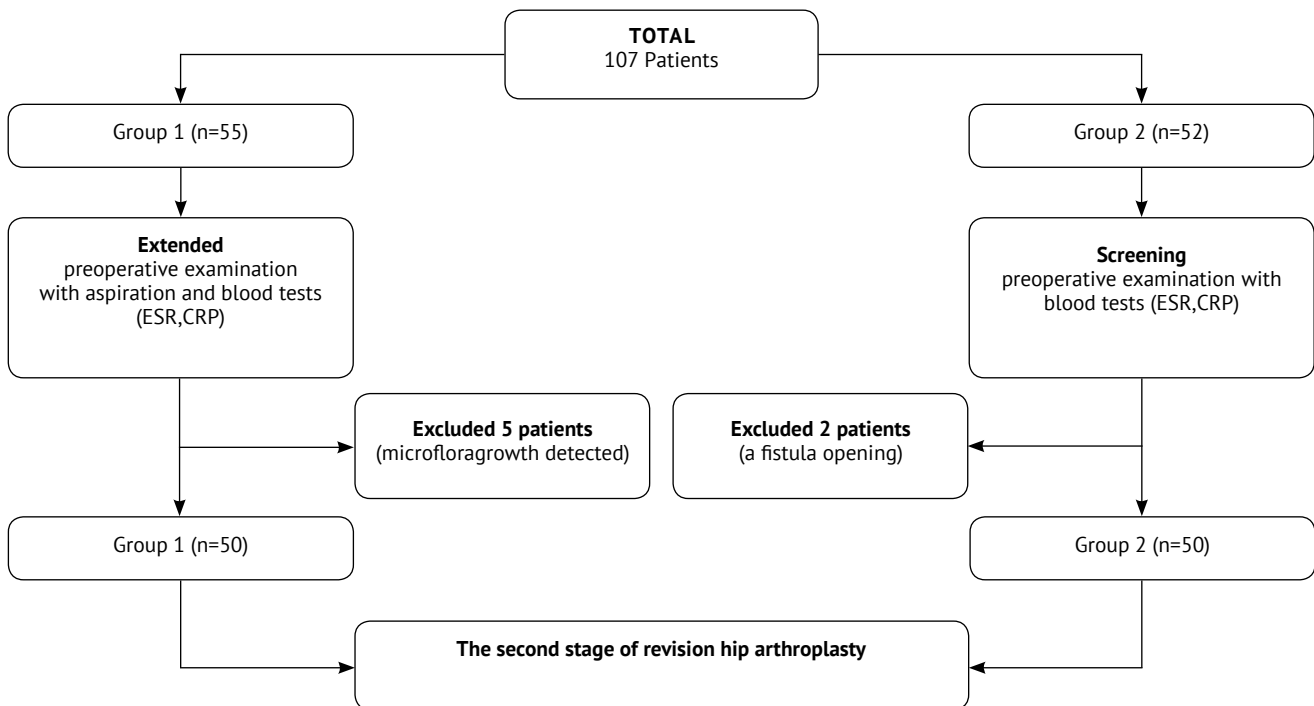


Fig.1. Flowchart of the study

Table 1

Characteristics of patients in the study groups

Parameter	Group 1	Group 2
The number of patients	55	52
BMI	33.6 (29.2-36.4)	32.1 (28.2-34.3)
Age, years old	68 (49-85)	66 (42-77)
Gender:		
male	29	22
female	26	30
Time before performing the second stage, weeks	43 (16-147)	35 (8-152)

$p > 0,05$

In case of aspirate absence (dry joint), the decision on further treatment tactics was made basing on the results of ESR and CRP serum biomarkers. If the values were within the reference range, according to the “small criteria” of the Second International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection (ICM 2018) [25], the situation was considered as the resolution of infection, and the patient was referred to the second stage.

In Group 2 (retrospective), the examination was performed according to the screening preoperative diagnostic protocol aiming to exclude reinfection. This protocol included retrospective analysis of the results of serum parameters of ESR and CRP inflammatory biomarkers. According to medical records, these patients had no signs of inflammation at the surgery site: local hyperemia, hyperthermia, fistula in the area of the studied hip joint. The threshold values of ESR and CRP serum parameters in patients of both groups corresponded to the threshold values of the “small criteria” of ICM 2018 [25].

Performing the second stage of RHA was recommended for patients in whom hip reinfection was excluded according to the results of the used preoperative diagnostic protocols. The second stage included spacer removal, debridement, and placement of revision prosthetic components.

Tissue sampling from the removed spacer components (from 3 to 6 samples) was performed in all patients at the stage of incision with subsequent microbiologic examination and determination of sensitivity to antibiotics. The result of the intraoperative microbiological examination of peri-implant tissue samples during the second stage of RHA was a reference one, on the basis of which the results of the

preoperative diagnostics in patients of groups 1 and 2 were evaluated and analyzed.

Statistical analysis

Information was collected, processed, and systematized using Microsoft Office Excel 2016 spreadsheets. Comparative analysis of frequencies in groups 1 and 2 was performed using Fisher's angular transformation (test) and Student's t-test. Differences were considered statistically significant at the level of $p < 0.05$.

Statistical data were analyzed using MedCalc 13.2.2 (MedCalc Software, Belgium) software. ROC-analysis was performed for all investigated biomarkers to determine the sensitivity, AUC and specificity of the used reinfection markers (Youden's index was used).

RESULTS

Synovial fluid was obtained from 47 (85%) of 55 patients in Group 1 when preoperative diagnostic aspiration was performed. Synovial fluid could not be obtained in 8 (15%) cases (dry joint). Serum markers (ESR, CRP) in all patients of Group 1 with dry joint did not exceed the threshold values specified in the ICM 2018 recommendations [25]. Therefore, they were recommended to perform the second stage of RHA.

In 5 (9%) patients of Group 1, according to the results of the preoperative microbiologic examination of synovial fluid, microflora growth was detected. These patients were excluded from the study and referred for revision arthroplasty, which included spacer removal, debridement, and reinsertion of the spacer.

During preoperative diagnostics, two (4%) patients of Group 2 were excluded from the study, as they were found to have fistula with serous

hemorrhagic discharge in the joint area. These patients were referred for further treatment (debridement, reinsertion of the spacer) to a septic surgery department.

According to the results of the intraoperative microbiologic examination during the second stage of RHA, reinfection was detected in 40 (40%) out of 100 patients in both groups. In Group 1, the number of patients with diagnosed infection according to the results of the intraoperative microbiologic examination when performing the second stage of RHA was lower: 9 (18%) vs 31 (62%) in the group of patients who had not undergone diagnostic aspiration ($p < 0.05$). Microbial associations were detected in 4 (45%) patients of Group 1 according to the results of the intraoperative microbiologic examination when performing the second stage of RHA. Four (45%) representatives of Gram-positive microorganisms (*S. haemolyticus*, MRSE, MSSE) and 1 (10%) representative of Gram-negative microflora (*E. coli*) were also detected.

According to the results of the intraoperative microbiologic examination during the second stage of RHA in 19 (62%) patients of Group 2, the detected microflora was represented by various Gram-positive microorganisms: MRSE – 7 (36%), *E. faecalis* – 3 (16%), MSSE – 2 (10%), *C. acnes* – 2

(10%), other species – 5 (28%), as well as microbial associations – 10 (32%). The spectrum of detected microorganisms also included representatives of Gram-negative flora: *K. pneumoniae* – 1 (3%), as well as growth of yeast-like fungi (*C. auris* – 1 (3%).

According to the results of ROC-analysis we determined the parameters of diagnostic accuracy, sensitivity, AUC and specificity of the used diagnostic methods in patients of both groups (Tables 2, 3).

Detection of microflora growth based on the results of the preoperative aspiration in 5 patients of Group 1 allowed to diagnose the infection in time and to change the tactics of further treatment by referring the patients for repeated spacer implantation.

Despite the low sensitivity indices of ESR, CRP and aspiration, the specificity indices showed high values for CRP and aspiration. Differences between the results of diagnostic parameters of ESR and CRP biomarkers in both groups were not statistically significant ($p > 0.05$).

We also analyzed and compared the results of the microbiological examination in patients with diagnosed infection after the first and the second stages of RHA to assess probable recurrence/reinfection. The following results were obtained:

Table 2

Diagnostic parameters of the markers used in Group 1

A marker	Threshold value	Sensitivity, % (95% CI)	Specificity, % (95% CI)	AUC	Accuracy, %
ESR, mm/h	30	44.44 (29.6–60.0)	66.67 (51.0–80.0)	0.561	55.5
CRP, mg/l	10	37.78 (23.8–53.5)	95.35 (84.2–99.4)	0.625	65.5
Aspiration	Absence of microflora growth	35.71 (12.8–64.9)*	100 (91.4–100.0)*	0.679*	82.6*

* including cases of microflora detection in the preoperative period.

Table 3

Diagnostic parameters of the markers used in Group 2

A marker	Threshold value	Sensitivity, % (95% CI)	Specificity, % (95% CI)	AUC	Accuracy, %
ESR, mm/h	30	42.15 (24.6–59.1)	62.23 (48.1–78.2)	0.542	53.2
CRP, mg/l	10	38.88 (24.7–55.9)	93.22 (81.6–98.5)	0.611	64.7

out of 40 patients with detected infection (in both groups) according to the results of the intraoperative microbiological examination of peri-implant tissue samples at the second stage of RHA, recurrence of infection (at least one microorganism obtained at the first stage was verified) was diagnosed in 10 (10%) cases, reinfection (microorganism detected at the second stage of RHA was different from the one obtained at the first stage) was diagnosed in 30 (30%) cases. No microflora growth (the situation is interpreted as an infection resolution) according to the results of the microbiological examination of peri-implant tissues samples at the second stage was observed in 60 (60%) cases.

One (2%) case of recurrence (methicillin-sensitive *Staphylococcus epidermidis*) in the microbial association was detected in Group 1. In Group 2, 9 (18%) cases of recurrent infection were detected. The predominant flora was represented by methicillin-resistant Gram-positive coagulase-negative staphylococci (MRSE – 25%), other representatives of Gram-positive microflora (20%), and microbial associations (55%).

Microflora analysis in patients with recurrent infection revealed that the most frequent pathogens were MRSE (40%) and other various Gram-positive microorganisms: *S. warneri* (10%), *S. capitis* (20%), MSSE (10%), *E. faecalis* (10%), MRSA (10%), including in microbial associations. It is worth noting that in 4 out of 10 patients (40%) with recurrent infection, growth of at least one of several pathogens obtained during the first stage of RHA was found. Two patients out of 10 (20%) showed complete recurrence of the microorganism/s, as in the first stage of RHA (at spacer placement stage).

It is important to mention that the majority of cases (9 out of 10) of PJI recurrence was observed in patients of Group 2. The number of patients with diagnosed recurrence of infection in Group 1 was statistically significantly lower than in Group 2: one case vs 9 cases, respectively ($p < 0.05$).

Reinfection with the newly diagnosed microorganism according to the results of the intraoperative microbiological examination of peri-implant tissue samples during the second stage of RHA among patients of both groups was detected in 30 cases (30%). In Group 1, 8 (16%) cases of reinfection were detected. Gram-positive coagulase-negative staphylococcus (MSSE – 2

(25%), *S. haemoliticus* – 2 (25%) and microbial associations – 3 (38%) prevailed in the structure of the detected microflora. In Group 2, 22 (44%) cases of microflora growth were detected according to the results of the intraoperative microbiologic examination when performing the second stage of RHA. The predominant flora were: Gram-positive coagulase-negative staphylococcus – 15 (65%) (*S. epidermidis* (20%) and other representatives of Gram-positive flora – 45%), Gram-negative flora (*K. pneumoniae* (5%), various microbial associations (25%), and also growth of yeast-like fungi was detected (5%). Cases of detected reinfection in Group 1 were statistically significantly less frequent than in Group 2: 8 cases vs 22 cases, respectively ($p < 0.05$).

Among 40 patients of both groups with detected infection according to the results of the intraoperative microbiological examination of peri-implant tissue samples during the second stage of RHA, 13 (32.5%) different microbial associations were obtained. Gram-positive staphylococcus prevailed in the microbial associations – 23 (82%): mainly MRSE (21%), *S. capitis* (17%) and other species (62%). There were also representatives of Gram-negative flora – 4 (14%), yeast-like fungi – 1 (2%).

DISCUSSION

Preoperative ruling out of reinfection is a rather controversial issue despite its high rates in patients with implanted hip spacer.

M. Sukeik et al. decided to perform the second stage of RHA basing on the results of the microbiological examination of synovial fluid obtained during preoperative aspiration of the hip joint. The authors also relied on the results of the serum values of ESR (less than 30 mm/hour) and CRP (less than 10 mg/l). Preoperative aspiration was performed at least 4 weeks after the end of the antibiotic therapy [26].

Timely and accurate diagnostics of PJI is extremely important and allows early verification of the causative agent and selection of the best treatment tactics. Various algorithms have been developed for these purposes. However, is it acceptable to use the same algorithms in patients with a hip spacer before the second stage of RHA?

Reinfection diagnostics in patients with hip spacer is extremely challenging. Even protocols for the diagnostics and treatment of PJI, such as MSIS [27] and ICM [25], lack recommendations

for diagnostic aspiration after the first stage of RHA.

In a study on the specific effects of articulating spacers on periprosthetic tissues, it was found that the spacers made of polymethylmethacrylate (PMMA) promote immunomodulatory effects on the synovial membrane and peri-implant tissues. The membrane formed at the spacer-bone interface is induced by various immune cells through abrasion of the cement, formation of cement debris, and migration of cellular immunity components [28]. Also, when performing diagnostic aspiration of the synovial fluid of the hip joint, it is important to realize that the antibiotics included in the spacer, being released into the synovial fluid, contribute to false-negative microbiologic results [29]. The issue of the duration of antibiotics release from the spacer is quite controversial, and in this regard, the accuracy of synovial biomarkers in case of synovial fluid aspiration in patients with a spacer in different time periods may differ. S.P. Boelch et al. presented data according to which the local concentration of antibiotics can remain elevated for more than 6 weeks after surgery. The authors note that the said data were obtained *in vitro*, while the duration of antibiotic release may differ *in vivo* [30]. Thus, the presence of increased concentration of immune cells and antibacterial agents in the joint cavity may contribute to false results of reinfection diagnostics when performing synovial fluid studies.

There are not so many available publications in which the authors show the results of the analysis of the diagnostic accuracy of different infection markers in order to exclude reinfection in patients before the second stage of RHA. Some specialists, such as S. Hoell et al. do not recommend performing aspiration before revision arthroplasty and suggest searching for new biomarkers to diagnose reinfection in patients with a hip spacer [31].

H.M.L. Mühlhofer et al. in their study evaluated the diagnostic parameters of serum (ESR, CRP) and synovial (polymorphonuclear neutrophil count) markers of infection in patients after the first stage of RHA. Based on the data obtained by the authors, none of the biomarkers used allows verification of long-term persistent infection. On the other hand, the authors also note that performing a microbiologic examination of synovial fluid as a part of the

preoperative diagnostics of PJI often shows false-positive results (contamination), which leads to an inappropriate choice of treatment tactics. H.M.L. Mühlhofer et al. recommend using a multidisciplinary approach to the treatment of PJI and suggest proceeding to the second stage of RHA without interrupting the course of antibacterial therapy between stages [32].

S.P. Boelch et al. also believe that performing diagnostic hip joint aspiration with microbiological examination of synovial fluid and synovial fluid leukocyte count in patients with a spacer is not a reliable diagnostic standard to verify persistent infection. Just like H.M.L. Mühlhofer et al., they also suggest proceeding to the second stage of RHA without interruption of antibiotic therapy, and elevated serum CRP values should be considered only as an additional risk factor for the development of infectious complications [33].

It is worth discussing the question when we should proceed to the second stage of RHA. To date, this question remains unanswered. Despite numerous studies, there is currently no universally accepted protocol regarding the timing of the second stage of RHA [34]. In turn, we believe that the optimal time to perform it is the period of compensation and recovery of the patient's general condition after the first stage, taking into account a highly traumatic intervention, and after the exclusion of reinfection based on the results of a comprehensive preoperative diagnostic algorithm with diagnostic aspiration of the joint.

Some authors suggest that the second stage of RHA should be performed 4-11 weeks after the spacer implantation, since the operations performed during this period, in their opinion, have the highest efficacy. According to the same authors, RHA performed up to 4 weeks after the spacer insertion had a 100% risk of reinfection, and after 11 weeks the risk of reinfection was 47.8%. The authors also reported a 30% recurrence rate of infection caused by the same infectious agent [35].

Unfortunately, recurrence of infection after the second stage of revision arthroplasty is not uncommon. According to some reports, the rate of infection recurrence within 15 years after RHA is 17% [36]. E. Kozaily et al. found a 49% reinfection rate after performing two-stage RHA at a follow-up of up to 2 years. The decision to

perform the second stage was taken considering the condition of the postoperative wound, as well as the tendency of proinflammatory serum biomarkers to decrease by 80%. Preoperative diagnostic aspiration was not performed during the study [37]. On the other hand, it remains unclear whether the microorganism detected is actually a recurrence of an infection that has not been cured after the spacer placement or it is already a new pathogen. In our study, the rate of recurrence of infection was 10%. In 30% of cases, a completely different microorganism or microbial association (reinfection) was detected.

In the study, we also encountered the problem of dry joint. Synovial fluid was absent in 15% of cases when performing preoperative aspiration in patients with a hip spacer. S.A. Bozhkova et al. in their study, performing preoperative aspiration in patients before revision intervention, faced dry joint in 21.4% of cases. The authors also believe that performing preoperative joint aspiration is not sufficient for the diagnostics of PJI, but detection of a positive culture of microorganisms is one of the factors in choosing further treatment tactics [38]. Unfortunately, the authors do not mention whether aspiration was performed in patients with a spacer, which may make it difficult to analyze the data. S. Huguet et al. analyzed the efficacy of preoperative aspiration of 20 hip joints. According to the results obtained, the sensitivity of the method was 0% [39].

Remarkably, we were able to find few available studies analyzing a large number of aspirations in patients with an implanted hip spacer [29, 31, 32, 33, 39].

CONCLUSIONS

The use of the extended preoperative diagnostic protocol allowed us to detect reinfection as early as at the preoperative stage, which influenced further treatment tactics.

According to our ideas about detailed preoperative diagnostics, before performing the second stage of revision hip arthroplasty it is necessary to perform diagnostic aspiration of synovial fluid of the hip joint in all patients having a spacer. This procedure allows to significantly reduce the risk of intraoperative detection of infection during the second stage of RHA.

Despite the routine use of ESR and CRP serum biomarkers, the best diagnostic accuracy rate among the tests used was demonstrated when the preoperative diagnostic aspiration was performed.

In the structure of detected pathogens in case of recurrence and reinfection, the representatives of Gram-positive coagulase-negative flora were the most frequent.

DISCLAIMERS

Funding source. State budget financing.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Annual report 2021 Norwegian National Advisory Unit on Arthroplasty and Hip Fractures. doi:10.13140/RG.2.2.34266.26566.
2. Swedish Arthroplasty Register Annual Report 2021. <https://registercentrum.blob.core.windows.net/sar/r/SAR-Annual-Report-2021-SyllifXi1s.pdf>. doi: 10.18158/SyujK_qxc.
3. The Danish Hip Arthroplasty Register (DHR), 2021 National Annual Report. Available from: URL: <http://www.dhr.dk>.
4. Kapadia B.H., Berg R.A., Daley J.A., Fritz J., Bhavne A., Mont M.A. Periprosthetic joint infection. *Lancet*. 2016;387(10016):386-394. doi: 10.1016/S0140-6736(14)61798-0.
5. Rietbergen L., Kuiper J.W., Walgrave S., Hak L., Colen S. Quality of life after staged revision for infected total hip arthroplasty: a systematic review. *Hip Int*. 2016;26(4):311-318. doi: 10.5301/hipint.5000416.
6. Hipfl C., Leopold V., Becker L., Pumberger M., Perka C., Hardt S. Two-stage revision for periprosthetic joint infection in cemented total hip arthroplasty: an increased risk for failure? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(7):4481-4490. doi: 10.1007/s00402-022-04671-3.
7. Natsuhara K.M., Shelton T.J., Meehan J.P., Lum Z.C. Mortality During Total Hip Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2019;34(7S):S337-S342. doi: 10.1016/j.arth.2018.12.024.
8. Petis S.M., Abdel M.P., Perry K.I., Mabry T.M., Hanssen A.D., Berry D.J. Long-Term Results of a 2-Stage Exchange Protocol for Periprosthetic Joint Infection Following Total Hip Arthroplasty in 164 Hips. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(1):74-84. doi: 10.2106/JBJS.17.01103.
9. Li C., Renz N., Trampuz A. Management of Periprosthetic Joint Infection. *Hip Pelvis*. 2018;30(3):138-146. doi: 10.5371/hp.2018.30.3.138.

10. Tsukayama D.T., Estrada R., Gustilo R.B. Infection after total hip arthroplasty. A study of the treatment of one hundred and six infections. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(4):512-523. doi: 10.2106/00004623-199604000-00005.
11. Papalini C., Pucci G., Cenci G., Mencacci A., Francisci D., Caraffa A. et al. Prosthetic joint infection diagnosis applying the three-level European Bone and Joint Infection Society (EBJIS) approach. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2022;41(5):771-778. doi: 10.1007/s10096-022-04410-x.
12. Schwarz E.M., Parvizi J., Gehrke T., Aiyer A., Battenberg A., Brown S.A. et al. 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. *J Orthop Res.* 2019;37(5):997-1006. doi: 10.1002/jor.24293.
13. Bozhkova S., Suardi V., Sharma H.K., Tsuchiya H., Del Sel H., Hafez M.A. et al. The W.A.I.O.T. Definition of Peri-Prosthetic Joint Infection: A Multi-center, Retrospective Validation Study. *J Clin Med.* 2020;9(6):1965. doi: 10.3390/jcm9061965.
14. Tarabichi S., Goh G.S., Zanna L., Qadiri Q.S., Baker C.M., Gehrke T. et al. Time to Positivity of Cultures Obtained for Periprosthetic Joint Infection. *J Bone Joint Surg Am.* 2023;105(2):107-112. doi: 10.2106/JBJS.22.00766.
15. Ahmed S.S., Begum F., Kayani B., Haddad F.S. Risk factors, diagnosis and management of prosthetic joint infection after total hip arthroplasty. *Expert Rev Med Devices.* 2019;16(12):1063-1070. doi: 10.1080/17434440.2019.1696673.
16. Pannu T.S., Villa J.M., Higuera C.A. Diagnosis and management of infected arthroplasty. *SICOT J.* 2021;7:54. doi: 10.1051/sicotj/2021054.
17. Renner L., Perka C., Trampuz A., Renz N. Treatment of periprosthetic infections. *Chirurg.* 2016;87(10):831-838. (In German). doi: 10.1007/s00104-016-0255-5.
18. Li C., Renz N., Trampuz A., Ojeda-Thies C. Twenty common errors in the diagnosis and treatment of periprosthetic joint infection. *Int Orthop.* 2020;44(1):3-14. doi: 10.1007/s00264-019-04426-7.
19. Webb J.C., Gbejuade H., Lovering A., Spencer R. Characterisation of in vivo release of gentamicin from polymethyl methacrylate cement using a novel method. *Int Orthop.* 2013;37(10):2031-2036. doi: 10.1007/s00264-013-1914-5.
20. Murylev V., Kukovenko G., Elizarov P., Rukin Ya, Tsigin N. Periprosthetic infection during hip arthroplasty. *Vrach.* 2018;29(3):17-22. (In Russian). doi: 10.29296/25877305-2018-03-04.
21. Girdlestone G.R. Arthrodesis and other operations for tuberculosis of the hip. In: Milford H., ed. *The Robert Jones birthday volume.* London: Oxford University Press; 1928. p. 347-74.
22. Ibrahim M.S., Raja S., Khan M.A., Haddad F.S. A multidisciplinary team approach to two-stage revision for the infected hip replacement: a minimum five-year follow-up study. *Bone Joint J.* 2014;96-B(10):1312-1318. doi: 10.1302/0301-620X.96B10.32875.
23. Goud A.L., Harlianto N.I., Ezzafzafi S., Veltman E.S., Bekkers J.E.J., van der Wal B.C.H. Reinfection rates after one- and two-stage revision surgery for hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(2):829-838. doi: 10.1007/s00402-021-04190-7.
24. Wang Q., Huang J., Chen X., Jin Y. Risk factors of reinfection after prosthesis removal and antibiotic bone cement spacer implantation for the treatment of periprosthetic joint infection. *BMC Infect Dis.* 2022;22(1):905. doi: 10.1186/s12879-022-07908-z.
25. Parvizi J., Tan T.L., Goswami K., Higuera C., Della Valle C., Chen A.F. et al. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty.* 2018;33(5):1309-1314.e2. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.078.
26. Sukeik M., Haddad F.S. Two-stage procedure in the treatment of late chronic hip infections – spacer implantation. *Int J Med Sci.* 2009;6(5):253-257. doi: 10.7150/ijms.6.253.
27. Parvizi J., Zmistowski B., Berbari E.F., Bauer T.W., Springer B.D., Della Valle C.J. et al. New definition for periprosthetic joint infection: from the Workgroup of the Musculoskeletal Infection Society. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(11):2992-2994. doi: 10.1007/s11999-011-2102-9.
28. Singh G., Deutloff N., Maertens N., Meyer H., Awiszus F., Feuerstein B. et al. Articulating polymethylmethacrylate (PMMA) spacers may have an immunomodulating effect on synovial tissue. *Bone Joint J.* 2016;98-B(8):1062-1068. doi: 10.1302/0301-620X.98B8.36663.
29. Newman J.M., George J., Klika A.K., Hatem S.F., Barsoum W.K., Trevor North W. et al. What is the Diagnostic Accuracy of Aspirations Performed on Hips With Antibiotic Cement Spacers? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(1):204-211. doi: 10.1007/s11999-016-5093-8.
30. Boelch S.P., Jordan M.C., Arnholdt J., Rudert M., Luedemann M., Steinert A.F. Loading with vancomycin does not decrease gentamicin elution in gentamicin premixed bone cement. *J Mater Sci Mater Med.* 2017;28(7):104. doi: 10.1007/s10856-017-5915-6.
31. Hoell S., Moeller A., Gosheger G., Harges J., Dieckmann R., Schulz D. Two-stage revision arthroplasty for periprosthetic joint infections: What is the value of cultures and white cell count in synovial fluid and CRP in serum before second stage reimplantation? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(4):447-452. doi: 10.1007/s00402-015-2404-6.
32. Mühlhofer H.M.L., Knebel C., Pohlig F., Feihl S., Harrasser N., Schauwecker J. et al. Synovial aspiration and serological testing in two-stage revision arthroplasty for prosthetic joint infection: evaluation before reconstruction with a mean follow-up of twenty seven months. *Int Orthop.* 2018;42(2):265-271. doi: 10.1007/s00264-017-3700-2.
33. Boelch S.P., Weissenberger M., Spohn F., Rudert M., Luedemann M. Insufficient sensitivity of joint aspiration during the two-stage exchange of the hip with spacers. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):7. doi: 10.1186/s13018-017-0703-z.

34. Puetzler J., Schulze M., Gosheger G., Schwarze J., Moellenbeck B., Theil C. Is long time to reimplantation a risk factor for reinfection in two-stage revision for periprosthetic infection? A systematic review of the literature. *Front Surg.* 2023;10:1113006. doi: 10.3389/fsurg.2023.1113006.
35. Vielgut I., Sadoghi P., Wolf M., Holzer L., Leithner A., Schwantzer G. et al. Two-stage revision of prosthetic hip joint infections using antibiotic-loaded cement spacers: When is the best time to perform the second stage? *Int Orthop.* 2015;39(9):1731-1736. doi: 10.1007/s00264-015-2751-5.
36. Carender C.N., DeMik D.E., Otero J.E., Noiseux N.O., Brown T.S., Bedard N.A. What is the Clinical Utility of Synovial Alpha Defensin Testing of Antibiotic Spacers Before Reimplantation? *J Arthroplasty.* 2021;36(6): 2150-2157. doi: 10.1016/j.arth.2021.02.001.
37. Kozaily E., Tan T.L., Yacovelli S., Anis H., Higuera C., Piuze N.S. et al. Interim Spacer Exchange for Treatment of Periprosthetic Joint Infection: Almost Half the Patients Subsequently Fail. *J Arthroplasty.* 2022;37(1): 150-155. doi: 10.1016/j.arth.2021.08.028.
38. Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Borisov A.M., Midaev A.I. Routine preoperative examination for diagnosis of periprosthetic joint infection and its recurrence in revision hip arthroplasty. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2022;(5):68-74. (In Russian). doi: 10.17116/hirurgia202205168.
39. Huguet S., Bernaus M., Gómez L., Cuchí E., Soriano A., Font-Vizcarra L. Role of joint aspiration before re-implantation in patients with a cement spacer in place. *World J Orthop.* 2022;13(6):615-621. doi: 10.5312/wjo.v13.i6.615.

Authors' information

✉ Valery Yu. Murylev — Dr. Sci. (Med.), Professor
Address: 8-2, Trubetskaya st., Moscow, 119991, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5753-8926>
e-mail: nmuril@yandex.ru

Javad Parvizi — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-6985-5870>
e-mail: javadparvizi@gmail.com

Alexander I. Rudnev
<https://orcid.org/0000-0003-4490-2922>
e-mail: ruda310895@gmail.com

Grigory A. Kukovenko — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-6700-0222>
e-mail: gkukovenko@gmail.com

Pavel M. Elizarov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>
e-mail: elizarov_07@mail.ru

Aleksey V. Muzychenkov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>
e-mail: amuzychenkov@inbox.ru

Semen S. Alekseev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7599-7472>
e-mail: semen.alekseev.92@mail.ru

Nikolay E. Erokhin
<https://orcid.org/0000-0002-0633-4357>
e-mail: nik_erokhin@mail.ru

Konstantin G. Yakovlev
<https://orcid.org/0009-0008-8558-7643>
e-mail: konstantinyakovlev2503@mail.ru



Factors Affecting the Course and Prognosis of Implant-Associated Infection Caused by *Klebsiella* spp.

Olga S. Tufanova¹, Alina R. Kasimova^{1,2}, Denis I. Astakhov¹, Anna N. Rukina¹,
Svetlana A. Bozhkova¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Department of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. The outcome of complex treatment of implant-associated infection (IAI) depends on various factors, but one of the most important is the etiology of the inflammatory process. Treatment of orthopedic infection caused by Gram-negative microorganisms in general and representatives of the family *Enterobacteriaceae* in particular causes many difficulties, one of which is the rapid growth of antibiotic resistance.

Aim of the study – to evaluate the factors affecting the course and prognosis of implant-associated infection caused by *Klebsiella* spp.

Methods. We performed a retrospective analysis of case histories of 85 patients who underwent treatment of IAI caused by *Klebsiella* spp. in the clinical departments of the center from January 1, 2017 to December 31, 2021. According to the results of the telephone survey, the patients were divided into 2 main groups depending on the outcome of the 2-year follow-up period determined in accordance with the Delphi criteria.

Results. It was found that the prognosis was significantly worsened by the number of sanitizing surgical interventions in the anamnesis ($p = 0.022$), the need for sanitizing intervention in the early postoperative period ($p < 0.001$) and the presence of *Klebsiella* spp. growth in postoperative culture tests ($p = 0.002$), hypoalbuminemia on 7-14 days after the surgery ($p = 0.008$). The administration of trimethoprim-sulfamethoxazole for the outpatient treatment stage significantly improved the outcome ($p = 0.038$), which is most likely due to a high proportion of polymicrobial associations – 69.5%.

Conclusions. There is a statistically significant direct relationship between the probability of an unfavorable treatment outcome of patients with IAI caused by *Klebsiella* spp. and the number of sanitizing surgical interventions in the anamnesis, low serum albumin (g/l) on 7-14 days after the operation, revision intervention in the early postoperative period, positive growth of *Klebsiella* spp. in postoperative culture tests. The probability of a favorable outcome was increased by the prescription of trimethoprim-sulfamethoxazole for oral administration at the outpatient stage.

Keywords: periprosthetic infection, osteomyelitis, enterobacteria, *Klebsiella*, antibacterial therapy, trimethoprim-sulfamethoxazole.

Cite as: Tufanova O.S., Kasimova A.R., Astakhov D.I., Rukina A.N., Bozhkova S.A. Factors Affecting the Course and Prognosis of Implant-Associated Infection Caused by *Klebsiella* spp. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):40-53. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16719>.

✉ Olga S. Tufanova; e-mail: katieva@mail.ru

Submitted: 03.10.2023. Accepted: 26.12.2023. Published Online: 26.04.2024.

© Tufanova O.S., Kasimova A.R., Astakhov D.I., Rukina A.N., Bozhkova S.A., 2024

Факторы, влияющие на течение и прогноз имплантат-ассоциированной инфекции, вызванной *Klebsiella spp.*

О.С. Туфанова¹, А.Р. Касимова^{1,2}, Д.И. Астахов¹, А.Н. Рукина¹, С.А. Божкова¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Введение. Исход комплексного лечения имплантат-ассоциированной инфекции (ИАИ) зависит от различных факторов, однако одним из важнейших является этиология воспалительного процесса. Лечение ортопедической инфекции, вызванной грамотрицательными микроорганизмами вообще и представителями семейства энтеробактерий в частности, вызывает множество сложностей, одной из которых является стремительный рост антибиотикорезистентности.


Цель исследования — оценить факторы, влияющие на течение и прогноз имплантат-ассоциированной инфекции, вызванной *Klebsiella spp.*


Материал и методы. Выполнен ретроспективный анализ историй болезни 85 пациентов, находившихся на лечении с 1 января 2017 г. по 31 декабря 2021 г. по поводу лечения ИАИ, вызванной *Klebsiella spp.* По результатам телефонного анкетирования пациенты были поделены на две основные группы в зависимости от исхода двухлетнего периода наблюдения, определенного согласно критериям Делфи.

Результаты. Статистически значимо ухудшало прогноз исходов: число saniрующих хирургических вмешательств в анамнезе ($p = 0,022$), необходимость saniрующего вмешательства в раннем послеоперационном периоде ($p < 0,001$) и наличие роста *Klebsiella spp.* в послеоперационных посевах ($p = 0,002$), гипоальбуминемия на 7–14-е сут. после проведенной операции ($p = 0,008$). Назначение на амбулаторный период триметоприма-сульфаметоксазола статистически значимо улучшало исход ($p = 0,038$), что, вероятнее всего, связано с высокой долей полимикробных ассоциаций — 69,5%.

Заключение. Выявлена статистически значимая прямая связь между вероятностью неблагоприятного исхода лечения пациентов с ИАИ, вызванной *Klebsiella spp.*, и числом saniрующих хирургических вмешательств в анамнезе, низким уровнем сывороточного альбумина на 7–14-е сут. после проведенной операции, проведением ревизионного вмешательства в раннем послеоперационном периоде, положительном ростом *Klebsiella spp.* в послеоперационных посевах. Вероятность благоприятного исхода увеличивало назначение триметоприма-сульфаметоксазола для перорального приема на амбулаторном этапе.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, остеомиелит, энтеробактерии, *Klebsiella*, антибактериальная терапия, триметоприм-сульфаметоксазол.

 **Для цитирования:** Туфанова О.С., Касимова А.Р., Астахов Д.И., Рукина А.Н., Божкова С.А. Факторы, влияющие на течение и прогноз имплантат-ассоциированной инфекции, вызванной *Klebsiella spp.* *Травматология и ортопедия России.* 2024;30(2):40-53. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16719>.

 Туфанова Ольга Сергеевна; e-mail: katieva@mail.ru

Рукопись получена: 03.10.2023. Рукопись одобрена: 26.12.2023. Статья опубликована онлайн: 26.04.2024.

© Туфанова О.С., Касимова А.Р., Астахов Д.И., Рукина А.Н., Божкова С.А., 2024

BACKGROUND

Over the last 10 years, there has been a steady increase in the incidence of infections caused by *Enterobacteriaceae* producing extended-spectrum beta-lactamases, which raised by 53.3% between 2012 and 2017 [1]. Despite the high prevalence, the true incidence of osteomyelitis and implant-associated infection (IAI), including periprosthetic joint infection (PJI), caused by *Enterobacteriaceae* is not reliably known [2].

According to the data of the AMRmap online platform for antimicrobial resistance analysis in Russia, the share of *Enterobacteriaceae* in the spectrum of pathogens of bone and joint infections for the period 1997-2021 was 18.72%, with *Klebsiella pneumoniae* being the leading representative (44.2% of all *Enterobacteriaceae*). In dynamics there is an increase in the share of representatives of this group in the structure of orthopedic infection from 12.2% for the period 2000-2010 to 19.9% for the period 2011-2021 [3]. According to L. Drago et al., the share of Gram-negative microorganisms in the structure of orthopedic infection pathogens was 13.3%, 9.4% of which were representatives of the *Enterobacteriaceae* family [4]. Basing on the 6-year monitoring of the structure of pathogens of orthopedic infection, there is also a tendency towards an increase in the frequency of occurrence of the *Enterobacteriaceae* representatives from 6.6 to 8.7% for the period from 2012 to 2018 [5].

When infections caused by *Enterobacteriaceae* are associated with the orthopedic implants, the problem of providing efficient medical care is particularly urgent. Physicians need to remove the infected implant and prescribe long-term antibiotic therapy for a successful treatment outcome [6]. However, the problem of treating IAI caused by these pathogens is due to their ability to form multilevel microbial biofilms on the implant surface, which in combination with growing antibiotic resistance significantly complicates the choice of an adequate surgical strategy and the possibility of administering long-term etiotropic antibiotic therapy [7].

Studies on the influence of various factors on the course and outcomes of IAI caused by *Enterobacteriaceae* in general and *Klebsiella* spp. in particular are very few and represent mainly small series of clinical cases (3-10 patients)

or individual examples. The probability of a favorable outcome, even with optimal surgical tactics and etiotropic antibiotic therapy, is on average estimated as 50% [6, 8].

When carrying out studies, various factors influencing the prognosis are identified, related both to the patient himself and to the features of the IAI course, the nature of the surgical intervention performed and the peculiarities of antibiotic therapy. In most studies, a two-year follow-up period is used for assessment, which was determined by the participants of the international interdisciplinary consensus held in Delphi. According to its materials, a favorable outcome of PJI treatment is understood as the absence of clinical and laboratory signs of recurrence of the infectious process, debridement surgical interventions and fatal outcome within 2 years after the performed operation [9].

Aim of the study is to evaluate the factors influencing the course and prognosis of implant-associated infection caused by *Klebsiella* spp.

METHODS

Study design

Type of study — single-center retrospective study.

Treatment of patients with IAI in the clinical departments of the center from January 1, 2017 to December 31, 2021 was analyzed.

Inclusion criteria:

- musculoskeletal infection, IAI and/or diagnosed osteomyelitis and performed surgical intervention in the focus of infection (index surgery);

- growth of *Klebsiella* spp. (either as an isolated strain or as a part of a polymicrobial association) from one or more samples of pre- and/or intraoperative materials; the results of the examination of preoperative materials were taken into account: tissue biopsies from fistula, wound discharge, synovial fluid from previous interventions, tissue biopsies taken intraoperatively, removed hardware, synovial fluid.

Exclusion criteria:

- localization of the infectious process in the vertebrae or within the soft tissues;
- readmission with recurrence of infection after index surgery caused by *Klebsiella* spp.;
- no information on the outcome of the disease.

We performed a retrospective analysis of the results of microbiological studies of biomaterial from patients operated on in the hospital departments in 2017-2021 using the microbiological monitoring program "Microbe-2". According to the local microbiological monitoring data, the average share of *Klebsiella* spp. in the IAI spectrum for 2017-2021 was 4.6%.

A total of 135 cases of *Klebsiella* spp. growth from patients' biomaterials were analyzed. Following the inclusion/exclusion criteria, 92 patients were included in the study. All of them were surveyed by phone. Seven patients could not be contacted by phone and therefore were excluded from the study. Thus, the number of patients enrolled in the study was reduced to 85. Patients were asked standard questions aimed at determining their adherence to the recommendations received at discharge for outpatient treatment and disease outcome at 2 years after the treatment. According to the results of the survey, the patients were divided into two clinical groups: group 1 – patients with unfavorable treatment outcome, group 2 – patients with favorable outcome according to the Delphi criteria [9].

The following data on each patient were gathered: anthropometric data, anamnesis data (duration of infection, number of debridement operations in anamnesis), type of surgical intervention, surgery duration, intraoperative blood loss, laboratory tests data (WBC, ESR, CRP, total protein and albumin before surgical intervention and on the 7-14th days after the surgery (before discharge), results of microbiological examination of pre-, intra- and postoperative material, features of antibiotic therapy at the inpatient and outpatient stages and features of the course of the postoperative period (repeated surgical intervention at the same admission).

Methods of study

In the period of hospital stay, during pre-, intra- and postoperative microbiological examination of the material, the isolation of clinical isolates was performed by standard methods in accordance with international Standards for Microbiology Investigations (UK SMI). Species identification was performed on Microlatest panels (Erba Lachema) using iEMS Reader MF (Labsystems, Finland). Antibiotic sensitivity

of cultures was studied by diffusion methods (Oxoid disks and test strips, England) and by serial dilutions using an automated analyzer VITEK 2 compact (BioMerieux, France) according to EUCAST requirements (2016-2020, v.6-v.10). The ESBL production by Gram-negative strains was determined by the "double disc" method on Mueller-Hinton agar and on CHROMagar ESBL. The carbapenemase production was detected by molecular genetic methods. Bacterial DNA was isolated using DNA-Sorb-AM kit according to the manufacturer's instructions (FBIS Central Research Institute of Epidemiology, Russia). Genes of acquired carbapenemases KPC/OXA-48 and metallo-beta-lactamases of NDM group were detected by Real-time PCR using reagent kits with hybridization-fluorescence detection "AmpliSense MDR KPC/OXA-48-FL" and "AmpliSense MDR MBL-FL" (Interlabservice, Russia) on "Amplifier Real-time CFX96 Touch" device (BioRAD, USA).

All patients received starting antibacterial therapy with two drugs from the day of surgery. It was administered either empirically, according to the local protocol adopted in the center (vancomycin, cefoperazone + [sulbactam]), or taking into account the results of microbiological test performed before the surgical intervention. Antibacterial therapy consisted of the drugs of the following groups in various combinations: cephalosporins (including inhibitor-protected ones), inhibitor-protected aminopenicillins, carbapenems, monobactams, fluoroquinolones, aminoglycosides, as well as fosfomycin, polymyxin B, tigecycline, dioxidine, sulfamethoxazole-trimethoprim. After the results of intraoperative bacterial inoculation were obtained, therapy was either left unchanged until hospital discharge or adjusted. The average course of treatment with intravenous antibiotics was 10-14 days. After that, 6-8-week course of oral antibacterial therapy was administered to patients, considering the presence or absence of sensitivity of the isolated strain to antibacterial drugs of fluoroquinolones or sulfamethoxazole-trimethoprim.

Statistical analysis

Acquired data were registered in form of spreadsheets, visualization of data structure and

subsequent analysis were performed using MS Office Excel 2007 (Microsoft, USA) software, IBM SPSS STATISTICS v. 26 software. Quantitative data were evaluated for correspondence to normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test (if the number of subjects was more than 50). In the case of non-normal distribution, quantitative data were described using median, lower and upper quartiles: Me [Q1-Q3]. Categorical data were described with absolute values and percentages. Quantitative variables with a distribution different from normal were compared between the two groups using the Mann-Whitney U-test. The odds ratio (OR, 95% CI) was calculated to assess risk in the comparison groups. Comparison of percentages in the analysis of 2x2 contingency tables was performed using Pearson's chi-square test (χ^2) (for expected values of more than 10) or Fisher's exact test (for expected values of less than 10), and the association was assessed using Cramér's V. The level of correlation was evaluated using the Chaddock scale (ρ). Differences between groups were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS

A total of 85 patients were included in the study. Group 1 consisted of 41 (48.3%) patients with unfavorable outcome, of which 12 (29.3%) were fatal. Group 2 consisted of 44 patients (n = 51.8%). Among the patients of group 2, in 22 cases (50%) further orthopedic treatment was not performed due to the absence of indications or patients' unwillingness due to satisfaction with the quality of life. The rest 22 patients (50%) underwent another stage of surgical intervention, after which no evidence for recurrence of infection was found.

There were no statistically significant differences in gender, age, and anthropometric data between the comparison groups (Table 1).

In 11 (13%) patients included in the study, *Klebsiella* spp. with the sensitivity similar to that taken from the intraoperative material was isolated during urine microbiological examination due to the presence of leukocyturia. However, the isolation of *Klebsiella* spp. in urine did not statistically affect the outcome ($p = 0.752$).

There was a statistically significant difference between the groups in the number of debridement surgeries ($p = 0.022$). In the group with an unfavorable outcome, the median for the surgeries performed was 2 [1-3], while in the group with a favorable outcome 1 surgery was performed [0-2]. Moreover, the maximum amount of debridement in the medical history of patients in group 1 was 7, while in group 2 it was 5 (Fig. 1).

No statistically significant results were obtained when assessing the effect of duration of the infectious process on the outcome ($p = 0.302$). The median duration of the infectious process in group 1 was 455 [226-943] days and in group 2 was 488 [102.5-782.0] days.

The type of surgical intervention performed did not influence the outcome ($p = 0.234$). In more than half of the cases, patients underwent implantation of an antimicrobial spacer with gentamycin (with vancomycin, meropenem, or fosfomycin added according to the results of preoperative microbiological testing). The second and the third most frequent types of surgical intervention in both groups were debridement with prosthesis components retention and resection arthroplasty with vascularized muscle flap grafting (Table 2).

Table 1

Comparison of groups in terms of gender, age, anthropometric parameters

Parameter	Group 1 (n = 41)	Group 2 (n = 44)	p
Male, n (%)	24 (58.6)	25 (56.8)	0.873
Age, years old, Me (IQR)	59 (38-68)	61.5 (47.5-69.5)	0.526
Weight, kg, Me (IQR)	76 (67-92)	82 (71-89.5)	0.673
Height, cm, Me (IQR)	173 (162-178)	170 (164.5-176)	0.989

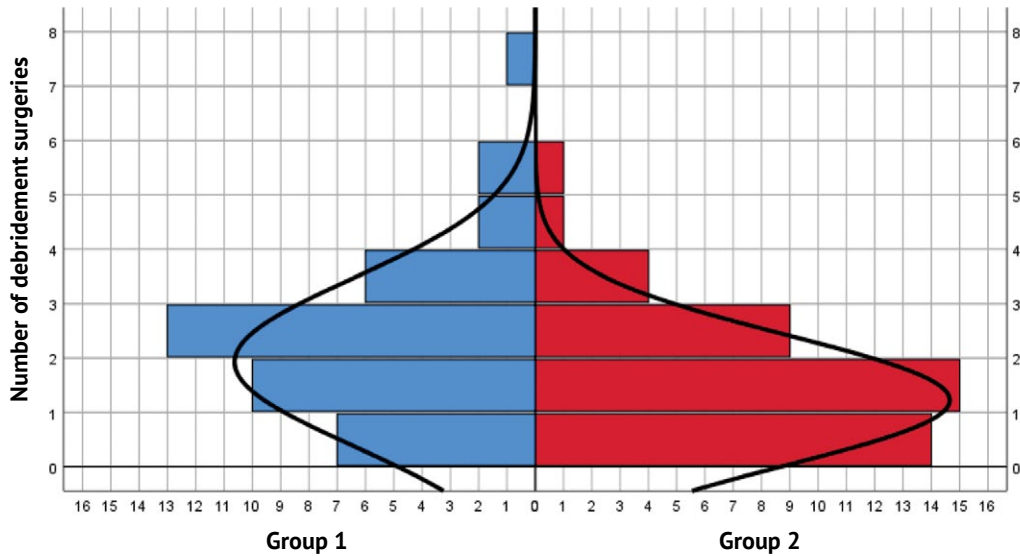


Fig. 1. Distribution of patients by the number of debridement surgeries in the medical history in the comparison groups

Table 2

Types of surgeries in the study groups, n (%)

Type of surgery	Group 1 (n = 41)	Group 2 (n = 44)	Total
Antibiotic spacer implantation	24 (58.5)	22 (50.0)	46
Hardware retaining debridement	3 (7.3)	5 (11.4)	8
Muscle grafting	3 (7.3)	4 (9.1)	7
Debridement with arthroplasty	4 (9.8)	2 (4.5)	6
Debridement without hardware removal and implantation	4 (9.8)	0 (0)	4
Debridement with hardware removal	1 (2.4)	3 (6.8)	4
Second stage of two-stage PJI treatment	0 (0)	3 (6.8)	3
Arthrodesis	1 (2.4)	2 (4.5)	3
Amputation	1 (2.4)	1 (2.3)	2
Hardware replacement	0 (0)	2 (4.5)	2

The studied groups were comparable in terms of the localization of the infectious process ($p = 0.241$), which in the vast majority of cases (96%) affected the lower extremity: hip joint – 54%, knee joint – 20%, long bones (femur, tibia and fibula) – 16.5% (Table 3).

Before the surgical intervention, no significant differences were found between the groups in laboratory parameters, which are markers of anemia, protein deficiency, and infectious inflammation (Table 4). The median level of CRP and ESR at the admission in both groups was

higher than normal, indicating the presence of inflammatory process. At the same time, in group 1 CRP, WBC and ESR were initially higher than in group 2.

Postoperatively, the levels of laboratory markers of inflammation in the groups were comparable, which probably reflects the laboratory pattern of the early postoperative period. However, albumin levels in group 1 were statistically significantly lower than in group 2 ($p = 0.008$), suggesting that a decrease in this marker is a possible predictor of an unfavorable outcome.

Table 3

Surgery localization in groups, n (%)

Localization	Group 1 (n = 41)	Group 2 (n = 44)	Total
Hip	20 (48.8)	26 (59.1)	46
Knee	6 (14.6)	11 (25)	17
Tibia and fibula	5 (12.2)	2 (4.5)	7
Femur	6 (14.6)	1 (2.3)	7
Ankle	2 (4.9)	1 (2.3)	3
Shoulder	1 (2.4)	1 (2.3)	2
Humerus	1 (2.4)	0 (0)	1
Elbow	0 (0)	1 (2.3)	1
Calcaneus	0 (0)	1 (2.3)	1

Table 4

Laboratory markers before and after the surgery

Laboratory marker	Group 1 (n = 41)		Group 2 (n = 44)		p
	Me	IQR	Me	IQR	
Before surgery					
WBC, 10 ⁹ /l	8.65	6.6-10.7	7.5	6.2-9.1	0.314
ESR, mm/h	52	30-62	40.5	22-63	0.268
Hb, g/l	111	95-126	117.5	100-131	0.371
CRP, mg/l	45.5	11-76	27	27-37.5	0.097
Total protein, g/l	74.5	63-79	74	68.5-81	0.275
Albumin, g/l	35	33-43	41	35-43	0.102
On the 7-14 th days after the surgery (before discharge)					
WBC, 10 ⁹ /l	7.0	5-8.5	6.5	5.5-8	0.566
ESR, mm/h	30	21-44	34.5	22.5-52.5	0.365
Hb, g/l	102.5	91-114	105	95-115.5	0.751
CRP, mg/l	20	9-39	20	8.5-41	0.846
Total protein, g/l	62	56-67	63	59-70	0.211
Albumin, g/l	32	30-35	34.5	32-42.5	0.008*

* – differences are statistically significant (p<0,05).

In 93% of patients (n = 79) the etiologic agent of IAI was *K. pneumoniae*, in 7% (n = 6) – *K. oxytoca*. The isolate belonging to a particular *Klebsiella* spp. had no statistically significant effect on the outcome (p = 0.445).

In the studied cohort of patients, *Klebsiella* spp. was isolated as a part of microbial associations in 69.5% of cases. Polybacterial infection with

Klebsiella spp. was 2.27 times more frequent than monobacterial one. In 16.5% of patients (n = 14) *Klebsiella* spp. was a part of microbial associations with other Gram-negative and Gram-positive microorganisms, in 18.9% (n = 16) – only with Gram-negative (most often *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*) and in 34.5% (n = 29) – only with Gram-positive (most often

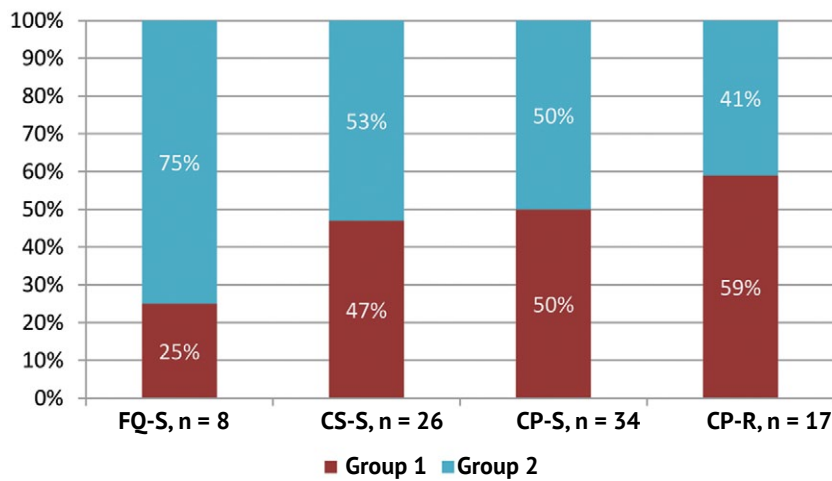
representatives of the genus *Staphylococcus* spp.). Intergroup analysis showed that monobacterial infection was more frequent in group 2, while polybacterial – in group 1.

The share of *Klebsiella* spp. strains resistant to fluoroquinolones was 90%, resistant to cephalosporins – 60%, resistant to carbapenems – 20%. Even though in the analyzed groups the shares of strains with sensitivity/resistance to certain groups of antibiotics were comparable ($p = 0.461$), a certain tendency towards worse outcomes with increasing resistance was established (Fig. 2).

Klebsiella spp. strains producing different carbapenemases (NDM, OXA-48, KPC) were isolated in 30% ($n = 26$) of patients. However,

carbapenemase production by the infectious agent had no statistically significant effect on the outcome ($p = 0.482$). At the same time, *Klebsiella* spp. isolates producing different carbapenemases were 7% more frequent among patients of group 1 than among patients of group 2.

The clinical outcome did not depend on the features of antibacterial therapy at the inpatient stage (Table 5). Antibacterial therapy was started prior to surgery in 15 (17.7%) patients in the entire cohort because of septic state or previous surgery. Among them, the share of patients with unfavorable outcome was 1.5 times higher than with a favorable one, but statistical significance was not noticed ($p = 0.315$).



FQ-S – fluoroquinolone-sensitive strains of *Klebsiella* spp.,
 CS-S – cephalosporin-sensitive strains of *Klebsiella* spp.,
 CP-S – carbapenem-sensitive strains of *Klebsiella* spp.,
 CP-R – carbapenem-resistant strains of *Klebsiella* spp.

Fig. 2. Share of strains of *Klebsiella* spp. with different sensitivity to antibacterial drugs isolated from patients of the comparison groups

Table 5

Impact of antibiotic therapy on treatment outcome at the outpatient stage, n (%)

Factor	Group 1 (n = 41)	Group 2 (n = 44)	Total, n	p	OR (95% CI)
Administration of fluoroquinolones at the outpatient stage	22 (45)	27 (55)	49	0.473	0.729 (0.308-1.728)
Administration of trimethoprim-sulfamethoxazole at the outpatient stage	5 (26)	14 (74)	19	0.038*	0.298 (0.096-0.922)
Simultaneous administration of trimethoprim-sulfamethoxazole and fluoroquinolones	2 (25)	6 (75)	8	0.268	0.325 (0.062-1.711)
Administration of other antibiotic drugs	4 (57)	3 (43)	7	0.707	1.477 (0.310-7.042)
No administration of antibiotics	12 (66)	6 (33)	18	0.111	2.617 (0.897-7.812)

* – differences are statistically significant ($p < 0,05$).

The analysis of the influence of the necessity to correct antibacterial therapy in the postoperative period showed that delaying the prescription of etiotropic therapy against *Klebsiella* spp. until the results of microbiological examination (on the 5-9th days after surgery) increased the chances of unfavorable outcome 2.2 times as compared to administration of etiotropic antibacterial therapy from the day of surgical intervention (p = 0.193; OR = 2.187; 95% CI: 0.764-6.258).

Patients with favorable outcome who took fluoroquinolones were 1.2 times more than those who did not, but their administration at the outpatient stage had no statistically significant effect on outcome (p = 0.473). However, administration of trimethoprim-sulfamethoxazole at the outpatient stage statistically significantly reduced the risk of unfavorable outcome (p = 0.038; V = 0.235).

Also noteworthy was the correlation between trimethoprim-sulfamethoxazole prescription at the outpatient stage and the presence of polymicrobial association (p = 0.006; ρ = 0.295). The absence of antibiotic administration at the outpatient stage increased the odds of unfavorable outcome by 2.6 times (p = 0.111).

It was found that the need for revision surgery in the early postoperative period (p<0.001; OR = 15.86; 95% CI: 3.5-77.2), as well as repeated isolation of *Klebsiella* spp. strains in the postoperative period (p = 0.002; OR = 4.96; 95% CI: 1.72-14.29) significantly worsened the long-term treatment results (Table 6). There was a positive correlation of medium strength between the above-mentioned factors (p<0.001, ρ = 0.515). The presence or absence of hardware at the time of patient's discharge had no significant effect on the prognosis of the course of IAI (p = 0.307).

Table 6

Features of the postoperative period in the comparison groups, n (%)

Factor	Group 1 (n = 41)	Group 2 (n = 44)	Total, n	p	OR (95% CI)
Surgical intervention in the early postoperative period	18 (90%)	2 (10%)	20	<0.001*	15.8 (3.5-77.2)
<i>Klebsiella</i> spp. growth in the postoperative cultures	18 (75%)	6 (25%)	24	0.002*	4.96 (1.72-14.29)

* – differences are statistically significant (p<0,05).

DISCUSSION

Various factors influence the outcome of complex treatment of IAI, and one of the leading roles belongs to the etiology of the infectious process. According to M. Beck et al., the risk of recurrence after debridement surgery on the knee or hip joint is 25-67%, but the probability of an unfavorable prognosis depends on the etiologic agent [10]. In our study, we evaluated the outcome in patients with IAI caused by *Klebsiella* spp., and the probability of unfavorable outcome at two-year follow-up was 48%. This figure is consistent with the results of individual observations describing unfavorable outcomes of IAI caused by Gram-negative pathogens in an average of 50% of cases [6].

For many years, Gram-positive microorganisms (*S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. faecalis*,

E. faecium) have remained the leading causative agents of IAI [11, 12, 13]. Gram-negative microorganisms (representatives of *Enterobacteriaceae*, *Acinetobacter* spp., *P. aeruginosa*) total 17.5-18.6% of the spectrum of PJI pathogens [5]. The share of representatives of *Enterobacteriaceae* in the structure of the spectrum of orthopedic infection, according to the 6-year monitoring conducted by S.A. Bozhkova et al. in 2012-2020, increased from 6.6 to 8.7%, which is an extremely unfavorable trend [5]. According to A.V. Tsiskarashvili et al., it amounted to 8.2% for the period from 2015 to 2022 [14]. At the same time, the spectrum of pathogens depends on the continent: according to S. Sebastian et al. (India), the share of Gram-negative microorganisms in the spectrum of IAI pathogens reached 61% [15], which significantly

differs from the data of European registers [18].

While the share of these microorganisms in the spectrum of IAI is relatively small, there are great difficulties associated with their eradication, as a result of which the infection itself often acquires a recurrent course [16]. The main reason is the development of various mechanisms of resistance to beta-lactam antibiotics and fluoroquinolones, for which reason the spectrum of antibacterial agents for their eradication is extremely narrow. In early 2017, carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae* were included by the World Health Organization in the group of pathogens of critical priority, posing a serious threat to health and dictating the need for priority development of new drugs [17].

In the etiology of PJI, *K. pneumoniae* occupies one of the leading positions among Gram-negative microorganisms. According to a major study conducted by A. Papadopoulos et al. in 18 centers, dedicated to the evaluation of the treatment outcomes of patients with orthopedic infection caused by Gram-negative microorganisms with broad and multidrug resistance, *K. pneumoniae* was the etiologic agent in only 21.4% of cases, after *E. coli* and *P. aeruginosa* [16]. Russian researchers publish data indicating that this microorganism is predominant among *Enterobacteriaceae*: its share in the total spectrum of PJI pathogens for 2017 amounted to 5.5% [5]. The same authors draw attention to the fact that 6.8% of *K. pneumoniae* isolates identified in orthopedic patients in 2017-2019 produce various carbapenemases [19]. This group of patients represents a special problem, since, according to M.J. Schwaber et al., the infections caused by Gram-negative carbapenemase producers, especially representatives of *Enterobacteriaceae*, are associated with 50-90% lethality and cause one of the most serious problems for public health [20].

Analysis of the literature indicates that the risk factors for recurrent IAI are insufficiently studied [21]. Assessment of the outcomes of IAI caused by representatives of *Enterobacteriaceae* in general and *Klebsiella* spp. in particular is currently especially challenging. The majority of both Russian and foreign publications contain either individual clinical cases or descriptions of treatment of small samples of patients with this pathology. In our study, we evaluated the

outcomes of treatment of IAI with bone and joint lesions of the lower and upper extremities caused by *Klebsiella* spp. in 85 patients who underwent various types of surgical interventions. This small number of patients refers to the limitations of the study; however, compared to similar studies, it represents a sufficiently large sample [18, 22].

Patients were allocated into two groups based on their outcome during a two-year follow-up period according to the Delphi criteria. A similar follow-up period was chosen by the research group led by E. Giannitsioti, who evaluated the influence of various parameters on the outcome of treatment of 57 patients with PJI caused by Gram-negative microorganisms (12% – *Klebsiella* spp.) [22].

The question of interpretation of the growth of microorganisms in postoperative cultures and the appearance of inflammation signs in laboratory tests in the early postoperative period has not been resolved to date. A number of authors stick to the opinion that this is a recurrence of IAI. However, by nature it is an exacerbation of infection, which is due to the presence of remaining pathogens and fragments of their biofilms in the area of surgical intervention and the bloodstream. It is caused by irrational or insufficient debridement, inadequate or insufficiently prolonged antibiotic therapy [21]. For this reason, we did not include those patients with *Klebsiella* spp. growth in the early postoperative period in the microbiological examination. At the same times, our study confirmed that this fact worsens the delayed treatment results ($p = 0.002$).

The duration of the infectious process in about half of the patients from both groups of our study was more than a year, with no statistically significant differences in this parameter ($p = 0.302$).

During the study, growth of *Klebsiella* spp. isolates with identical sensitivity from the wound area and from urine was detected in 13% of cases. This fact indirectly confirms the probability of hematogenous spread of urinary pathogens to prosthetic joints and the area of surgical intervention, as pointed out by other authors [23, 24].

The influence of the number of previous debridement surgeries on prognosis was shown both in our study ($p = 0.022$) and in studies by other authors, for example, E. Giannitsioti

et al. However, in the same study, no statistical effect of the type of surgical intervention on the outcome of PJI caused by Gram-negative pathogens was shown ($p = 0.292$; OR = 1.902; 95% CI: 0.663-5.457) [22]. We obtained similar results in our work: in both groups, more than half of the patients underwent antimicrobial spacer placement, with hardware retaining debridement and muscle grafting ranking second and third, respectively.

Many researchers emphasize the fact that the spectrum of IAI pathogens depends on the localization of the infectious process. In particular, Chinese researchers Y. Tsai et al. concluded from their observation that Gram-negative microorganisms (in particular, *Enterobacteriaceae*) are more often the etiologic agent of PJI of the hip than of the knee [25]. Similar results were obtained in our study: the share of patients with hip joint infection was higher in both groups (54%). The knee joint was in the second place with a large lag (21%), and other localizations totalled 25%. However, the localization of IAI did not statistically affect the outcome of the disease ($p = 0.241$).

Hypoalbuminemia as a risk factor for unfavorable outcome in the case of both primary arthroplasty and IAI treatment has been described in the publications of various researchers [26, 27, 28]. In our study, we have found a statistically significant ($p = 0.008$) influence on the probability of recurrence of the infectious process over a two-year follow-up period of low serum albumin level at the patient's discharge from the hospital (on the 7-14th days after the surgical intervention). In our opinion, low albumin may adversely affect the metabolism of drugs, particularly antibiotics, which may reduce their efficacy and the treatment efficiency in general.

According to multiple researchers, treatment outcomes for IAI caused by Gram-negative microorganisms are generally worse than those caused by Gram-positive microorganisms. However, the prognosis is influenced, first of all, by the nature of the infectious agent, the presence of microbial associations and its sensitivity to the tested antibiotics [29]. It is noteworthy that in our study the polybacterial infection with *Klebsiella* spp. is 2.27 times more frequent than the monobacterial one. This fact is confirmed by the results of other authors [22].

According to A. Papadopoulos et al., in case of orthopedic infection caused by bacteria with multiple and broad drug resistance to antibiotics, the probability of favorable treatment outcome was significantly lower ($p = 0.018$) [18]. In our study, there was no statistically significant effect of antibiotic sensitivity of *Klebsiella* spp. on the outcome. However, a trend towards worse prognosis depending on the degree of resistance of the microorganism to the tested antibiotics was observed. Among patients in whom IAI was caused by *Klebsiella* spp. resistant to carbapenems, a favorable outcome was observed in only 41%.

Antibiotic therapy of orthopedic infection caused by *Klebsiella* spp. is a difficult task. In our study, the choice of antimicrobial drugs prescribed from the day of surgery is based on anamnesis data, results of microbiologic examination of material taken from the fistula, wound surface, joint cavity, tissue biopsy specimens, or hardware from previous surgeries. The exceptions were the patients who were admitted in a septic state, and antibiotics before surgery were prescribed for vital indications, or antibiotic therapy was administered from the day of the previous surgical intervention (17%). Patients with an unfavorable outcome were 1.5 times more likely to receive antibiotic therapy before surgery, but there was no statistically significant effect on outcome ($p = 0.315$).

Starting antibiotic therapy in 66% of patients was carried out with drugs to which the isolate of *Klebsiella* spp. identified in the patient remained sensitive, i.e. it was etiotropic. Adequate starting antibiotic therapy had no statistically significant effect on the outcome ($p = 0.193$). The share of patients with unfavorable outcome, who received etiotropic antibiotic therapy only after the results of intraoperative cultures (on the 6-9th days), was 8% higher than of those with favorable outcome. This allows us to conclude that a delay in prescribing an adequate antibiotic may be an additional predictor of treatment failure of periprosthetic infection.

According to current recommendations, antibiotic therapy at the outpatient stage should last at least 6-8 weeks. [30]. However, the choice of a specific antibacterial medication is one of the most difficult issues in the treatment of IAI caused by *Klebsiella* spp. The 6-year monitoring of the structure and resistance of the leading pathogens of PJI conducted by S.A. Bozhkova

et al. showed that the resistance of *Klebsiella* spp. to ciprofloxacin was 84%, to moxifloxacin – 86%, and to trimethoprim-sulfamethoxazole – 76% [5]. In our study, only 8 patients (9.5%) had isolates sensitive to fluoroquinolones. The share of strains sensitive to trimethoprim-sulfamethoxazole is difficult to determine because sensitivity to this drug was not included in the standard panel and was determined only in the presence of resistance to two groups of antibacterial drugs (fluoroquinolones and cephalosporins) and, therefore, was not determined for all isolates.

Assessing the effect on outcomes of oral fluoroquinolones administered to patients at the outpatient stage, we did not reach the level of statistical significance ($p = 0.473$). A positive correlation between the probability of a favorable outcome and outpatient administration of trimethoprim-sulfamethoxazole was shown ($p = 0.038$). However, given the positive correlation between trimethoprim-sulfamethoxazole administration and the presence of a polymicrobial association in the patient, which included *Klebsiella* spp., it can be assumed that the favorable outcome was due to the antibacterial effect on other microorganisms in the association. According to some authors, this medication can be prescribed for oral administration at the outpatient stage as an alternative to fluoroquinolones (or along with them) in case of IAI caused by *Enterobacteriaceae* [6, 30]. We plan further studies of the effect of trimethoprim-sulfamethoxazole and fluoroquinolones on the outcome of complex treatment of IAI in a prospective study.

The most important statistically significant predictors of unfavorable outcome were revision surgery in the early postoperative period ($p < 0.001$) and *Klebsiella* spp. growth in the postoperative cultures ($p = 0.002$). The presence of a direct correlation between these factors ($p < 0.001$; $\rho = 0.515$) attracts attention, which allows us to conclude that insufficiently effective debridement of the focus of infection may lead to recurrence and another surgical intervention.

According to A. Papadopoulos et al., the presence of hardware is an independent risk factor for unfavorable outcome in the treatment of IAI caused by Gram-negative microorganisms (OR = 3.57; 95% CI: 1.68-7.58; $p < 0.001$) [18]. However, these observations were not confirmed in our study.

CONCLUSIONS

According to the results of the study, there is a statistically significant direct correlation between the probability of unfavorable treatment outcome in patients with IAI caused by *Klebsiella* spp. and the number of debridement surgeries in the history, low serum albumin (g/l) on the 7-14th days after the operation, revision intervention in the early postoperative period, *Klebsiella* spp. growth in the postoperative cultures. The probability of a favorable outcome is increased by oral administration of trimethoprim-sulfamethoxazole at the outpatient stage.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

REFERENCES

1. Jernigan J.A., Hatfield K.M., Wolford H., Nelson R.E., Olubajo B., Reddy S.C. et al. Multidrug-resistant bacterial infections in U.S. hospitalized patients, 2012-2017. *N Engl J Med.* 2020;382(14):1309-1319. doi: 10.1056/NEJMoa1914433.
2. Li Y., Zhang X., Ji B., Wulamu W., Yushan N., Guo X. et al. One-stage revision using intra-articular carbapenem infusion effectively treats chronic periprosthetic joint infection caused by Gram-negative organisms. *Bone Joint J.* 2023;105-B(3):284-293. doi: 10.1302/0301-620X.105B3.BJJ-2022-0926.R1.
3. Kuzmenkov A.Yu., Vinogradova A.G., Trushin I.V., Eidelstein M.V., Avramenko A.A., Dekhnich A.V. et al. AMRmap is an antibiotic resistance monitoring system in Russia. *Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy.* 2023;23(2):198-204. (In Russian). doi: 10.36488/cmac.2021.2.198-204.
4. Drago L., De Vecchi E., Bortolin M., Zagra L., Romanò C.L., Cappelletti L. Epidemiology and antibiotic resistance of late prosthetic knee and hip infections. *J Arthroplasty.* 2017;32(8):2496-2500. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.005.
5. Bozhkova S.A., Kasimova A.R., Tikhilov R.M., Polyakova E.M., Rukina A.N., Shabanova V.V. et al. Unfavorable trends in the etiology of orthopedic infection: results of 6-year monitoring of the structure and resistance of leading pathogens. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018;24(4):20-31. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31.

6. Pfang B.G., García-Cañete J., García-Lasheras J., Blanco A., Auñón Á., Parron-Camero R. et al. Orthopedic implant-associated infection by multidrug resistant enterobacteriaceae. *J Clin Med.* 2019;8(2):220. doi: 10.3390/jcm8020220.
7. Mur I., Jordán M., Rivera A., Pomar V., González J., Lopez-Contreras J. et al. Do prosthetic joint infections worsen the functional ambulatory outcome of patients with joint replacements? A retrospective matched cohort study. *Antibiotics.* 2021;9:872. doi: 10.3390/antibiotics9120872.
8. de Sanctis J., Teixeira L., van Duin D., Odio C., Hall G., Tomford J.W. et al. Complex prosthetic joint infections due to carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae*: a unique challenge in the era of untreatable infections. *Int J Infect Dis.* 2014;25:73-78. doi: 10.1016/j.ijid.2014.01.028.
9. Diaz-Ledezma C., Higuera C.A., Parvizi J. Success after treatment of periprosthetic joint infection: a Delphi-based international multidisciplinary consensus. *Clin Orthop.* 2013;471(7):2374-2382. doi: 10.1007/s11999-013-2866-1.
10. Beck M., Christen B., Zdravkovic V., Brand C., Spoerri A. SIRIS Report 2019. Annual report of the swiss national joint registry, hip and knee, 2012–2018. 2019. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15632.56323>.
11. Akindolire J., Morcos M.W., Marsh J.D., Howard J.L., Lanting B.A., Vasarhelyi E.M. The economic impact of periprosthetic infection in total hip arthroplasty. *Can J Surg J Can Chir.* 2020;63(1):E52-56. doi: 10.1503/cjs.004219.
12. Li H., Fu J., Niu E., Chai W., Xu C., Hao L.B. et al. The risk factors of polymicrobial periprosthetic joint infection: a single-center retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):780. doi: 10.1186/s12891-021-04664-0.
13. Valenzuela M.M., Averkamp B.J., Odum S.M., Rowe T.M., Fehring T.K. Polymicrobial colonization of prosthetic joint infections treated with open wound management. *J Arthroplasty.* 2022;37(7S):S653-656. doi: 10.1016/j.arth.2022.03.016.
14. Tsiskarashvili A.V., Melikova R.E., Novozhilova E.A. Analysis of six-year monitoring of the main pathogens of periprosthetic infection of large joints and their tendency to resistance. *Genij Ortopedii.* 2022;28(2):179-188. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188.
15. Sebastian S., Malhotra R., Sreenivas V., Kapil A., Chaudhry R., Dhawan B. A clinico-microbiological study of prosthetic joint infections in an Indian tertiary care hospital: role of universal 16S rRNA gene polymerase chain reaction and sequencing in diagnosis. *Indian J Orthop.* 2019;53(5):646-654. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_551_18.
16. Papadopoulos A., Ribera A., Mavrogenis A.F., Rodriguez-Pardo D., Bonnet E., Salles M.J. et al. Multidrug-resistant and extensively drug-resistant Gram-negative prosthetic joint infections: Role of surgery and impact of colistin administration. *Int J Antimicrob Agents.* 2019;53(3):294-301. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2018.10.018.
17. Liventsov V.N., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A. Outcomes of revision hip replacement after resection arthroplasty with non-free muscle flap transplantation in patients with intractable periprosthetic infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(3):5-15. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1808.
18. Vinogradova A.G., Kuzmenkov A.Yu. Practical application of AMRmap: elements of the «from general to particular» approach on the example of *Klebsiella pneumoniae*. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy.* 2019;21(2):181-186. (In Russian). doi: 10.36488/cmac.2019.2.181-186.
19. Bozhkova S.A., Gordina E.M., Schneider O.V., Rukina A.N., Shabanova V.V. Resistance of carbapenemase-producing strains of *Klebsiella pneumoniae* isolated from patients with orthopedic infection. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy.* 2020;22(1):47-52. (In Russian). doi: 10.36488/cmac.2020.1.47-52.
20. Schwaber M.J., Klarfeld-Lidji S., Navon-Venezia S., Schwartz D., Leavitt A., Carmeli Y. Predictors of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* acquisition among hospitalized adults and effect of acquisition on mortality. *Antimicrob Agents Chemother.* 2008;52(3):1028-1033. doi: 10.1128/AAC.01020-07.
21. Kochish A.A., Bozhkova S.A. The current state of the problem of treatment of patients with recurrent periprosthetic infection of the hip joint (literature review). *Department of Traumatology and Orthopedics.* 2020;41(3):11-22. (In Russian). doi: 10.17238/issn2226-2016.2020.3.11-22.
22. Giannitsioti E., Salles M.J., Mavrogenis A., Rodriguez-Pardo D., Los-Arcos I., Ribera A. et al. Osteosynthesis-associated infection of the lower limbs by multidrug-resistant and extensively drug-resistant Gram-negative bacteria: a multicentre cohort study. *J Bone Joint Infect.* 2022;7(6):279-288. doi: 10.5194/jbji-7-279-2022.
23. D'Ambrosia R.D., Shoji H., Heater R. Secondarily infected total joint replacements by hematogenous spread. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(4):450-453.
24. Gómez-Ochoa S.A., Espín-Chico B.B., García-Rueda N.A., Vega-Vera A., Osma-Rueda J.L. Risk of surgical site infection in patients with asymptomatic bacteriuria or abnormal urinalysis before joint arthroplasty: systematic review and meta-analysis. *Surg Infect.* 2019;20(3):159-166. doi: 10.1089/sur.2018.201.
25. Tsai Y., Chang C.H., Lin Y.C., Lee S.H., Hsieh P.H., Chang Y. Different microbiological profiles between hip and knee prosthetic joint infections. *J Orthop Surg Hong Kong.* 2019;27(2):2309499019847768. doi: 10.1177/2309499019847768.
26. Bozhkova S.A., Liventsov V.N., Tikhilov R.M., Romano C.L., Kochish A.Yu., Labutin D.V. et al. Protein-Energy Malnutrition as a Predictor of Early Recurrent Revisions After Debridement Surgery in Patients With Difficult-to-Treat Periprosthetic Infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2023;28(1):39-45. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1717.

27. Bohl D.D., Shen M.R., Kayupov E., Cvetanovich G.L., Della Valle C.J. Is hypoalbuminemia associated with septic failure and acute infection after revision total joint arthroplasty? A study of 4517 patients from the national surgical quality improvement program. *J Arthroplasty*. 2016;31(5):963-967. doi: 10.1016/j.arth.2015.11.025.
28. Bohl D.D., Shen M.R., Kayupov E., Della Valle C.J. Hypoalbuminemia independently predicts surgical site infection, pneumonia, length of stay, and readmission after total joint arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(1): 15-21. doi: 10.1016/j.arth.2015.08.028.
29. Cunningham D.J., Kavolus J.J., Bolognesi M.P., Wellman S.S., Seyler T.M. Specific infectious organisms associated with poor outcomes in treatment for hip periprosthetic infection. *J Arthroplasty*. 2017;32(6): 1984-1990.e5. doi: 10.1016/j.arth.2017.01.027.
30. Miller R., Higuera C.A., Wu J., Klika A., Babic M., Piuze N.S. Periprosthetic joint infection: a review of antibiotic treatment. *JBJS Rev*. 2020;8(7):e1900224. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00224.

Authors' information

✉ Olga S. Tufanova

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4891-4963>

e-mail: katieva@mail.ru

Alina R. Kasimova — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-6284-7133>

e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Denis I. Astahov

<https://orcid.org/0009-0007-7129-1553>

e-mail: denmail_69@mail.ru

Anna N. Rukina

<https://orcid.org/0000-0003-3307-4674>

e-mail: anrukina@win.rniito.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.), Professor

<http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru



Анализ причин выполнения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у детей: часть 1

П.И. Бортулёв¹, С.В. Виссарионов^{1,2}, А.Г. Баиндурашвили¹, В.А. Неверов^{1,2},
В.Е. Басков¹, Д.Б. Барсуков¹, И.Ю. Поздникин¹, Т.В. Баскаева¹,
М.С. Познович¹, Д.В. Выриков¹, Т.С. Рыбинских¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава является одной из наиболее часто выполняемых и эффективных операций у пациентов с коксартрозом различного генеза. По данным различных крупных регистров артропластики, причиной развития раннего коксартроза терминальной стадии у лиц моложе 25 лет в 10–33% случаев являются такие ортопедические заболевания детского тазобедренного сустава, как дисплазия, юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости и болезнь Пертеса. Однако научные публикации, посвященные причинам развития терминальной стадии коксартроза у пациентов моложе 21 года, а также у детей, в зарубежной и отечественной литературе носят единичный характер.

Цель исследования — провести анализ причин развития терминальной стадии коксартроза, требующей выполнения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у детей, перенесших основные ортопедические заболевания сустава.

Материал и методы. Ретроспективное исследование основано на данных медицинской документации 500 пациентов (530 тазобедренных суставов) в возрасте от 10 до 18 ($15,1 \pm 1,5$) лет, которым в период с 2008 по 2023 г. была проведена операция тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Основным предметом изучения были данные анамнеза течения ортопедического заболевания и проводимого ранее лечения.

Результаты. В результате проведенного изучения данных медицинской документации и архивных рентгенограмм были выявлены основные диагностические и тактические ошибки в лечении пациентов с основными заболеваниями тазобедренного сустава, характерными для детского возраста. Кроме того, выделены наиболее эндемичные Федеральные округа и регионы Российской Федерации по данным нозологическим формам.

Заключение. Основными причинами развития терминальной стадии коксартроза, требующего выполнения тотальной артропластики у пациентов до 18 лет с основными ортопедическими заболеваниями детского тазобедренного сустава, являются дефекты в диагностике, методологическом выборе как консервативного, так и хирургического лечения, а также ятрогенное поражение компонентов сустава.

Ключевые слова: дети, дисплазия тазобедренного сустава, юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости, болезнь Пертеса, коксартроз, эндопротезирование.

Для цитирования: Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Неверов В.А., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Баскаева Т.В., Познович М.С., Выриков Д.В., Рыбинских Т.С. Анализ причин выполнения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у детей: часть 1. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):54-71. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17527>.

Бортулёв Павел Игоревич; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Рукопись получена: 10.04.2024. Рукопись одобрена: 04.06.2024. Статья опубликована: 20.06.2024.

© Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Неверов В.А., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Баскаева Т.В., Познович М.С., Выриков Д.В., Рыбинских Т.С., 2024



Causes of Total Hip Replacement in Children: Part 1

Pavel I. Bortulev¹, Sergei V. Vissarionov^{1,2}, Alexey G. Baindurashvili¹, Valentin A. Neverov^{1,2}, Vladimir E. Baskov¹, Dmitry B. Barsukov¹, Ivan Yu. Pozdnikin¹, Tamila V. Baskaeva¹, Makhmud S. Poznovich¹, Dmitry V. Vyrikov¹, Timofey S. Rybinskikh¹

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Total hip arthroplasty (THA) is one of the most frequently performed and effective surgical procedures in patients with hip osteoarthritis of various origin. According to a variety of large arthroplasty registries, in 10-33% of cases, the causes of end-stage hip osteoarthritis in people under the age of 25 are such orthopedic diseases of the hip as dysplasia, SCFE and Perthes disease. However, there are practically no scientific publications examining the causes of the development of end-stage hip osteoarthritis in patients under the age of 21, as well as in children, in the foreign literature and there are none at all in the domestic literature.

The aim of the study is to analyze the causes of the development of end-stage hip osteoarthritis requiring total hip arthroplasty in children who had suffered major orthopedic diseases of the hip.

Methods. The retrospective study is based on the medical records of 500 patients (530 hip joints) aged between 10 and 18 years (15.1±1.5) who had undergone total hip replacement at the Department of Hip Pathology of the G.I. Turner National Research Medical Center for Pediatric Traumatology and Orthopedics, in the period from 2008 to 2023. The main subject of the study was the anamnesis of the course of the orthopedic disease and previous treatment.

Results. After studying the medical records and archival X-rays, we have identified the main diagnostic and tactical errors in the treatment of patients with major diseases of the hip, which are specific to childhood. Additionally, according to these nosological entities we have identified the most "endemic" federal regions and subjects of the Russian Federation.

Conclusions. The main causes of the development of end-stage hip osteoarthritis requiring total hip arthroplasty in patients under the age of 18 with major orthopedic diseases of the hip are: diagnostic defects, methodological choice of both conservative and surgical treatment, and iatrogenic damage to the joint components.

Keywords: children, hip dysplasia, SCFE, Perthes disease, dysplastic hip osteoarthritis, total hip arthroplasty.

Cite as: Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baindurashvili A.G., Neverov V.A., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Baskaeva T.V., Poznovich M.S., Vyrikov D.V., Rybinskikh T.S. Causes of Total Hip Replacement in Children: Part 1. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):54-71. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17527>.

✉ Pavel I. Bortulev; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Submitted: 10.04.2024. Accepted: 04.06.2024. Published: 20.06.2024.

© Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baindurashvili A.G., Neverov V.A., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Baskaeva T.V., Poznovich M.S., Vyrikov D.V., Rybinskikh T.S., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава (ТЭТС) на сегодняшний день является наиболее часто выполняемой и эффективной операцией у пациентов с коксартрозом различного генеза. Операция XX века — такое высокое название получила данная технология хирургического лечения в 2007 г. [1] Вместе с тем на сегодняшний день в мировом ортопедическом сообществе отсутствует единый взгляд на проблему выполнения ТЭТС у молодых взрослых и тем более детей. Этот факт объясняется наличием ряда уникальных анатомических особенностей и проблем применения данного вида органозамещающей операции, таких как малые размеры вертлужной впадины и бедренной кости, функционирующий Y-образный хрящ, оптимальный выбор дизайна имплантатов и пары трения. Это обусловлено необходимостью долговременного функционирования эндопротеза, высоким риском ревизионных вмешательств и другими факторами. Однако, по данным ряда авторов, частота ТЭТС у пациентов младше 21 года с каждым десятилетием неуклонно растет [2, 3, 4].

По данным крупных национальных регистров артропластики, причиной развития раннего коксартроза терминальной стадии у лиц моложе 25 лет в 10–33% случаев являются основные ортопедические заболевания детского тазобедренного сустава, такие как дисплазия, юношеский эпифизеолиз, болезнь Легга–Кальве–Пертеса, а средний возраст пациентов на момент операции колеблется от 18 до 55 лет в зависимости от нозологической формы [5, 6, 7, 8]. Однако научных публикаций о причинах развития терминальной стадии коксартроза у пациентов моложе 21 года в зарубежной литературе практически нет [9]. В отечественной литературе присутствуют единичные работы, которые отражают особенности тактики лечения и выполнения операции [10, 11].

Цель исследования — провести анализ причин развития терминальной стадии коксартроза, требующей выполнения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у детей, перенесших основные ортопедические заболевания сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование основано на результатах анализа данных медицинской документации (амбулаторные карты и истории болезни) 500 пациентов (530 тазобедренных суставов) в возрасте 10 до 18 ($15,1 \pm 1,5$) лет, которым в период с 2008 по 2023 г. в отделении патологии тазобедренного сустава НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера была проведена операция ТЭТС. Все операции были выполнены из хи-

рургического доступа по Gibson–Moore. В 99,8% случаев применялась технология press-fit фиксации компонентов эндопротеза, в 0,2% случаев — антигибридная.

Так как основным предметом изучения были данные анамнеза течения ортопедического заболевания и проводимого ранее лечения, а также их клиническая интерпретация, в исследовании рассчитывались описательные статистические показатели — средняя величина (M) и стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение анамнестических данных позволило определить этиологию терминальной стадии артроза тазобедренного сустава (табл. 1).

Таблица 1

Распределение пациентов по нозологическим формам заболевания

Нозологическая форма	Кол-во пациентов
Дисплазия	132 (24,7%)
Последствия ОГО	79 (14,8%)
ЮЭГБК	72 (13,6%)
Последствия травмы	57 (10,7%)
Аваскулярный некроз	54 (10,2%)
СДС	53 (10%)
БЛКП	34 (6,4%)
Прочие	50 (9,6%)

ОГО — острый гематогенный остеомиелит; ЮЭГБК — юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости; СДС — системные дисплазии скелета; БЛКП — болезнь Легга–Кальве–Пертеса.

Исходя из данных, представленных в таблице 1, видно, что наиболее частыми причинами развития коксартроза были такие ортопедические заболевания тазобедренного сустава у детей, как дисплазия, последствия остеомиелита и ЮЭГБК, что в целом соответствует данным мировой литературы [5, 6, 7]. Группу «Прочие» составили единичные пациенты с коксартрозом, развившимся в результате неврологической и генетической нестабильности тазобедренного сустава (детский церебральный паралич, артрогрипоз), болезни Бехтерева, аневризальной костной кисты подвздошной кости, применения пульс-терапии глюкокортикоидными гормонами, массивной гетеротопической оссификацией мышц области тазобедренного сустава.

Пациенты госпитализировались в клинику Центра для проведения хирургического лечения из всех восьми федеральных округов Российской Федерации (рис. 1).

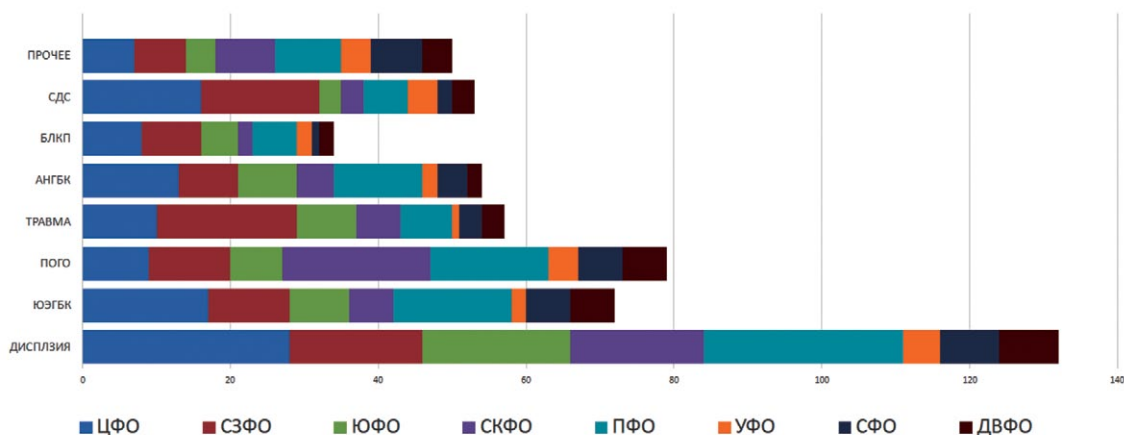


Рис. 1. Распределение пациентов по заболеваниям тазобедренного сустава, явившихся причиной развития терминальной стадии коксартроза по федеральным округам РФ: ЦФО — Центральный ФО; ПФО — Приволжский ФО; СЗФО — Северо-Западный ФО; СКФО — Северо-Кавказский ФО; УФО — Уральский ФО; СФО — Сибирский ФО; ЮФО — Южный ФО; ДВФО — Дальневосточный ФО

Fig. 1. Distribution of patients with a particular hip joint disease that caused the development of end-stage hip osteoarthritis by the federal districts of the Russian Federation

Наиболее эндемичными по коксартрозу, причиной которого стали такие ортопедические заболевания детского тазобедренного сустава, как дисплазия, ЮЭГБК, последствия ОГО и аваскулярный некроз головки бедренной кости (включая пациентов с болезнью Легга–Кальве–Пертеса), являются ПФО и ЦФО. Наибольшее количество пациентов с последствиями травм области тазобедренного сустава, среди которых на долю перелома шейки бедренной кости приходилось 97%, были госпитализированы из СЗФО. Отдельного внимания заслуживает количество детей с диспластическим коксартрозом из СКФО: их было

значительно меньше, чем в ЦФО, СЗФО, УФО и ЮФО. В разрезе общей статистики по дисплазии тазобедренных суставов — это самый неблагоприятный округ, в котором поздно диагностируется диспластическая патология различной степени тяжести у пациентов детского возраста, нуждающихся в хирургическом лечении [12]. Дальнейшее изучение эпидемиологии коксартроза у детей позволило выявить наиболее эндемичные регионы Российской Федерации (рис. 2).

Лидирующими регионами по направлению в клинику Центра пациентов с терминальной стадией диспластического коксартроза были

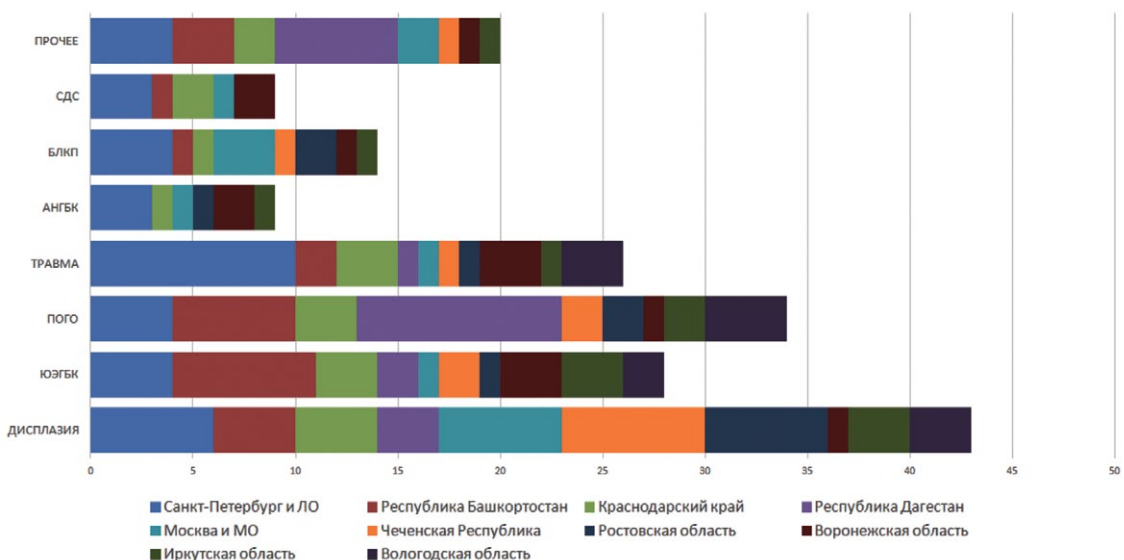


Рис. 2. Распределение пациентов с заболеванием тазобедренного сустава, явившегося причиной развития терминальной стадии коксартроза, по регионам Российской Федерации

Fig. 2. Distribution of patients with a particular hip joint disease that caused the development of end-stage hip osteoarthritis by the subjects of the Russian Federation

Санкт-Петербург и Ленинградская область, Ростовская область, Краснодарский край и республика Башкортостан. Пациенты, нуждающиеся в проведении ТЭТС в результате перенесенного ЮЭГБК, в подавляющем большинстве поступали из республики Башкортостан, а с последствиями ОГО — из республики Дагестан. Большинство детей с последствиями травматических повреждений области тазобедренного сустава в виде грубой деформации тазового и бедренного компонентов и клинико-рентгенологическим признаками коксароза 3-й стадии, к сожалению, являлись жителями Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что может косвенно свидетельствовать о недостаточном уровне подготовленности специалистов к оказанию адекватной помощи детям с травмами области тазобедренного сустава.

Также, по данным литературы, органозамещающие операции у пациентов с основными ортопедическими заболеваниями детского тазобедренного сустава выполняются в более старшем возрасте. Например, средний возраст пациентов с диспластическим коксартрозом на момент операции составляет от 34 до 57 лет, а с артрозом в результате перенесенного ЮЭГБК или БЛКП — от 28 до 53 лет [13, 14].

Учитывая тот факт, что средний возраст пациентов на момент выполнения ТЭТС составил 15 лет, нами был проведен анализ причин столь раннего развития терминальной стадии коксартроза.

Дисплазия тазобедренных суставов

Общеизвестно, что дисплазия тазобедренных суставов различной степени тяжести является причиной каждого третьего случая коксартроза у пациентов взрослого возраста [15]. Из всех пациентов, включенных в настоящее исследование, это была самая многочисленная группа — 132 (24,7%) ребенка. По данным регистра эндопротезирования НИИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, средний возраст пациентов, поступавших для замены тазобедренного сустава, составил 55,0 лет у женщин и 53,2 года — у мужчин [8]. Согласно полученным нами данным, средний возраст пациентов составил $14,3 \pm 1,7$ лет. Изучение данных анамнеза позволило выявить причину столь раннего развития коксартроза терминальной стадии. Из 132 пациентов первичное эндопротезирование в привычном для ортопедического сообщества смысле было выполнено лишь у 21 пациента (25 тазобедренных суставов), что составило 16% из общей когорты. Согласно классификации диспластического коксартроза J.F. Crowe пациенты распределились следующим образом: 2 степень — 9; 3 степень — 8; 4 степень — 4. Двустороннее поражение было у 4 пациентов; 111 пациентам (117 тазобедрен-

ных суставов) до момента поступления в клинику Центра проводились различные многократные реконструктивные вмешательства (рис. 3.) Более чем 50% пациентов перенесли 2–3 операции на тазобедренном суставе. Отдельного внимания заслуживает группа пациентов, которым было проведено более 5 (10%) реконструктивных вмешательств, из них 2 пациентам — 12 и 15 операций соответственно.

В результате этих вмешательств в подавляющем большинстве случаев развивались грубые деформации как со стороны проксимального отдела бедренной кости, вплоть до его тотального лизиса, так и со стороны вертлужной впадины. На наш взгляд, для описания подобного рентгеноанатомического строения тазобедренного сустава более уместным термином являлся бы диартроз или сочленение. Кроме того, в результате проведения многократных хирургических операций у всех пациентов отмечалось массивное рубцовое перерождение мышц области тазобедренного сустава и выраженное укорочение нижней конечности за счет бедренной кости (рис. 4).

Однако необходимо отметить, что тяжесть деструктивных изменений не всегда имела прямую зависимость от количества операций. У ряда пациентов трансформация компонентов сустава в некое сочленение произошла после проведения единственного органосохраняющего хирургического вмешательства (рис. 5).

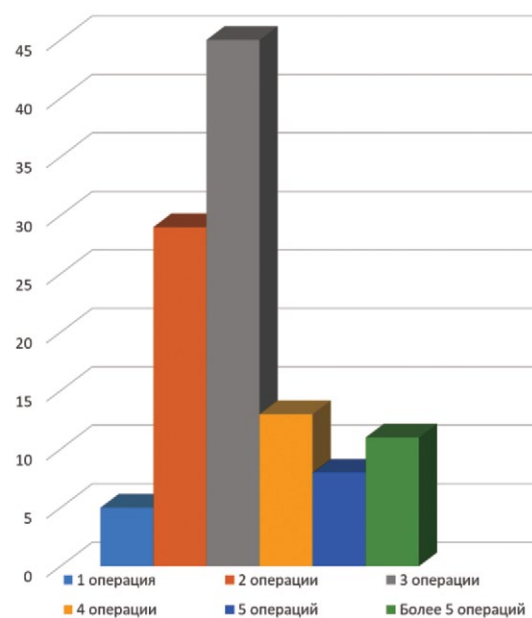


Рис. 3. Распределение пациентов с дисплазией тазобедренных суставов по количеству выполненных операций

Fig. 3. Distribution of patients with hip dysplasia of various severity by the number of operations performed



Рис. 4. История хирургических вмешательств у пациентки 14 лет: а — рентгенограмма тазобедренных суставов на момент первичного обращения к специалисту в возрасте 1 г. 7 мес. (дисплазия левого тазобедренного сустава IV–1 степени по дополненной классификации D. Tönnis [16]); б — ближайший результат хирургической реконструкции левого тазобедренного сустава (релюксация с выраженными дистрофическими явлениями в проксимальном отделе бедренной кости); в — повторная попытка стабилизации левого тазобедренного сустава (отсутствие концентрического вправления головки бедренной кости в вертлужную впадину, высокое положение большого вертела, мальпозиция металлоконструкций в виде их пенетрации в полость сустава); д, е — отдаленный результат хирургического лечения (тотальный лизис проксимального отдела бедренной кости, вертлужная впадина

как анатомическая структура отсутствует, укорочение бедренной кости более 8 см, экстремально малые размеры канала бедренной кости и локация для имплантации чашки эндопротеза в анатомическую позицию); ф — среднесрочный результат выполнения тотального бесцементного эндопротезирования системой Zimmer Biomet (чашка TMT® 38 мм; ножка Wagner cone® 13, пара трения: металл — поперечносвязанный полиэтилен) с применением техник остеотомии большого вертела по Т. Раавилайнен и дилатационной остеотомии бедренной кости

Fig. 4. Surgical interventions sequence of a 14-year-old patient:

- a — X-ray of the hip joints at the initial specialist visit at the age of 1 year and 7 months (grade IV-1 left-sided hip dysplasia according to the supplemented D. Tönnis classification [16]);
- b — short-term result of the left hip joint surgical reconstruction (reluxation with pronounced dystrophic changes in the proximal femur);
- c — a repeated attempt to stabilize the left hip joint (absence of concentric reduction of the femoral head into the acetabulum, a high position of the large trochanter, malposition of metal structures in the form of their penetration into the joint cavity);
- d, e — long-term result of the surgical treatment (total lysis of the proximal femur, acetabulum as an anatomical structure is absent, shortening of the femur bone over 8 cm, extremely small sizes of the femoral canal and the location for endoprosthesis cup implantation in the anatomical position);
- f — mid-term result of cementless THA performed with the Zimmer Biomet system (TMT® 38 mm cup; Wagner cone® 13, metal-crosslinked polyethylene), the T. Paavilainen techniques of greater trochanter osteotomy and dilated osteotomy of the femur

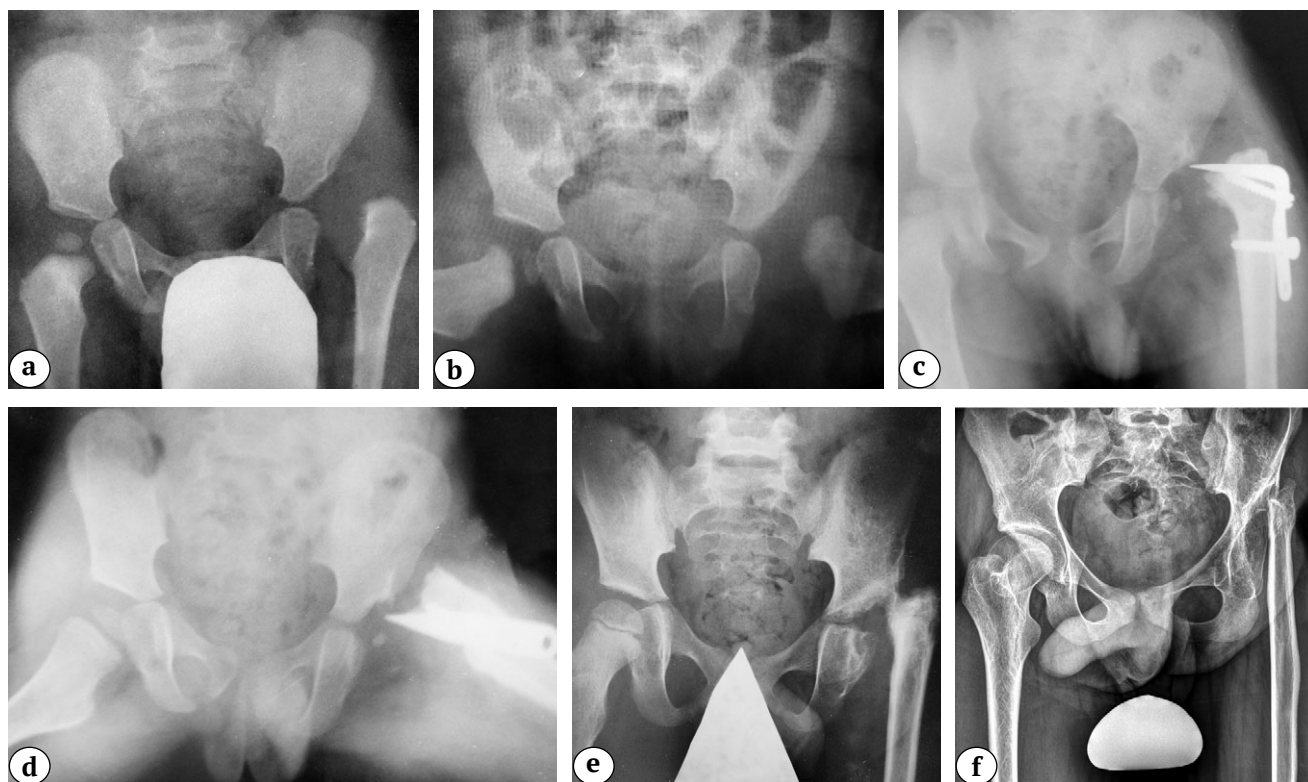


Рис. 5 (a, b, c, d, e, f). История хирургических вмешательств у пациента 16 лет:
 а — рентгенограмма тазобедренных суставов на момент первичного обращения к специалисту в возрасте 11 мес. (дисплазия левого тазобедренного сустава III–1 степени по дополненной классификации D. Tönnis);
 б — попытка консервативного лечения (закрытое вправление бедра под наркозом с наложением гипсовой повязки в положении Lorenz 1), вправление не достигнуто;
 с, d — ближайший результат хирургической реконструкции левого тазобедренного сустава (релюксация с лизисом проксимального отдела бедренной кости в связи с перфорацией задней поверхности шейки бедренной кости клинком пластины с повреждением *a. circumflexa medialis*);
 е — среднесрочный результат хирургического лечения (патологический вывих с отсутствием проксимального эпифиза и шейки бедренной кости, формирующейся вторичной деформацией свода вертлужной впадины);
 f — рентгенограмма непосредственно перед проведением тотального эндопротезирования (грубая деформация вертлужной впадины, экстремально малый размер канала бедренной кости)

Fig. 5 (a, b, c, d, e, f). Surgical interventions sequence of a 16-year-old patient:
 a — X-ray of the hip joints at the initial specialist visit at the age of 11 months (grade III-1 left-sided hip dysplasia according to the supplemented D. Tönnis classification);
 b — an attempt at conservative treatment (closed hip reduction under anesthesia with a plaster cast put in the Lorenz position 1) — reduction has not been achieved;
 c, d — short-term result of the left hip joint surgical reconstruction (reluxation with lysis of the proximal femur due to damage of medial circumflex femoral artery caused by perforation of the posterior surface of the femoral neck with a blade plate);
 e — mid-term result of the surgical treatment (pathological dislocation with absent proximal epiphysis, femoral neck and forming secondary deformation of the acetabular arch);
 f — X-ray of the hip joints just before total arthroplasty (gross deformation of the acetabulum, extremely small femoral canal sizes)



Рис. 5 (g). История хирургических вмешательств у пациента 16 лет: g — среднесрочный результат тотального бесцементного эндопротезирования системой Zimmer Biomet (чашка Continuum® 44 мм, опорный аугмент Trabecular metal 50–30 мм, ножка Wagner cone® 13, пара трения: керамика — поперечносвязанный полиэтилен) с выполнением остеотомии большого вертела по Т. Paavilainen и дилатационной остеотомии бедренной кости

Fig. 5 (g). Surgical interventions sequence of a 16-year-old patient: g — mid-term result of cementless THA performed with the Zimmer Biomet system (Continuum® cup 44 mm; Trabecular metal support augment 50–30 mm, Wagner cone® 13, ceramic-crosslinked polyethylene), the T. Paavilainen techniques of greater trochanter osteotomy and dilated osteotomy of the femur

Кроме того, у 76 пациентов вне зависимости от степени тяжести дисплазии на первом году жизни применялась методика консервативного лечения по A. Lorenz. У всех этих пациентов в дальнейшем была диагностирована нестабильность тазобедренного сустава с признаками остаточной ацетабулярной дисплазии и постпозиционного некроза головки бедренной кости в виде деформации проксимального отдела бедренной кости I–IV степеней по классификации Kalamchi–

MacEwen [17], по поводу которой и были проведены хирургические вмешательства. Наиболее часто у данной категории пациентов причиной артроза являлись rincer-тип феморо-ацетабулярного импинджмента вследствие интраоперационно достигнутой гиперкоррекции вертлужной впадины во фронтальной и/или горизонтальной плоскости и значительное уменьшение угла антеверсии проксимального отдела бедренной кости при выполнении корригирующей остеотомии (рис. 6).



Рис. 6 (a, b). Рентгенограммы тазобедренных суставов пациента 16 лет: а — перед проведением реконструктивного вмешательства (двусторонний диспластический подвывих бедра I степени по Crowe);

б — после поэтапного выполнения корригирующей (деторсионно-варизирующей) остеотомии бедра и тройной остеотомии таза (гиперкоррекция положения вертлужной впадины, наружно-ротационное положение нижних конечностей, что может свидетельствовать о малых значениях антеверсии проксимального отдела бедренной кости)

Fig. 6 (a, b). X-ray series of the hip joints of a 16-years-old patient:

а — before reconstructive intervention (Crowe I grade bilateral dysplastic hip subluxation);

б — after correcting osteotomy of the femur (detorsion-varus), triple pelvic osteotomy on both sides (accompanied by hypercorrection of acetabulum positioning, external rotational position of the lower extremities, which may indicate small values of the proximal femur anteversion)



Рис. 6 (c, d). Рентгенограммы тазобедренных суставов пациента 16 лет:
 c — непосредственно перед выполнением эндопротезирования (тотальное сужение суставной щели с тотальной ретроверсией вертлужной впадины);
 d — среднесрочный результат тотального бесцементного эндопротезирования системой Zimmer Biomet (чашка Continuum® 50 мм; ножка Wagner cone® 15, пара трения: керамика — поперечносвязанный полиэтилен)

Fig. 6 (c, d). X-ray series of the hip joints of a 16-years-old patient:
 c — X-ray just before THA (total joint space narrowing with total retroversion of the acetabulum);
 d — mid-term result of THA performed with the Zimmer Biomet system (Continuum® cup 50 mm; Wagner cone® 15, ceramic-crosslinked polyethylene)

На сегодняшний день вопросам лечения дисплазии тазобедренных суставов различной степени тяжести в разных возрастных периодах ребенка посвящено значительное количество научных работ и, по большому счету, можно сказать, что алгоритм тактики лечения с выбором оптимальной методики консервативной и хирургической коррекции диспластичной вертлужной впадины существует [18, 19, 20, 21, 22]. Несмотря на это, выполнив анализ имевшихся у пациентов рентгенограмм, отражающих результаты лечения в различных федеральных округах России на определенных этапах их жизни, нам удалось выявить основные ошибки, которые, по нашему мнению, и стали причиной столь раннего развития терминальной стадии коксартроза. Глобально мы разделили их на методологические, технические и комбинированные.

К методологическим ошибкам был отнесен некорректно выбранный подход к лечению. Ошибки при консервативном лечении: отсутствие предпозиционной подготовки и применение гипсовой иммобилизации нижних конечностей в положении Lorenz 1, которое неизбежно приводит к возникновению различной степени тяжести пострепозиционного некроза головки бедренной кости; применение отводящих ортопедических конструкций, не обеспечивающих главный принцип положения нижних конечностей при лечении дисплазии тазобедренных суставов различной степени тяжести — human position [23, 24]. Ошибки при хирургическом лечении: невыполнение какой-либо остеотомии таза в ходе радикальной реконструктивной операции, что всегда приводит к развитию

подвывиха с ростом ребенка и также требует проведения ревизионного вмешательства.

К техническим ошибкам в первую очередь относится мальпозиция металлоконструкций с нахождением их частей в полости сустава и проекции сосудов, непосредственно осуществляющих перфузию головки бедренной кости. Второй по частоте технической ошибкой является сохранение целостности сухожилия *m. iliopsoas* или его отсечение от малого вертела, а не в нижней апертуре вертлужной впадины при выполнении этапа открытого вправления, что всегда приводит к релюксации и требует ревизионного реконструктивного вмешательства. Третьей по частоте встречаемости ошибкой является интраоперационная гиперкоррекция вертлужной впадины во фронтальной и особенно горизонтальной плоскости, что приводит к избыточному костному покрытию головки бедренной кости и ретроверсии вертлужной впадины. В результате развивается ринсер-тип фемороацетабулярного импинджмента и коксартроза [25, 26, 27].

Комбинированные ошибки сочетали признаки методологических и технических.

Юношеский эпифизолиз головки бедренной кости

Юношеский эпифизолиз головки бедренной кости (ЮЭГБК) — это мультифакторное ортопедическое заболевание, возникающее обычно в пубертатном периоде и характеризующееся нетравматическим смещением проксимального эпифиза бедренной кости по линии эпифизарной ростковой пластинки, чаще всего в дорсальном и

медиальном направлениях [28, 29, 30]. Основой развития будущей деформации является острое или хроническое смещение проксимального эпифиза бедренной кости по отношению к ее шейке. Это явление происходит в связи со снижением механической устойчивости к нагрузкам эпифизарного росткового хряща из-за дисбаланса между гормонами роста и половыми гормонами [31, 32]. В абсолютном большинстве случаев наиболее типичными направлениями смещения головки бедренной кости являются: кзади-книзу, кзади или книзу [33, 34]. Общеизвестно, что единственным адекватным методом хирургического лечения детей с ЮЭГБК является хирургический, а объем операции напрямую зависит от степени смещения головки бедренной кости и характера течения заболевания [35, 36, 37, 38]. Необходимо подчеркнуть, что даже незначительная остаточная деформация на уровне перехода головка — шейка бедренной кости будет способствовать возникновению сам-типа фемороацетабулярного импинджмента и, соответственно, приведет к раннему коксартрозу [39, 40]. По данным литературы, а именно научных обзоров, посвященных выполнению тотального эндопротезирования у данной категории пациентов, средний возраст на момент проведения органозамещающей операции варьирует от 29 до 49 лет [13, 14].

В настоящем исследовании средний возраст 72 (13,6%) пациентов с последствиями перенесенного

ЮЭГБК на момент госпитализации в клинику составил $15,9 \pm 1,8$ лет. Сбор анамнестических данных позволил установить, что 65 (90,3%) детям проводилось хирургическое лечение, причем однократное. У 7 (9,7%) пациентов правильный диагноз не был установлен, из них у 2 детей имело место двустороннее поражение. При планировании ТЭТС у всех пациентов отмечались рентгенологические признаки либо асептического некроза головки бедренной кости с ее грубой деформацией, либо хондролита вертлужной впадины, за исключением пациентов, не получавших лечения. Изучение характера проведенных операций при различных стадиях и течении заболевания позволило определить причины развития терминальной стадии коксартроза. Так, 16 (25%) пациентам с острым смещением проксимального эпифиза бедренной кости проводилась одномоментная закрытая репозиция с фиксацией спицами на сроке от 5 до 7 сут. после госпитализации пациента в стационар. Необходимо отметить, что у всех этих пациентов острое смещение произошло на фоне хронического. При этом в медицинской документации упоминаний о проведении дренирующих тазобедренный сустав манипуляций (пункция или капсулотомия) нами не было обнаружено. Кроме того, у 11 из 16 пациентов выявлены выраженное остаточное смещение эпифиза и мальпозиция металлофиксаторов в виде их пенетрации в полость сустава (рис. 7).

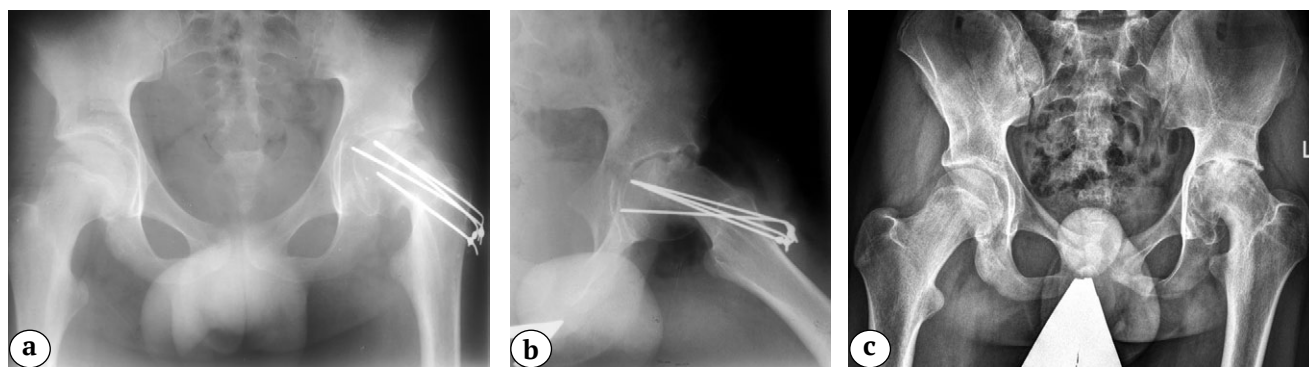


Рис. 7 (а, б, с). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 14 лет с левосторонним коксартрозом 3 стадии в результате лечения ЮЭГБК:

а, б — через 6 мес. после выполнения закрытой репозиции с фиксацией пучком спиц (отмечается неустранимое смещение головки бедренной кости по отношению к шейке со значительным сужением суставной щели и мальпозицией спицы Киршнера);

с — непосредственно перед проведением эндопротезирования (помимо классических признаков коксартроза 3 стадии, отмечаются характерные для хондролита вертлужной впадины ее протрузия с краниальным смещением головки бедренной кости)

Fig. 7 (a, b, c). X-ray series of a 14-years-old patient with 3 grade left-sided hip osteoarthritis as a result of SCFE treatment:

a, b — X-ray of the hip joints 6 months after closed reduction with a K-wires fixation (accompanied by uncorrected displacement of the femoral head relative to the femoral neck with a significant joint space and malposition of the K-wires);

c — X-ray of the hip joints just before THA (in addition to the classic signs of 3 grade hip osteoarthritis, typical for acetabulum chondrolysis protrusion with cranial displacement of the femoral head is observed)



Рис. 7 (d). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 14 лет с левосторонним коксартрозом 3 стадии в результате лечения ЮЭГБК:

d — среднесрочный результат выполнения тотальной бесцементной артропластики системой Zimmer Biomet (чашка Trilogy IT® 62 мм; ножка Alloclassic® 6, пара трения — керамика — поперечносвязанный полиэтилен) с аутопластикой дна вертлужной впадины

Fig. 7 (d). X-ray series of a 14-years-old patient with 3 grade left-sided osteoarthritis as a result of SCFE treatment:
d — mid-term result of THA performed with the Zimmer Biomet system (Trilogy IT® 62 mm cup; Alloclassic® 6, ceramic-crosslinked polyethylene) and autoplasty of the acetabular floor

Из 49 (75%) пациентов с хроническим течением заболевания и смещением эпифиза кзади на 30° и более внесуставная вальгизирующая остеотомия бедренной кости была выполнена в 42 случаях, а внутрисуставные остеотомии (корректирующая трансцервикальная остеотомия или модифицированная операция Dunn) — в 7. Изучение серии рентгенограмм данной категории пациентов после хирургического лечения позволило определить причину развития терминальной стадии артроза тазобедренного сустава. Так, у пациен-

тов с коррекцией пространственного положения смещенного эпифиза путем выполнения околоустьевой остеотомии бедренной кости коксартроз развился в результате ротации проксимального отдела кпереди на величину более 45° (рис. 8).

У всех пациентов, которым выполняли внутрисуставные остеотомии, диагностирован асептический некроз головки бедренной кости с ее грубой деформацией, который развился в связи с нарушением артериальной перфузии головки бедренной кости (рис. 9).



Рис. 8 (a, b, c, d). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 16 лет с правосторонним коксартрозом 3 стадии в результате лечения ЮЭГБК:

a, b — рентгенограммы в переднезадней и аксиальной проекциях на момент первичного обращения в один из стационаров (смещение головки правой бедренной кости кзади на 50°);

c, d — рентгенограммы в переднезадней и аксиальной проекциях непосредственно после проведения ротационной остеотомии бедренной кости с остеосинтезом пластиной с угловой стабильностью (восстановлены пространственные соотношения в системе «вертлужная впадина — головка — шейка бедренной кости» за счет ротации проксимального отдела кпереди в горизонтальной плоскости на 50°)

Fig. 8 (a, b, c, d). X-ray series of a 16-years-old patient with 3 grade right-sided osteoarthritis as a result of SCFE treatment:
a, b — X-rays of the hip joints in the anteroposterior and axial views at the time of initial admission (a posterior displacement of the head of the right femur by 50° is observed);
c, d — X-rays of the hip joints in the anteroposterior and axial views just after rotational femoral osteotomy and osteosynthesis performed with an angle stable plate (spatial relations in the “acetabulum — femoral head — femoral neck” system are restored due to anterior rotation of the proximal part in horizontal plane by 50°)

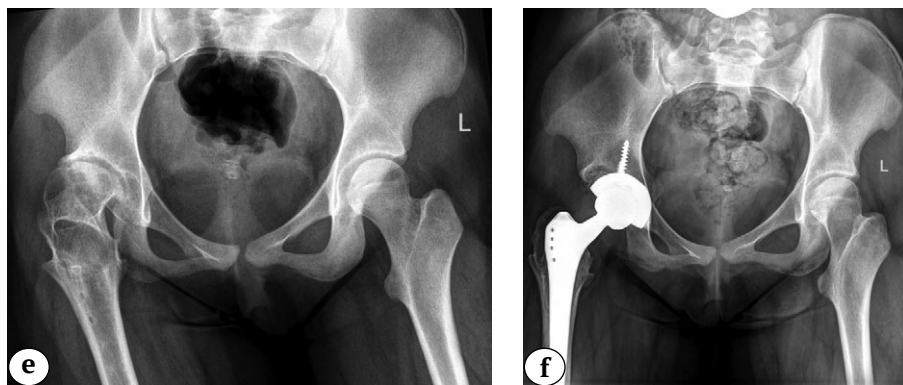


Рис. 8 (e, f). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 16 лет с правосторонним коксартрозом 3-й стадии в результате лечения ЮЭГБК:
 e — через полтора года после проведения первичного хирургического лечения (признаки терминальной стадии коксартроза с подвывихом бедра);
 f — среднесрочный результат тотального эндопротезирования системой Zimmer Biomet (чашка Trilogy IT® 52 мм; ножка Alloclassic® 4, пара трения: керамика — поперечносвязанный полиэтилен) с аутопластикой свода вертлужной впадины

Fig. 8. (e, f). X-ray series of a 16-years-old patient with 3 grade right-sided osteoarthritis as a result of SCFE treatment:
 e — X-ray of the hip joints in a year and a half after primary surgical treatment (signs of end-stage hip osteoarthritis with hip subluxation are observed);
 f — mid-term result of THA performed with the Zimmer Biomet system (Trilogy IT® 52 mm cup; Alloclassic® 4, ceramic-crosslinked polyethylene) and autoplasty of the acetabular arch

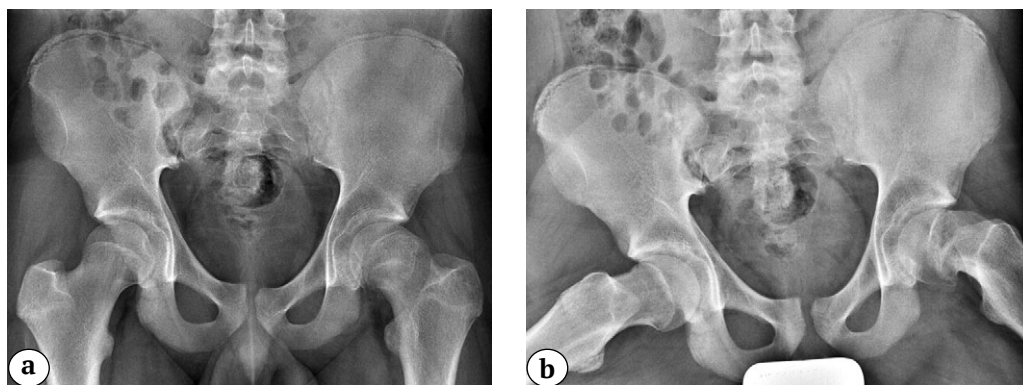


Рис. 9 (a, b). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 16 лет с левосторонним коксартрозом 3-й стадии в результате лечения ЮЭГБК:
 a, b — рентгенограммы в переднезадней и аксиальной проекциях на момент первичного обращения в один из стационаров (смещение головки правой бедренной кости кзади на 63° с формированием остеофита в месте перехода «головка — шейка», признаки синтозирования фибрального хряща эпифиза)

Fig. 9 (a, b). X-ray series of a 16-years-old patient with 3 grade left-sided osteoarthritis as a result of SCFE treatment:
 a, b — X-rays of the hip joints in the anteroposterior and axial views at the time of initial admission (a posterior displacement of the head of the right femur by 63° with developing osteophyte at the “head-neck” junction and signs of the epiphysial cartilage formation are observed)

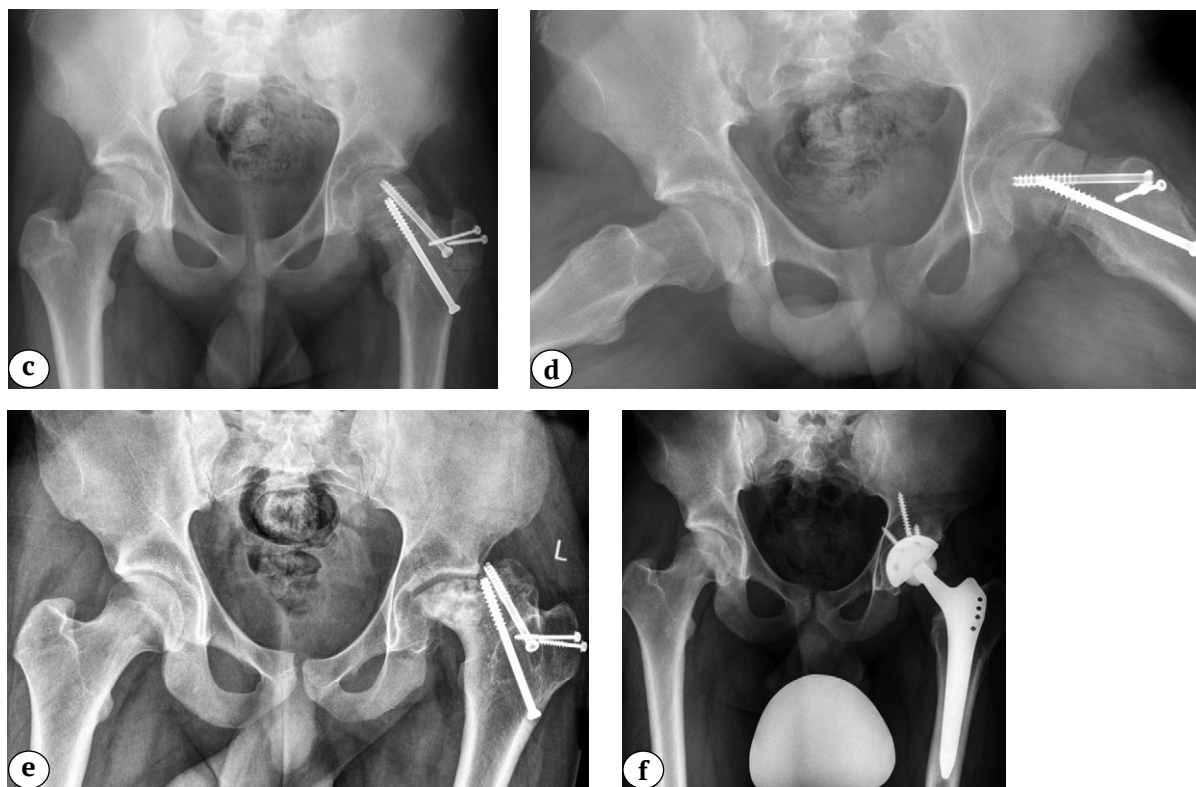


Рис. 9 (c, d, e, f). Серия рентгенограмм тазобедренных суставов пациента 16 лет с левосторонним коксартрозом 3-й стадии в результате лечения ЮЭГБК:

c, d — рентгенограммы в переднезадней и аксиальной проекциях непосредственно после проведения внутрисуставной корригирующей остеотомии шейки бедренной кости (восстановлены пространственные соотношения в системе «вертлужная впадина — головка — шейка бедренной кости»);
 e — через год после проведения первичного хирургического лечения (признаки асептического некроза головки бедренной кости с ее грубой многоплоскостной деформацией и подвывихом бедра);
 f — среднесрочный результат тотального эндопротезирования системой Zimmer Biomet (чашка Trilogy IT® 48 мм; ножка Alloclassic® 5, пара трения керамика — поперечносвязанный полиэтилен)

Fig. 9 (c, d, e, f). X-ray series of a 16-years-old patient with 3 grade left-sided osteoarthritis as a result of SCFE treatment: c, d — X-rays of the hip joints in the anteroposterior and axial views just after intraarticular corrective osteotomy of the femoral neck (spatial relations in the “acetabulum — head — femoral neck” system are restored); e — X-rays of the hip joints in a year after primary surgical treatment (signs of aseptic necrosis of the femoral head with its gross multiplanar deformation and hip subluxation are observed); f — mid-term result of THA performed with the Zimmer Biomet system (Trilogy IT® 48 mm cup; Alloclassic® 5, ceramic-crosslinked polyethylene)

Проблеме лечения детей с ЮЭГБК ежегодно посвящается большое число научных работ. Только в базе данных PubMed за последние 10 лет нами обнаружено 327 статей. Несмотря на то, что ряд авторов пишет о достаточно высокой эффективности выполнения переднеротационной корригирующей остеотомии бедренной кости как в самостоятельном варианте, так и сочетании с моделирующей резекцией и низведением большого вертела [41, 42, 43, 44]. Подавляющее большинство исследователей, несмотря на техническую сложность и длительную кривую обучения хирурга, отмечают значимо лучшие функциональные и рентгенологические результаты лечения данной категории детей именно при выполнении модифицированной операции Dunn [45, 46, 47].

При выполнении фиксации головки бедренной кости *in situ* практически всеми авторами используется либо канюлированный, либо телескопический винт, который позволяет не только предотвратить смещение проксимального эпифиза бедренной кости, но и не препятствует дальнейшему росту шейки и ремоделированию метаэпифизарной области [35, 48].

Анализ эффективности проведенного хирургического лечения пациентов, страдающих ЮЭГБК, позволяет нам сделать заключение о том, что у данной категории детей терминальная стадия артроза в возрасте до 18 лет развилась вследствие ошибок, допущенных при выборе методики хирургического лечения и непосредственном ее техническом исполнении. Это, с одной стороны, сви-

детельствует о недостаточной осведомленности специалистов в российских регионах о современных эффективных методах лечения данной категории пациентов, с другой стороны, о необходимости серьезного подхода к обучению специалистов хирургическим техникам выполнения подобных вмешательств.

Болезнь Легга – Кальве – Пертеса

Болезнь Легга – Кальве – Пертеса — одно из распространенных приобретенных заболеваний тазобедренного сустава в детском возрасте, которое диагностируется в 0,4–29,0 случаях на 100 000 детей. Наиболее часто БЛКП возникает в возрасте от 4 до 8 лет [49, 50, 51]. Невозможность проведения этиопатогенетического лечения послужило стимулом к разработке различных методик терапии, которые должны были предотвратить такие осложнения, как нестабильность тазобедренного сустава в виде подвывиха и формирование многоплоскостных деформаций проксимального отдела бедренной кости, а при необходимости успешно их ликвидировать. В современном мире общепризнанным стандартом лечения детей с БЛКП является принцип containment therapy [52, 53, 54]. Суть его заключается в достижении степени костного покрытия, равной единице. При отсутствии признаков подвывиха бедра containment therapy проводится консервативно с применением различных отводящих ортопедических конструкций. В случаях сформировавшейся нестабильности тазобедренного сустава используется принцип primary surgical containment, а операцией выбо-

ра, по мнению многих авторов, является тройная остеотомия таза [55, 56, 57].

В наше исследование вошли 34 (6,4%) пациента с последствиями перенесенной болезни Пертеса. Средний возраст пациентов на момент госпитализации составил $15,1 \pm 1,2$ года. С одной стороны, отрадно, что это оказалась самая немногочисленная группа среди всех детей с ортопедическими заболеваниями тазобедренного сустава. С другой стороны, изучение данных анамнеза выявило, что 25 (73,5%) пациентов после постановки корректного диагноза получали консервативное лечение без соблюдения принципа containment therapy, т.е. в подавляющем большинстве случаев исключалась лишь осевая нагрузка на нижнюю конечность и назначался стандартный для любого ортопедического заболевания детского тазобедренного сустава комплекс восстановительной терапии, в которую входили массаж, лечебная гимнастика и такие физиотерапевтические процедуры, как электрофорез кальция на тазобедренные суставы и зуфиллина/трентала на пояснично-крестцовый отдел позвоночника. Постоянным спутником естественного течения патологического процесса в головке бедренной кости является синовит, наличие которого в совокупности с отсутствием лечения по принципу containment therapy приводит к экструзионному подвывиху с формированием грубой многоплоскостной деформации головки и вторичной деформации вертлужной впадины. Это особенно часто наблюдается у детей в возрасте старше 6 лет с субтотальным или тотальным поражением (рис. 10).

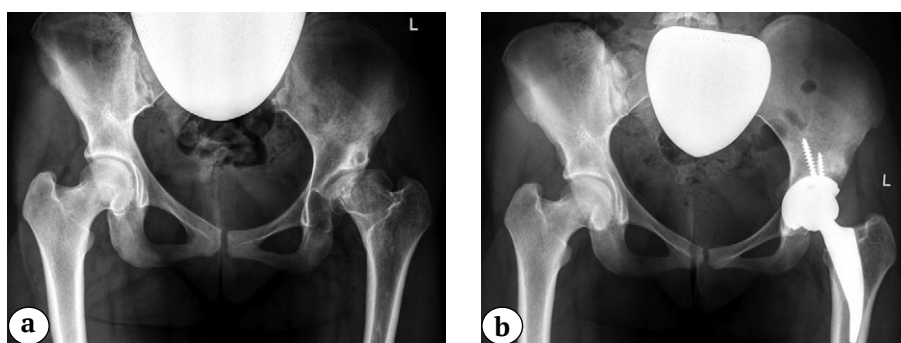


Рис. 10. Рентгенограммы тазобедренных суставов пациента 16 лет с левосторонним коксартрозом терминальной стадии, развившемся в результате БЛКП:

a — перед проведением тотального эндопротезирования (асферичная головка бедренной кости с вторичной деформацией вертлужной впадины и наличием дистрофической кисты в ее своде, подвывих бедра)
b — среднесрочный результат тотальной артропластики системой B. Braun Aesculap (чашка Plasmafit® 50, ножка Metha® Short Hip Stem, пара трения керамика — поперечносвязанный полиэтилен)

Fig. 10. X-ray of the hip joints of a 16-years-old patient with end-stage left-sided hip osteoarthritis as a result of LCPD:
a — before THA (aspherical femoral head with secondary deformation of the acetabulum, a dystrophic cyst in its arch and hip subluxation are observed);

b — mid-term result of THA performed with the B. Braun Aesculap system (Plasmafit® 50 cup, Metha® Short Hip Stem 4, ceramic-crosslinked polyethylene)

Остальным 9 (26,5%) пациентам, согласно представленным ими выписным эпикризам и рентгенограммам, проводилось хирургическое лечение. Семи детям проводилась туннелизация, эффективность которой у данной категории пациентов не имеет научного обоснования, а двум — варизирующая остеотомия бедренной кости.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать заключение о том, что причиной развития терминальной стадии коксартроза у пациентов данной группы являлось пренебрежение соблюдением принципа containment therapy, что соответствует данным мировой литературы [9].

Ограничения исследования

У ряда пациентов на момент поступления в клинику Центра частично отсутствовали архивные рентгенограммы, что в значительной мере усложнило проведение более подробного анализа причин развития коксартроза 3-й стадии. Исследование продолжается — планируется проведение анализа причин необходимости выполнения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава до достижения возраста совершеннолетия в других нозологических группах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных и изображений.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Scott C.E.H., Clement N.D., Davis E.T., Haddad F.S. Modern total hip arthroplasty: peak of perfection or room for improvement? *Bone Joint J.* 2022;104-B(2): 189-192. doi: 10.1302/0301-620X.104B2.BJJ-2022-0007.
2. Parilla F.W., Anthony C.A., Bartosiak K.A., Pashos G.E., Thapa S., Clohisy J.C. Ten Year Outcomes of Contemporary Total Hip Arthroplasty in Adolescent and Young Adult Patients are Favorable. *J Arthroplasty.* 2024;39(3):754-759. doi: 10.1016/j.arth.2023.09.032.
3. Kahlenberg C.A., Gibbons J.A.B., Jannat-Khah D.P., Goodman S.M., Mandl L.A., Sculco P.K. et al. Use of Total Hip Arthroplasty in Patients Under 21 Years Old: A US Population Analysis. *J Arthroplasty.* 2021;36(12): 3928-3933. doi: 10.1016/j.arth.2021.08.004.
4. Peagler C.L.Jr., Dobek A.J., Tabaie S. Trends in the Use of Total Hip Arthroplasty in the Pediatric Population: A Review of the Literature. *Cureus.* 2023;15(8):e43978. doi: 10.7759/cureus.43978.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными причинами развития терминальной стадии коксартроза, требующего выполнения тотальной артропластики у пациентов в возрасте до 18 лет с основными ортопедическими заболеваниями детского тазобедренного сустава, являются дефекты в диагностике, методологическом выборе как консервативного, так и хирургического лечения, а также ятрогенное поражение компонентов сустава. На наш взгляд, крайне необходимо проводить обучение врачей травматологов-ортопедов в регионах Российской Федерации с акцентом на освещение современных принципов диагностики и эффективных методов лечения детей с основными ортопедическими заболеваниями тазобедренного сустава. По нашему мнению, высокотехнологичные реконструктивные операции у детей с основными ортопедическими заболеваниями тазобедренного сустава должны выполняться лишь в учреждениях, где подготовлены высококвалифицированные специалисты и имеются современное оборудование и имплантаты.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Written consent was obtained from the legal representatives of children for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

5. Halvorsen V., Fenstad A.M., Engesaeter L.B., Nordsletten L., Overgaard S., Pedersen A.B. et al. Outcome of 881 total hip arthroplasties in 747 patients 21 years or younger: data from the Nordic Arthroplasty Register Association (NARA) 1995-2016. *Acta Orthop.* 2019;90(4):331-337. doi: 10.1080/17453674.2019.1615263.
6. Metcalfe D., Peterson N., Wilkinson J.M., Perry D.C. Temporal trends and survivorship of total hip arthroplasty in very young patients: a study using the National Joint Registry data set. *Bone Joint J.* 2018;100-B(10):1320-1329. doi: 10.1302/0301-620X.100B10.BJJ-2017-1441.R2.
7. Kuijpers M.F.L., Hannink G., van Steenberghe L.N., Schreurs B.W. Total Hip Arthroplasty in Young Patients in The Netherlands: Trend Analysis of >19,000 Primary Hip Replacements in the Dutch Arthroplasty Register. *J Arthroplasty.* 2018;33(12):3704-3711. doi: 10.1016/j.arth.2018.08.020.

8. Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Николаев Н.С., Григоричева Л.Г., Овсянкин А.В., Черный А.Ж. и др. Эпидемиология первичного эндопротезирования тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики РНИИТО им. Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(2):81-101. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-81-101. Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Nikolaev N.S., Grigoricheva L.G., Ovsyankin A.V., Cherny A.Zh. et al. Epidemiology of Primary Hip Arthroplasty: Report from Register of Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2017;23(2):81-101. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-81-101.
9. Luceri F., Morelli I., Sinicato C.M., Della Grazia A., Verdoni F., Maffulli N., Medium-term outcomes of total hip arthroplasty in juvenile patients. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):476. doi: 10.1186/s13018-020-01990-2.
10. Снетков А.И., Франтов А.Р., Горохов В.Ю., Батраков С.Ю., Котляров Р.С. Эндопротезирование тазобедренного сустава у подростков. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2010;17(1):48-53. Snetkov A.I., Frantov A.R., Gorokhov V.Yu., Batrakov S.Yu., Kolyarov R.S., Kotljarov R.S. Total hip arthroplasty in adolescents. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2010;17(1):48-53. (in Russian).
11. Хрыпов С.В., Комолкин И.А., Афанасьев А.П. Лечение детей старшего возраста с вторичным коксартрозом 3 стадии, сочетающимся с укорочением нижней конечности свыше 6 см, методом тотального эндопротезирования. *Гений ортопедии*. 2013;(1):44-47. Хрыпов С.В., Комолкин И.А., Афанасьев А.П. Treatment of older children with Stage 3 secondary coxarthrosis associated with lower limb shortening above 6 cm by the technique of total replacement. *Genij Ortopedii*. 2013;(1):44-47. (in Russian).
12. Басков В.Е., Виссарионов С.В., Филиппова М.С., Кенис В.М., Бортулёв П.И. Актуальные проблемы диагностики дисплазии тазобедренного сустава у детей грудного возраста в регионах Российской Федерации. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2023;11(4):439-448. doi: 10.17816/PTORS603050. Baskov V.E., Vissarionov S.V., Filippova M.S., Kenis V.M., Bortulev P.I. Current issues in the diagnostics of hip dysplasia in newborns in the regions of the Russian Federation. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2023;11(4):439-448. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS603050.
13. Engesaeter L.B., Engesaeter I.Ø., Fenstad A.M., Havelin L.I., Kärrholm J., Garellick G. et al. Low revision rate after total hip arthroplasty in patients with pediatric hip diseases. *Acta Orthop*. 2012;83(5):436-441. doi: 10.3109/17453674.2012.736171.
14. Lehmann T.G., Engesaeter I.Ø., Laborie L.B., Lie S.A., Rosendahl K., Engesaeter L.B. Total hip arthroplasty in young adults, with focus on Perthes' disease and slipped capital femoral epiphysis: follow-up of 540 subjects reported to the Norwegian Arthroplasty Register during 1987-2007. *Acta Orthop*. 2012;83(2):159-164. doi: 10.3109/17453674.2011.641105.
15. Sternheim A., Rogers V.A., Kuzyk P.R., Safir O.A., Backstein D., Gross A.E. Segmental proximal femoral bone loss and revision total hip replacement in patients with developmental dysplasia of the hip: the role of allograft prosthesis composite. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(6):762-767. doi: 10.1302/0301-620x.94b6.27963.
16. Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздниккин И.Ю., Познович М.С. Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):5-16. doi: 10.17816/2311-2905-2012. Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovich M.S. Variants of acetabular deformity in developmental dysplasia of the hip in young children. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):5-16. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-2012.
17. Omeroglu H., Tumer Y., Bicimoglu A., Agus H. Intraobserver and interobserver reliability of Kalamchi and Macewen's classification system for evaluation of avascular necrosis of the femoral head in developmental hip dysplasia. *Bull Hosp Jt Dis*. 1999;58(4):194-196.
18. Поздниккин Ю.И., Камоско М.М., Краснов А.И., Волошин С.Ю., Поздниккин И.Ю., Басков В.Е. и др. Система лечения дисплазии тазобедренного сустава и врожденного вывиха бедра как основа профилактики диспластического коксартроза. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2007;3:63-71. Pozdnikin Yu.I., Kamosko M., Krasnov A.I., Voloshin S.Yu., Pozdnikin I.Yu., Baskov V.E. et al. System for the treatment of hip dysplasia, congenital hip dislocation as the basis for dysplastic coxarthrosis prevention. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2007;3:63-71.
19. Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздниккин И.Ю., Познович М.С. и др. К вопросу о выборе методики остеотомии таза у детей младшего возраста с дисплазией тазобедренного сустава. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2023;11(1):5-16. doi: 10.17816/PTORS138629. Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovich M.S. et al. The choice of pelvic osteotomy technique in young children with hip dysplasia. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2023;11(1):5-16. doi: 10.17816/PTORS138629.
20. Vaquero-Picado A., González-Morán G., Garay E.G., Moraleda L. Developmental dysplasia of the hip: update of management. *EFORT Open Rev*. 2019;4(9):548-556. doi: 10.1302/2058-5241.4.180019.
21. Bakarman K., Alsiddiky A.M., Zamzam M., Alzain K.O., Alhuzaimi F.S., Rafiq Z. Developmental Dysplasia of the Hip (DDH): Etiology, Diagnosis, and Management. *Cureus*. 2023;15(8):e43207. doi: 10.7759/cureus.43207.
22. Venkatadass K., Durga Prasad V., Al Ahmadi N.M.M., Rajasekaran S. Pelvic osteotomies in hip dysplasia: why, when and how? *EFORT Open Rev*. 2022;7(2):153-163. doi: 10.1530/EOR-21-0066.
23. Dwan K., Kirkham J., Paton R.W., Morley E., Newton A.W., Perry D.C. Splinting for the non-operative management of developmental dysplasia of the hip (DDH) in children under six months of age. *Cochrane Database Syst Rev*. 2022;10(10):CD012717. doi: 10.1002/14651858.CD012717.pub2.

24. Gou P., Zhang Y., Wu J., Li J., Li X., Li M. et al. Human Position Brace Versus Pavlik Harness for Infants Under 6 Months of Age With Developmental Dislocation of the Hip: A Comparison of Therapeutic Efficacy. *J Pediatr Orthop.* 2021;41(7):545-549. doi: 10.1097/BPO.0000000000001862.
25. Dora C., Mascard E., Mladenov K., Seringe R. Retroversion of the acetabular dome after Salter and triple pelvic osteotomy for congenital dislocation of the hip. *J Pediatr Orthop B.* 2002;11(1):34-40. doi: 10.1097/00009957-200201000-00006.
26. Lerch T.D., Steppacher S.D., Liechti E.F., Tannast M., Siebenrock K.A. One-third of Hips After Periacetabular Osteotomy Survive 30 Years With Good Clinical Results, No Progression of Arthritis, or Conversion to THA. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1154-1168. doi: 10.1007/s11999-016-5169-5.
27. Kiyama T., Naito M., Shiramizu K., Shinoda T. Postoperative acetabular retroversion causes posterior osteoarthritis of the hip. *Int Orthop.* 2009;33(3):625-631. doi: 10.1007/s00264-007-0507-6.
28. Mathew S.E., Larson A.N. Natural History of Slipped Capital Femoral Epiphysis. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(6) Suppl 1:23-27. doi: 10.1097/BPO.0000000000001369.
29. Cotton E.V., Fowler S.C., Maday K.R. A review of slipped capital femoral epiphysis. *JAAPA.* 2022;35(12):39-43. doi: 10.1097/01.JAA.0000892720.49955.c0.
30. Galletta C., Aprato A., Giachino M., Marre' Brunenghi G., Boero S., Turchetto L. et al. Hip morphology in slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop B.* 2021;30(6):535-539. doi: 10.1097/BPB.0000000000000807.
31. Winston T.W., Landau A.J., Hosseinzadeh P. Proximal femoral changes related to obesity: an analysis of slipped capital femoral epiphysis pathoanatomy. *J Pediatr Orthop B.* 2022;31(3):216-223. doi: 10.1097/BPB.0000000000000859.
32. Herngren B., Stenmarker M., Enskär K., Hägglund G. Outcomes after slipped capital femoral epiphysis: a population-based study with three-year follow-up. *J Child Orthop.* 2018;12(5):434-443. doi: 10.1302/1863-2548.12.180067.
33. Castillo C., Mendez M. Slipped Capital Femoral Epiphysis: A Review for Pediatricians. *Pediatr Ann.* 2018;47(9): 377-380. doi: 10.3928/19382359-20180730-01.
34. Weinmann D., Adolf S., Meurer A. Slipped Capital Femoral Epiphysis. *Z Orthop Unfall.* 2020;158(4): 417-431. (In German). doi: 10.1055/a-0917-7940.
35. Барсуков Д.Б., Бортулёв П.И., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Мурашко Т.В., Баскаева Т.В. Некоторые аспекты фиксации проксимального эпифиза бедренной кости у детей с ранними стадиями юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2021;9(3):277-286. doi: 10.17816/PTORS75677.
- Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnikin I.Yu., Murashko T.V., Baskaeva T.V. Selected aspects of proximal femoral epiphysis fixation in children with early stages of slipped capital femoral epiphysis. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2021;9(3):277-286. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS75677.
36. Merenda A., Falciglia F., Aletto C., Aulisa A.G., Toniolo R.M. Management of slipped capital femoral epiphysis: What hardware we can use in osteosynthesis in situ? *Pediatr Med Chir.* 2022;44(1). doi: 10.4081/pmc.2022.297.
37. Барсуков Д.Б., Баиндурашвили А.Г., Поздникин И.Ю., Басков В.Е., Краснов А.И., Бортулёв П.И. Новый метод корригирующей остеотомии бедра у детей с юношеским эпифизеолизом головки бедренной кости. *Геній ортопедію.* 2018;24(4): 450-459. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-450-459.
- Barsukov D.B., Baindurashvili A.G., Pozdnikin I.Yu., Baskov V.E., Krasnov A.I., Bortulev P.I. New method of corrective femoral osteotomy in children with slipped capital femoral epiphysis. *Genij ortopedii.* 2018;24(4):450-459. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-450-459.
38. Ziebarth K., Zilkens C., Spencer S., Leunig M., Ganz R., Kim Y.J. Capital realignment for moderate and severe SCFE using a modified Dunn procedure. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(3):704-716. doi: 10.1007/s11999-008-0687-4.
39. Ganz R., Leunig M., Leunig-Ganz K., Harris W.H. The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):264-272. doi: 10.1007/s11999-007-0060-z.
40. Wirries N., Heinrich G., Derksen A., Budde S., Floerkemeier T., Windhagen H. Is a Femoro-Acetabular Impingement Type Cam Predictable after Slipped Capital Femoral Epiphysis? *Children (Basel).* 2021;8(11):992. doi: 10.3390/children8110992.
41. Erickson J.B., Samora W.P., Klingele K.E. Treatment of chronic, stable slipped capital femoral epiphysis via surgical hip dislocation with combined osteochondroplasty and Imhäuser osteotomy. *J Child Orthop.* 2017;11(4):284-288. doi: 10.1302/1863-2548.11.160259.
42. Baraka M.M., Hefny H.M., Thakeb M.F., Fayyad T.A., Abdelazim H., Hefny M.H. Combined Imhäuser osteotomy and osteochondroplasty in slipped capital femoral epiphysis through surgical hip dislocation approach. *J Child Orthop.* 2020;14(3):190-200. doi: 10.1302/1863-2548.14.200021.
43. Fujak A., Müller K., Legal W., Legal H., Forst R., Forst J. Long-term results of Imhäuser osteotomy for chronic slipped femoral head epiphysiolysis. *Orthopade.* 2012;41(6):452-458. (In German). doi: 10.1007/s00132-012-1940-9.
44. Lagerburg V., van den Boorn M., Vorrink S., Amajjar I., Witbreuk M.M.E.H. The clinical value of preoperative 3D planning and 3D surgical guides for Imhäuser osteotomy in slipped capital femoral epiphysis: a retrospective study. *3D Print Med.* 2024;10(1):8. doi: 10.1186/s41205-024-00205-2.
45. Masquijo J.J., Allende V., D'Elia M., Miranda G., Fernández C.A. Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis With the Modified Dunn Procedure: A Multicenter Study. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(2):71-75. doi: 10.1097/BPO.0000000000000936.
46. Ziebarth K., Steppacher S.D., Siebenrock K.A. The modified Dunn procedure to treat severe slipped capital femoral epiphysis. *Orthopade.* 2019;48(8):668-676. (In German). doi: 10.1007/s00132-019-03774-x.
47. Gorgolini G., Caterini A., Efremov K., Petrungaro L., De Maio F., Ippolito E. Surgical treatment of slipped capital femoral epiphysis (SCFE) by Dunn procedure modified by Ganz: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;22(Suppl 2):1064. doi: 10.1186/s12891-022-05071-9.
48. Druschel C., Placzek R., Funk J.F. Growth and deformity after in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis. *Z Orthop Unfall.* 2013;151(4):371-379. (In German). doi: 10.1055/s-0033-1350667.

49. Loder R.T., Skopelja E.N. The epidemiology and demographics of legg-calvé-perthes' disease. *ISRN Orthop*. 2011;504393. doi: 10.5402/2011/504393.
50. Perry D.C., Hall A.J. The epidemiology and etiology of Perthes disease. *Orthop Clin North Am*. 2011;42(3): 279-283. doi:10.1016/j.ocl.2011.03.002.
51. Leroux J., Abu Amara S., Lechevallier J. Legg-Calvé-Perthes disease. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018;104(1):107-112. doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.012.
52. Wenger D.R., Pandya N.K. Advanced containment methods for the treatment of Perthes disease: Salter plus varus osteotomy and triple pelvic osteotomy. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(2 Suppl):198-205. doi: 10.1097/BPO.0b013e31822602b0.
53. Joseph B., Price C.T. Principles of containment treatment aimed at preventing femoral head deformation in Perthes disease. *Orthop Clin North Am*. 2011;42(3):317-327. doi: 10.1016/j.ocl.2011.04.001.
54. Nelitz M., Lippacher S., Krauspe R., Reichel H. Perthes disease: current principles of diagnosis and treatment. *Dtsch Arztebl Int*. 2009;106(31-32):517-523. doi: 10.3238/arztebl.2009.0517.
55. Camurcu I.Y., Yildirim T., Buyuk A.F., Gursu S.S., Bursali A., Sahin V. Tönnis triple pelvic osteotomy for Legg-Calvé-Perthes disease. *Int Orthop*. 2015;39(3): 485-490. doi: 10.1007/s00264-014-2585-6.
56. Rosello O., Solla F., Oborocianu I., Chau E., ElHayek T., Clement J.L., Rampal V. Advanced containment methods for Legg-Calvé-Perthes disease: triple pelvic osteotomy versus Chiari osteotomy. *Hip Int*. 2018;28(3):297-301. doi: 10.5301/hipint.5000569.
57. Pailhé R., Cavaignac E., Murgier J., Cahuzac J.P., de Gauzy J.S., Accadbled F. Triple osteotomy of the pelvis for Legg-Calvé-Perthes disease: a mean fifteen year follow-up. *Int Orthop*. 2016;40(1):115-122. doi: 10.1007/s00264-015-2687-9.

Сведения об авторах

✉ **Бортулёв Павел Игоревич** — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин,
ул. Парковая, д. 64–68
<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>
e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Виссарионов Сергей Валентинович — чл.-корр. РАН,
д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Баиндурашвили Алексей Георгиевич — д-р мед. наук,
профессор, академик РАН
<https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>
e-mail: turner01@mail.ru

Неверов Валентин Александрович — д-р мед. наук,
профессор
<https://orcid.org/0000-0002-7244-5522>
e-mail: 5507974@mail.ru

Басков Владимир Евгеньевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>
e-mail: dr.baskov@mail.ru

Барсуков Дмитрий Борисович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>
e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Поздникин Иван Юрьевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Баскаева Тамила Владимировна
<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>
e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Познович Махмуд Станиславович
<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>
e-mail: poznovich@bk.ru

Выриков Дмитрий Владимирович
e-mail: dvykirov@gmail.com

Рыбинских Тимофей Сергеевич
<https://orcid.org/0000-0002-4180-5353>
e-mail: Timofey1999r@gmail.com

Authors' information

✉ **Pavel I. Bortulev** — Cand. Sci. (Med.)
Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin,
196603, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>
e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Sergei V. Vissarionov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Alexey G. Baindurashvili — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>
e-mail: turner01@mail.ru

Valentin A. Neverov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-7244-5522>
e-mail: 5507974@mail.ru

Vladimir E. Baskov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>
e-mail: dr.baskov@mail.ru

Dmitry B. Barsukov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>
e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Ivan Yu. Pozdnikin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Tamila V. Baskaeva
<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>
e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Makhmud S. Poznovich
<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>
e-mail: poznovich@bk.ru

Dmitry V. Vyrikov
e-mail: dvykirov@gmail.com

Timofey S. Rybinskikh
<https://orcid.org/0000-0002-4180-5353>
e-mail: Timofey1999r@gmail.com



Influence of Age on Pelvic Inlet and Outlet Radiographic Views

Nikita N. Zadneprovskiy, Faat A. Scharifullin, Alexander I. Zhukov, Tatyana G. Barmina, Pavel A. Ivanov

Sklifosovsky Research Institute For Emergency Medicine, Moscow, Russia

Abstract

Background. Unstable fractures of the posterior pelvic ring represent a pressing concern in trauma surgery. Minimally invasive osteosynthesis techniques have gained widespread acceptance in contemporary practice. Accurate radiographic visualization is a critical component for the precise and successful placement of iliosacral and transsacral screws. Obtaining and accurately interpreting X-ray images can pose challenges in specific clinical situations, particularly those involving age-related skeletal changes.

The aim of the study is to assess the influence of the patient's age on the measures of pelvic radiographic inlet and outlet views angles for performing a sacral fracture fixation using cannulated screws.

Methods. A retrospective analysis of CT data was conducted on 106 patients with posterior pelvic ring injuries requiring cannulated screw fixation. Preoperative CT scans were reconstructed into sagittal projections. We performed construction and measurement of the true inlet angle, super-inlet angle, pelvic outlet angle, sacral concavity angle, promontory angle, S1 and S2 outlet view angles. Statistical correlation between sacral tilt angle and the patient's age was assessed.

Results. A two-step cluster analysis divided the patient cohort into two groups with significant differences in pelvic outlet angles and age ($N_1 = 64$, $N_2 = 42$). Statistically significant differences were found between the two clusters in all the studied parameters: median values of true pelvic inlet angles were 27.2° [23.2-32.2] and 18.2° [11.4-26.6] respectively ($p < 0.001$); super-inlet angles were 42.5° [39.3-47.8] and 36.2° [28.7-42.8] respectively ($p < 0.001$); promontory angles were 128.1° [123.3-133.2] and 122.1° [115.6-129.3] respectively ($p = 0.003$); pelvic outlet angles were 62.6° [58.4-69.6] and 50.3° [45.9-53.5] respectively ($p < 0.001$); S1 outlet angles were 51.8° [48.9-56.5] and 46.8° [43.1-50.2] respectively ($p < 0.001$); S2 outlet angles were 40.8° [37.3-44.6] and 35.7° [30.9-38.6] respectively ($p < 0.001$); the mean of the sacral concavity angles was $174.8^\circ \pm 10.5$ and $152.1^\circ \pm 38.2$ respectively ($p < 0.001$); and the main age was 41.6 ± 18.7 and 69.2 ± 16.1 years respectively ($p < 0.001$). A statistically significant inverse correlation between age and pelvic tilt angle ($\rho = 0.534$; $p < 0.001$) was found. A novel diagnostic method for identifying sacral dysmorphism using angle measurement within the S1 bone corridor is presented. The sacrum was considered dysmorphic if the angle was equal to or less than 5° .

Conclusions. As the patient's age increases by one year, pelvic outlet angle decreases by 26° . If pelvic inlet angles are equal to or less than 14.45° , the difficulties in visualizing S1 and S2 outlet views during surgery are to be expected. The median of angles difference before and after anterior sacral tilt correction using a coccyx pad was 9.4° with interquartile range from 7.8° to 11° . Significant anatomical variations in posterior pelvic ring structure were observed among the study cohort. Preoperative CT sagittal reconstructions allow appropriate planning of intraoperative visualization considering expected intraoperative radiographic inlet and outlet views.

Keywords: true inlet view, standard inlet view, super-inlet view, S1 outlet view, S2 outlet view, bone corridor, pelvic fracture.

Cite as: Zadneprovskiy N.N., Scharifullin F.A., Zhukov A.I., Barmina T.G., Ivanov P.A. Influence of Age on Pelvic Inlet and Outlet Radiographic Views. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):72-81. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17514>.

✉ Zadneprovskiy N. Nikita; e-mail: zacuta2011@gmail.com

Submitted: 28.03.2024. Accepted: 23.04.2024. Published Online: 27.04.2024.

© Zadneprovskiy N.N., Scharifullin F.K., Zhukov A.I., Barmina T.G., Ivanov P.A., 2024



Корреляционная связь между возрастом и рентгенологическими проекциями входа и выхода из таза

Н.Н. Заднепровский, Ф.А. Шарифуллин, А.И. Жуков, Т.Г. Бармина, П.А. Иванов

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского
Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Нестабильные переломы заднего полукольца таза являются актуальной проблемой в хирургии повреждений костей скелета. На современном этапе наибольшее распространение получили малоинвазивные методики остеосинтеза. Правильная рентгенологическая визуализация является важной составляющей корректной и успешной установки илиосакральных и трансакральных винтов. Получение и точное интерпретирование рентгеновских снимков может быть сложной задачей в определенных клинических ситуациях, связанных с возрастными изменениями скелета.

Целью исследования являлась оценка влияния возраста пациентов на величину углов рентгенологических проекций входа и выхода из таза для выполнения фиксации переломов крестца канюлированными винтами.

Материал и методы. Для проведения исследования выполнен анализ данных КТ 106 пациентов с повреждениями заднего отдела таза, требовавшими фиксации канюлированными винтами. Использовали реконструированную сагиттальную проекцию предоперационных КТ. Были проведены построения и измерения углов истинного входа, супервхода, углов раскрытия таза, вогнутости крестца, промонториума, выхода из таза S1, выхода из таза S2. Оценена статистическая корреляция угла наклона крестца с возрастом пациента.

Результаты. Двухэтапный кластерный анализ разделил совокупность пациентов на две группы с существенными различиями по углам раскрытия таза и возрасту ($N_1 = 64$; $N_2 = 42$). Между двумя кластерами по всем исследуемым параметрам выявлены статистически значимые различия: медианные значения углов истинного входа в таз — $27,2^\circ$ [23,2–32,2] и $18,2^\circ$ [11,4–26,6] соответственно ($p < 0,001$); супервхода в таз — $42,5^\circ$ [39,3–47,8] и $36,2^\circ$ [28,7–42,8] соответственно ($p < 0,001$); углов промонториума — $128,1^\circ$ [123,3–133,2] и $122,1^\circ$ [115,6–129,3] соответственно ($p = 0,003$); углов раскрытия таза — $62,6^\circ$ [58,4–69,6] и $50,3^\circ$ [45,9–53,5] соответственно ($p < 0,001$); углов выхода S1 — $51,8^\circ$ [48,9–56,5] и $46,8^\circ$ [43,1–50,2] соответственно ($p < 0,001$); углов выхода S2 — $40,8^\circ$ [37,3–44,6] и $35,7^\circ$ [30,9–38,6] соответственно ($p < 0,001$); среднее углов вогнутости крестца — $174,8 \pm 10,5^\circ$ и $152,1 \pm 38,2^\circ$ соответственно ($p < 0,001$); возраста — $41,6 \pm 18,7$ и $69,2 \pm 16,1$ лет соответственно ($p < 0,001$). Выявлена обратная статистически значимая корреляционная связь между возрастом и углом наклона таза ($\rho = 0,534$; $p < 0,001$). В процессе выполнения исследования был разработан способ определения хирургического дисморфизма крестца с помощью построения угла в пределах костного коридора S1. Угол, при котором мы считаем крестец дисморфичным, равен или меньше 5° .

Заключение. При увеличении возраста пациента на один год угол раскрытия таза уменьшается на $0,26^\circ$. При угле истинного входа, равном или меньше $14,45^\circ$, следует ожидать сложности визуализации проекции выходов S1 и S2 во время операции. Медиана разницы углов до и после коррекции переднего наклона крестца при помощи подкладывания валика под копчик составила $9,4^\circ$ с интерквартильным размахом от $7,8^\circ$ до 11° . Среди включенных в исследование пациентов выявлены значительные анатомические различия в строения заднего полукольца таза. Изображения сагиттальной реконструкции предоперационной КТ позволяют соответствующим образом спланировать предоперационную визуализацию с учетом предполагаемых интраоперационных рентгенологических видов входа и выхода.

Ключевые слова: проекция истинного входа, проекция стандартного входа, проекция супервхода, проекция выхода S1, проекция выхода S2, костный коридор, переломы таза.

Для цитирования: Заднепровский Н.Н., Шарифуллин Ф.А., Жуков А.И., Бармина Т.Г., Иванов П.А. Корреляционная связь между возрастом и рентгенологическими проекциями входа и выхода из таза. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):72–81. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17514>.

Заднепровский Никита Николаевич; e-mail: zacuta2011@gmail.com

Рукопись получена: 28.03.2024. Рукопись одобрена: 23.04.2024. Статья опубликована онлайн: 27.04.2024.

© Заднепровский Н.Н., Шарифуллин Ф.А., Жуков А.И., Бармина Т.Г., Иванов П.А., 2024

BACKGROUND

Minimally invasive fixation of sacral fractures with iliosacral or transsacral screws is a widespread method of treatment of unstable posterior pelvic ring fractures [1, 2, 3, 4]. Pelvic inlet and outlet views combined with lateral X-ray views are used intraoperatively for screw insertion [5, 6]. A deep knowledge of anatomy helps to distinguish the typical structure of the upper sacrum from different variants of its dysmorphism [7, 8, 9, 10]. Preoperative computed tomography (CT) scans are necessary to understand the structure of the sacrum, to plan the radiographic angles of pelvic inlet and outlet views, and to determine direction of cannulated screws [6, 11]. Neglecting preoperative planning may result in an increased duration of surgery and radiation exposure. Proper patient positioning on the operating table depending on the sacral tilt helps to achieve optimal C-arm angles [4, 12].

Different degrees of sacral kyphosis or lumbar lordosis and the presence of any degree of sacral dysmorphism suggest a wide range of pelvic inlet and outlet angles [5, 13, 14]. Preoperative CT scans not only help to study the features of a fracture but also can be used to preliminarily determine the optimal inlet and outlet angles. This allows surgeons to obtain the necessary image during the surgery in almost all patients. In addition, they may be useful in complex clinical situations including morbid obesity, senile osteoporosis, and intestinal pneumatization.

Aim of the study – to assess the impact of patients' age on the value of angles of radiographic pelvic inlet and outlet views to fix sacral fractures with cannulated screws.

METHODS

A retrospective study enrolled 106 patients admitted to the Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine with a radiologically confirmed horizontally unstable fracture of the sacrum from anteroposterior and lateral compression (61B1-3 according to the AO/OTA 2018 classification [15]). Patients with vertical pelvic instability (61C according to the AO/OTA 2018 classification), lumbosacral joint ruptures, fracture dislocations of the bases of the iliac bones, as well as U-, H- and Y-shaped fractures of the sacrum (the so-called jumper's fractures) were not included in the study.

The study was carried out from January 2021 to December 2023. All patients underwent preoperative CT examination of the pelvis in the supine position. Data processing and measurements were performed in the image archiving and communication system (ClearCanvas DICOM Viewer) using the RadiAnt DICOM Viewer software.

Plotting and measurement of the necessary angles were performed using the reconstructed CT scans in the sagittal view. The true inlet angle was plotted with the apex on the S2-S3 intervertebral disc along the anterior surface, with the ray coinciding with the vertical line drawn to the horizontal surface of the table on which the patient was lying, and the ray connecting the apex of the angle and the anterior edge of the promontory (Fig. 1 a). The super-inlet angle was plotted with the apex of the angle on the S2-S3 intervertebral disc on the posterior surface, with the ray coinciding with the vertical line drawn to the horizontal surface of the table on which the patient was lying, and the ray lying on the posterior surface of the S1-S2 sacral vertebrae (Fig. 1 b).

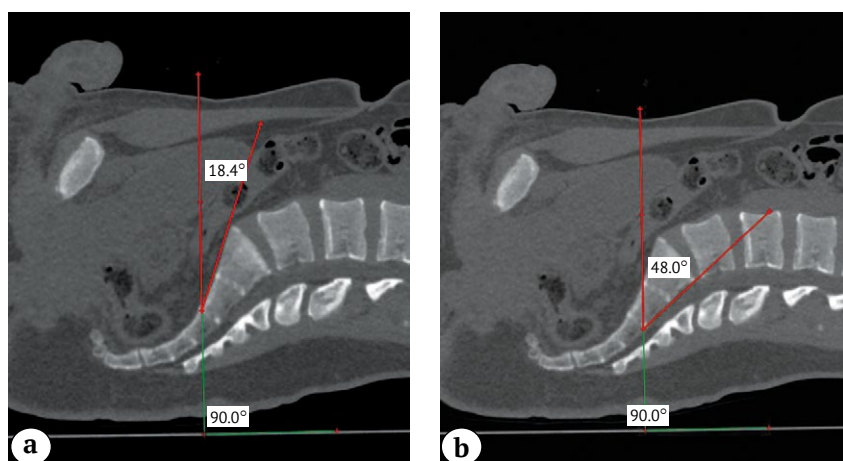


Fig. 1. True inlet pelvic angle (a); super-inlet pelvic angle (b)

The S1 outlet angle was plotted with the apex at the midpoint of the superior margin of the S1 sacral foramen, with the ray coinciding with the vertical line drawn to the horizontal surface of the table on which the patient was lying, and the ray connecting the apex of the angle and the superior edge of the pubic bone (Fig. 2 a). The S2 outlet angle was plotted with the apex at the midpoint of the superior margin of the S2 sacral foramen, with the ray coinciding with the vertical line drawn to the horizontal surface of the table on which the patient was lying, and the ray connecting the apex of the angle and the superior edge of the pubic bone (Fig. 2 b).

The sacral concavity angle was plotted with the apex on the S1-S2 intervertebral disc along the anterior surface, with the ray coinciding with the anterior surface of the S1 sacral vertebra, and the ray coinciding with the anterior surface of the S2 sacral vertebra (Fig. 3 a).

The promontory angle was plotted with the apex at the antero-superior edge of the S1 vertebra, with the ray lying on its anterior

surface, and the ray lying on the anterior surface of the L5 lumbar vertebra (Fig. 3 b).

The pelvic outlet angle was plotted with the apex on the S2-S3 intervertebral disc on its anterior surface, with the ray lying on the anterior surface of the S1-S2 sacral vertebrae, and the ray connecting the apex of the angle and the upper edge of the symphysis (Fig. 4 a). The ABC angle for determining the upper sacral dysmorphism was plotted with the apex on the outer wall of the iliac bone base, with the ray that passed as close as possible and parallel to the upper edge of the S1 vertebra without extending beyond it, and the ray connecting the apex of the angle and the upper edge of the contralateral S1 sacral foramen. The measurement of the optimal angle of dysmorphism was performed using the dimensions of the largest pelvis from the entire sample. Taking into account that the largest constrictions in the bone corridors are at the level of the sacral foramen, we measured the length of the AB cathetus of the ABC right triangle (Fig. 4 b).

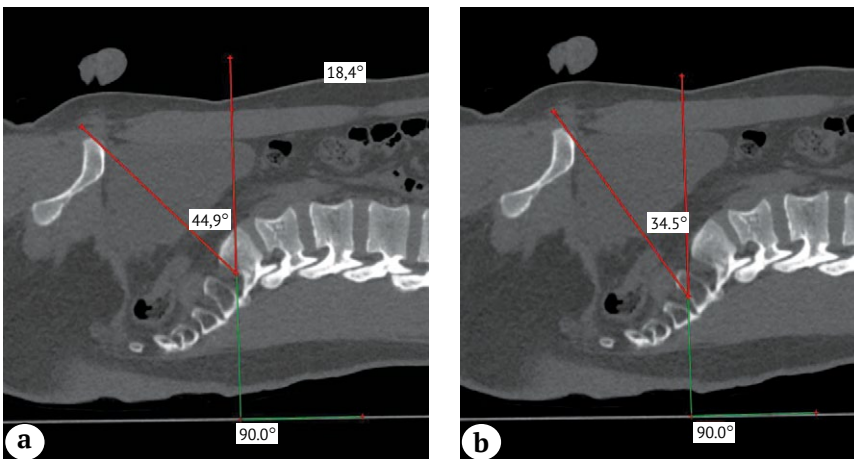


Fig. 2. S1 outlet view angle (a); S2 outlet view angle (b)

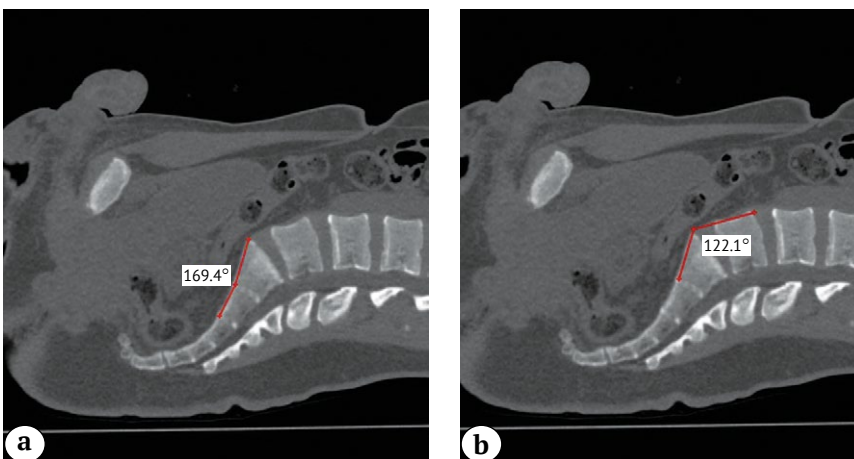


Fig. 3. Sacral concavity angle (a), promontory angle (b)

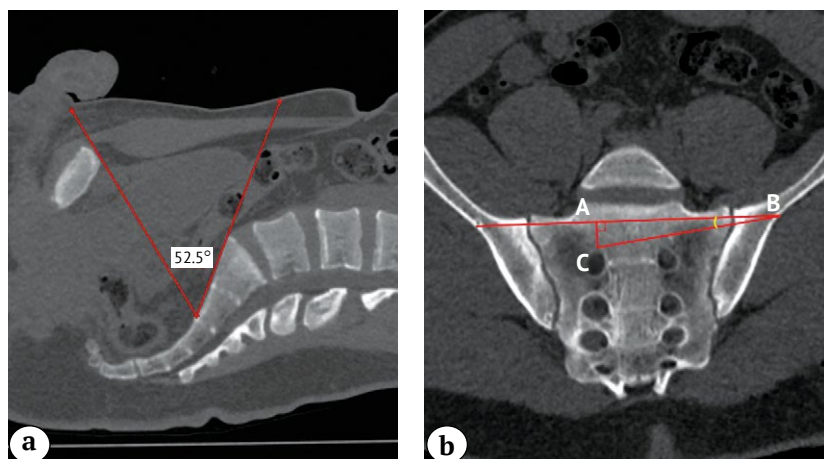


Fig. 4. Pelvic outlet angle (a); construction of the triangle for identifying the angle of dysmorphism of the upper sacrum in S1 (b)

Since we assumed that the optimal diameter of the bone corridor was 10 mm, it would determine the length of the AC cathetus. We applied the obtained data to the formula for calculating the angles in the right triangle:

$$\operatorname{tg}(\text{ABC angle}) \frac{AC}{AB} = \frac{10 \text{ mm}}{114 \text{ mm}} = 5.013^\circ.$$

The angle of less than 5° was considered a CT sign of surgical dysmorphism.

Osteosynthesis of sacral fractures was performed minimally invasively in the supine position. The surgical field was showered with antiseptics, and the patient was covered with sterile drapes according to the internal protocol. Regional or combined anesthesia with mechanical ventilation and myorelaxants was used. Osteosynthesis of the sacrum was performed with full-threaded 6.5 mm cannulated screws (NPO “Implant-N”, Russia) and 2.5 mm guiding wires with threaded tip (AO “Osteomed”, Russia) using the free-hand technique. A C-arm (Siemens Arcadis Varic, Healthineers AG, Germany) was used for X-ray control during the osteosynthesis. We applied iliosacral and transsacral methods of screw insertion through the sacrum depending on its morphological type. In case of a normal one, the transsacral screws were placed at the level of the S1 bone corridor. In case of a sacral dysmorphism, the transsacral screws were inserted at the level of S2, and the iliosacral screws were placed at the level of S1 with an individual angle in the coronal and axial planes. To tilt the sacrum anteriorly, a lumbar roller was used to form excessive lordosis. To tilt the sacrum posteriorly, a roller was placed under the coccyx to flatten the lordosis in the lumbar region of the spine. The resulting extension of

the trunk by raising the pelvis above the table allows to increase the inclination of the C-arm orbit to visualize the pelvic outlet view. To measure the angles before and after the sacral tilt correction, we digitally saved the C-arm images and then calculated the corresponding angles on the computer.

Statistical analysis

The measurement values obtained were statistically processed using parametric and nonparametric tests in IBM SPSS Statistics 27 software. Quantitative variables were evaluated for conformity to normal distribution. The Shapiro-Wilk test was used for this purpose (with the number of observations less than 50) or the Kolmogorov-Smirnov test (with the number of observations more than 50). Quantitative variables with distribution different from normal were described using the median (Me) and lower and upper quartiles [Q1-Q3]. The Mann-Whitney U-test was used to compare independent samples if they did not follow the normal distribution of data. The Kruskal-Wallis test was used to compare multiple samples of non-normally distributed quantitative variables. We used the nonparametric Spearman's rank correlation coefficient to study the correlation between the events described by quantitative variables with non-normal distribution. The strength of correlation was assessed using the Chaddock scale (ρ). Paired or multiple linear regression was used to elaborate a predictive model describing the dependence of a quantitative variable on factors also represented by quantitative variables. The ROC-curve analysis was used to assess the diagnostic significance of quantitative variables in predicting a certain outcome, including the

probability of the outcome, calculated using the regression model. A two-step cluster analysis was used to put patients into groups based on the similarity of their measured parameters.

RESULTS

The study group included 59 women (55.7%) and 47 men (44.3%). The mean age was 52.6±22.3 years (95% CI: 48.3-56.9 years).

The mechanism of injury and characteristics of pelvic ring injuries are shown in Table 1.

The mean time to surgery was 4.9 days (min – 1, max – 28). Osteosynthesis of the pubic bones with locking nails was performed in 37 (35%) patients. Open reduction and internal fixation of the symphysis rupture with a plate were performed in 12 (11.3%) patients.

As a result of the two-step cluster analysis, two clusters were determined in the structure of the studied sample. The share of the first cluster in the total structure amounted to 60.4%, of the second cluster – 39.6%. The silhouette value of cohesion and separation amounted to 0.3, which corresponds to an average quality of clusters. The results of comparison of the obtained clusters by the studied parameters are presented in Table 2.

In patients of the first diagnostic related group (first cluster N₁), the mean age was significantly lower than in patients of the second diagnostic related group (second cluster N₂): the values were 41.6±18.7 and 69.2±16.1 years, respectively. Statistically significant differences (p<0.001) were found upon comparison of the variables using Student's t-test.

The values of sacral concavity angles, true inlet angles, super-inlet angles, S1 and S2 outlet angles, promontory angles, and pelvic outlet angles were compared using the Mann-Whitney U-test. Statistically significant differences were found for promontory angles with p=0.003 and for all other angles with p<0.001.

The correlation between the age and the pelvic outlet angle, assessed using Spearman's rank correlation coefficient, is statistically significant (p<0.001). A statistically significant negative correlation between the pelvic outlet angle and the age of the patients was found (ρ = 0.559; p<0.001): as the age of the patient increased, the pelvic outlet angle decreased. The correlation was of moderate strength according to the Chaddock scale.

Table 1
Mechanism of injury and characteristics of pelvic ring injuries

Parameter	n (%)
Mechanism of injury	
Traffic accident (driver)	22 (21)
Traffic accident (pedestrian)	31 (29)
Falling on the side from a ground standing position	48 (45)
Other mechanism	5 (5)
AO/OTA classification (2018)	
61 B1	38 (36)
61 B2	51 (48)
61 B3	17 (16)

Table 2

Data for comparison between clusters

Parameter	Cluster 1 N ₁ = 64	Cluster 2 N ₂ = 42	p
Age, years old, M±SD	41.6±18.7	69.2±16.1	<0.001*
Sacral concavity angle, deg., M±SD	174.8±10.5	152.1±38.2	<0.001*
True inlet angle, deg., Me [IQR]	27.2 [23.2-32.2]	18.2 [11.4-26.6]	<0.001*
Super-inlet angle, deg., Me [IQR]	42.5 [39.3-47.8]	36.2 [28.7-42.8]	<0.001*
S1 outlet angle, deg., Me [IQR]	51.8 [48.9-56.5]	46.8 [43.1-50.2]	<0.001*
S2 outlet angle, deg., Me [IQR]	40.8 [37.3-44.6]	35.7 [30.9-38.6]	<0.001*
Promontory angle, deg., Me [IQR]	128.1 [123.3-133.2]	122.1 [115.6-129.3]	0.003*
Pelvic outlet angle, deg., Me [IQR]	62.6 [58.4-69.6]	50.3 [45.9-53.5]	<0.001*

* – differences are statistically significant (p<0.05).

Paired linear regression was used to determine the relationship between the pelvic outlet angle and the age. The relationship observed is described by the equation:

$$Y = 72.1 - 0.26 \times X,$$

where Y – pelvic outlet angle (deg.); X – age (years old).

A 1-year increase in age should be expected to decrease the pelvic outlet angle by 0.26° (every 10 years should be expected to decrease the pelvic outlet angle from the initial one by 2.6°). The correlation between the age and the pelvic tilt angle was negative, moderate (Chaddock scale), and statistically significant ($\rho = 0.534$; $p < 0.001$). The factors included in the model determined 28.5% of the variance of age (Fig. 5).

ROC analysis was used to determine the relationship between the prediction of potential

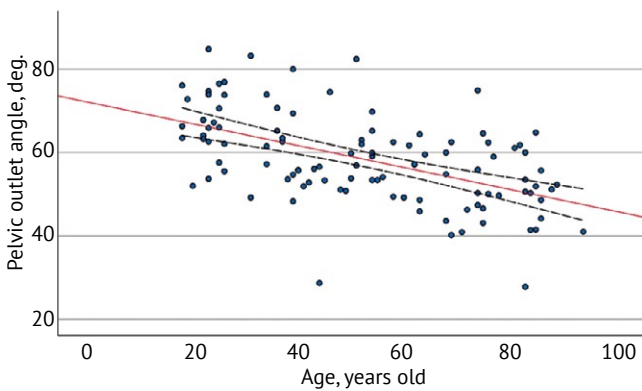


Fig. 5. Scatter diagram characterizing the correlation between pelvic outlet angle and age with approximating curve and lines [95% CI]

difficulties with visualization of the S1 and S2 outlet view during surgery and the angle of true inlet by CT. The area under the ROC curve was 0.992 ± 0.060 (95% CI: 0.98-1.00). The threshold value of the angle of the true inlet by CT at the cut-off point was 14.45° . A true inlet angle equal to or less than this value predicted a high risk of difficulty in visualizing the S1 and S2 outlet view during surgery. The sensitivity and specificity of the method were 94% and 98%, respectively (Fig. 6).

For a more detailed statistical analysis of the estimated quality of the model, we calculated the magnitude of type I and type II errors (Table 3).

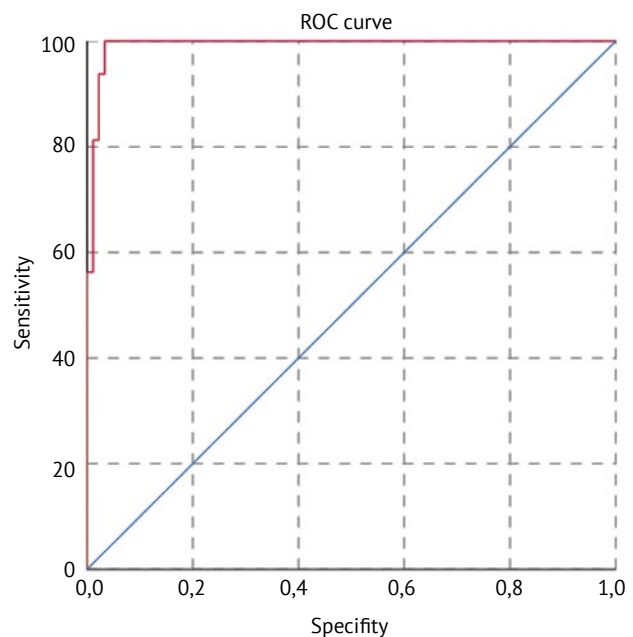


Fig. 6. ROC curve analysis of the assessment of diagnostic value of the outcome

Table 3

Assessment of model quality using fourfold table

Actual outcome	Predicted outcome	
	Yes (1; true inlet angle $> 14.45^\circ$)	No (0; true inlet angle $< 14.45^\circ$)
Yes (1)	TP 15	FN 1
No (0)	FP 2	TN 88

When analyzing the fourfold table, we obtained the values of the following parameters:

$$\begin{aligned} \text{Se} &= \frac{\text{TP}}{(\text{TP}+\text{FN})} = \frac{15}{(15+1)} = 0,94 & \text{Sp} &= \frac{\text{TN}}{(\text{TN}+\text{FP})} = \frac{88}{(88+2)} = 0.98 \\ \text{PPV} &= \frac{\text{TP}}{(\text{TP}+\text{FP})} = \frac{15}{(15+2)} = 0,88 & \text{NPV} &= \frac{\text{TN}}{(\text{TN}+\text{FN})} = \frac{88}{(88+1)} = 0.99 \\ \text{Diagnostic efficiency} &= \frac{(\text{TP}+\text{TN})}{\text{N}} = \frac{(15+88)}{106} = 0.97, \end{aligned}$$

where Se — the sensitivity of the method; Sp — the specificity of the method; TP — true-positive result; TN — true-negative result; FN — false-negative result; FP — false-positive result; PPV — positive predictive value; NPV — negative predictive value; N — the number of measurements.

After correction of the pelvic position on the operating table, a posterior sacral tilt different from the initial one was noted in all cases ($n = 16$). The median difference between the angles before and after correction of the anterior sacral tilt by placing a roller under the coccyx was 9.4° [7.8-11 $^\circ$].

DISCUSSION

Standard inlet, outlet and lateral views are usually used to examine the posterior pelvis [16, 17, 18]. Obtaining high-quality intraoperative images, along with the ability to correctly interpret pelvic radiographic landmarks and their correlation with anatomical structures, are extremely important [19, 20, 21].

Anatomical variability of the pelvis has been well described in the literature [11, 13, 22]. Traditionally, inlet and outlet views were obtained by directing the ray at the 45° angle caudally and 45° cranially from the vertical line [14, 23, 24]. This position has evolved over time, and several studies have since shown that the angles required to obtain inlet and outlet views differ significantly [14, 22]. M.L. Graves and M.L. Routt in their study identified ideal angles for radiographic inlet and outlet views: 25° (21-33 $^\circ$) and 42° (30-50 $^\circ$), respectively [22]. In our study, we got similar values: the true inlet view averaged 25° (18-31 $^\circ$) and the S1 outlet view averaged 50° (46-54 $^\circ$).

Obtaining clear intraoperative X-rays is challenging in patients with obesity and osteoporosis. A.N. Miller and M.L. Routt have found that excessive fat density associated with morbid obesity and senile osteoporosis make

the visualization of pelvic bone landmarks much more complicated [25]. Preoperative CT allows to assess the individual position of each patient's sacrum and helps the surgeon to correctly position the C-arm in the operating room, which will ultimately contribute to a safe hardware implantation.

In addition, we have noted some technical difficulties in obtaining the outlet view in patients with a pronounced anterior tilt of the sacrum. When the C-arm orbit is tilted caudally, its X-ray detector (especially if it is flat and with a large diagonal) rests on the patient's lower extremities, thus making it impossible to achieve a correct outlet view due to insufficient angle of the orbit boom. This can be corrected by placing a roller under the sacrum. A roller placed under the lumbar spine increases lordosis and tilts the sacrum anteriorly. By placing the roller under the coccyx area, the sacrum can be tilted posteriorly by flattening the lordosis. Moreover, extending the lower limbs by lifting the pelvis above the table increases the inclination of the C-arm orbit. By applying rollers of different heights, it is possible to change the sacral angle to 20° [26]. In our study, we obtained lower values: the median value of the sacral angle from the initial state was 9.4° [7.8-11.0 $^\circ$]. Nevertheless, this manipulation helped to achieve correct pelvic outlet views in all cases ($n = 16$).

One more problem concerning correct placement of cannulated screws is the presence of the upper sacral dysmorphism. It is determined by the absence of a bone corridor of sufficient width for insertion of a transverse transsacral screw [4, 11, 27]. D.G. Bliznets et al.

suggest using five morphotypes of the sacrum depending on how many transsacral screws can be placed in one sacral vertebra: four-corridor, three-corridor, two-corridor, one-corridor, and no-corridor [11]. From our point of view, of all the variety of transitional forms, only two are of practical interest to us: those where one transsacral screw can or cannot be inserted through the S1 vertebra. If the screw cannot be inserted, this is a criterion for the so-called surgical dysmorphism. If otherwise, we consider the upper sacrum as a variant of normal.

Various ways of detecting the surgical dysmorphism by orthogonal views have been proposed in the literature [11]. Instead of these cumbersome calculations, we propose to determine just one angle from a single reconstructed oblique-horizontal view. In our opinion, a bone corridor is an imaginary cylinder with a diameter of at least 10 mm that passes through the sacrum through both bases of the iliac bones while not affecting the sacral foramen and the sacral canal. Empirically, we have found that such corridor is optimally sized for insertion of standard 6.5 and 7.3 mm cannulated screws. A bone corridor of less than 1 cm in diameter was associated with a high risk of sacral foramen or sacral canal damage. Thus, in our study, we diagnosed surgical dysmorphism of the upper sacrum in 16 (15%) patients. This anatomical feature had no correlation with the sex of the patients. If necessary, transsacral screws were inserted in such patients at the level of the S2 bone corridor.

CONCLUSIONS

We have revealed a statistically significant increase in the anterior sacral angle with the age increase. The average age of 69.2 years and older is a risk factor for a difficult verification of the outlet view in the supine position. A decrease in pelvic outlet angle of 0.26° should be expected with an increase in age by 1 year.

Radiographic pelvic inlet and outlet angles are in a wide range, so we recommend performing a preoperative pelvic CT scan to determine them in each patient individually. This information will help to achieve correct views using the C-arm in the operating room, especially in patients with obesity, excessive intestinal pneumatization, and senile osteoporosis.

If the true inlet angle is equal to or less than 14.45° in CT scans, there is a high risk of difficulties in visualizing the S1 and S2 outlet views during surgery, which requires placing a roller under the coccyx to tilt the sacrum posteriorly.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

REFERENCES

1. Nork S.E., Jones C.B., Harding S.P., Mirza S.K., Routt M.L.C. Percutaneous stabilization of U-shaped sacral fractures using iliosacral screws: Technique and early results. *J Orthop Trauma*. 2001;15(4):238-246. doi: 10.1097/00005131-200105000-00002.
2. Routt M.L. Jr., Simonian P.T. Closed reduction and percutaneous skeletal fixation of sacral fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(329):121-128. doi: 10.1097/00003086-199608000-00015.
3. Kavalerskii G.M., Donchenko S.V., Slinyakov A.Yu., Chernyaev A.V. Minimally invasive fixation of the sacroiliac joint with screws. *The Department of Traumatology and Orthopedics*. 2014;1:5-6. (In Russian).
4. Runkov A.V., Bliznets D.G., Bogatkin A.A. Little-invasive fixation of posterior pelvic injuries. *Genij Ortopedii*. 2013;2(2):10-15. (In Russian).
5. Bishop J.A., Routt M.L. Jr. Osseous fixation pathways in pelvic and acetabular fracture surgery: osteology, radiology, and clinical applications. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;72(6):1502-1509. doi: 10.1097/TA.0b013e318246efe5.
6. Eidlina E.M., Runkov A.V., Shlykov I.L., Kuznetsova N.L. Standardization of X-ray study for pelvic injury. 2012;(6):25-29. (In Russian).
7. Conflitti J.M., Graves M.L., Chip Routt M.L. Jr. Radiographic quantification and analysis of dysmorphic upper sacral osseous anatomy and associated iliosacral screw insertions. *J Orthop Trauma*. 2010;24(10):630-636. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181dc50cd.
8. Farrell E.D., Gardner M.J., Krieg J.C., Chip Routt M.L. Jr. The upper sacral nerve root tunnel: an anatomic and clinical study. *J Orthop Trauma*. 2009;23(5):333-339. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181a2e419.
9. Barber L.A., Katsuura Y., Qureshi S. Sacral fractures: A Review. *HSS J*. 2023;19(2):234-246. doi: 10.1177/15563316221129607.
10. Gardner M.J., Morshed S., Nork S.E., Ricci W.M., Chip Routt M.L. Jr. Quantification of the upper and second sacral segment safe zones in normal and dysmorphic sacra. *J Orthop Trauma*. 2010;24(10):622-629. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181cf0404.

11. Bliznets D.G., Runkov A.V., Shlykov I.L. Prevention of complications of fixation of the posterior parts of the pelvis with iliosacral screws. Ekaterinburg; 2023. p. 41-42. (In Russian).
12. Bondarenko A.V., Kruglykhin I.V., Plotnikov I.A., Talashkevich M.N. Minimally invasive osteosynthesis of pelvic ring injuries with polytrauma. *Polytrauma*. 2018;(4):37-45.
13. Ziran B.H., Wasan A.D., Marks D.M., Olson S.A., Chapman M.W. Fluoroscopic imaging guides of the posterior pelvis pertaining to iliosacral screw placement. *J Trauma*. 2007;62(2):347-356. doi: 10.1097/01.ta.0000229789.18211.85.
14. Ricci W.M., Mamczak C., Tynan M., Streubel P., Gardner M. Pelvic inlet and outlet radiographs redefined. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(10):1947-1953. doi: 10.2106/JBJS.I.01580.
15. Meinberg E.G., Agel J., Roberts C.S., Karam M.D., Kellam J.F. Fracture and dislocation classification compendium-2018. *J Orthop Trauma*. 2018;32 Suppl 1: S1-S170. doi: 10.1097/BOT.0000000000001063.
16. Moed B., Kellam J., McLaren A., Tile M. Internal fixation for the injured pelvic ring. In: *Fractures of the pelvis and acetabulum*. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 217-292.
17. Zwingmann J., Konrad G., Mehlhorn A.T., Südkamp N.P., Oberst M. Percutaneous iliosacral screw insertion: malpositioning and revision rate of screws with regards to application technique (Navigated vs. Conventional). *J Trauma*. 2010;69(6):1501-1506. doi: 10.1097/TA.0b013e3181d862db.
18. Collinge C., Coons D., Tornetta P., Aschenbrenner J. Standard multiplanar fluoroscopy versus a fluoroscopically based navigation system for the percutaneous insertion of iliosacral screws: a cadaver model. *J Orthop Trauma*. 2005;19(4):254-258. doi: 10.1097/01.bot.0000151821.79827.fb.
19. Routt M., Simonian P. Posterior pelvic ring disruptions: iliosacral screws. In: *Master techniques in orthopaedic surgery*. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998. p. 595-612.
20. Xu R., Ebraheim N.A., Robke J., Yeasting R.A. Radiologic evaluation of iliosacral screw placement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(5):582-588. doi: 10.1097/00007632-199603010-00010.
21. Day C.S., Prayson M.J., Shuler T.E., Towers J., Gruen G.S. Transsacral versus modified pelvic landmarks for percutaneous iliosacral screw placement – a computed tomographic analysis and cadaveric study. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2000;29(9 Suppl):16-21.
22. Graves M.L., Routt M.L. Jr. Iliosacral screw placement: are uniplanar changes realistic based on standard fluoroscopic imaging? *J Trauma*. 2011;71(1):204-208. doi: 10.1097/TA.0b013e31821e842a.
23. Mostafavi H.R., Tornetta P. 3rd. Radiologic evaluation of the pelvis. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(329):6-14. doi: 10.1097/00003086-199608000-00003.
24. Pennal G.F., Sutherland G.O. Fractures of the pelvis (motion picture). Park Tidge: American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) Film Library; 1961.
25. Miller A.N., Routt M.L. Jr. Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20(1):8-16. doi: 10.5435/JAAOS-20-01-008.
26. Eastman J.G., Routt M.L. Jr. Correlating preoperative imaging with intraoperative fluoroscopy in iliosacral screw placement. *J Orthop Traumatol*. 2015;16(4):309-316. doi: 10.1007/s10195-015-0363-x.
27. Khadzhiev Z.B., Grin A.A. Diagnosis, surgical and conservative treatment of unstable sacral fractures (literature review). *Russian journal of neurosurgery*. 2023;25(1):103-112. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2023-25-1-103-112.

Authors' information

✉ Nikita N. Zadneprovskiy — Cand. Sci. (Med.)

Address: 3, Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow, 129090, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4432-9022>

e-mail: zacuta2011@gmail.com

Faat A. Scharifullin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7483-7899>

e-mail: drfaat@narod.ru

Alexander I. Zhukov

<https://orcid.org/0000-0001-6926-6497>

e-mail: ZhukovAI@sklif.mos.ru

Tatyana G. Barmina

<https://orcid.org/0000-0002-2690-7378>

e-mail: barminat@inbox.ru

Pavel A. Ivanov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-2954-6985>

e-mail: ipamailbox@gmail.com



Среднесрочные результаты одноэтапной ревизионной реконструкции передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата из сухожилия длинной малоберцовой мышцы

А.С. Гофер, А.А. Алекперов, М.Б. Гуражев, А.К. Авдеев, В.Л. Лукинов,
Д.В. Рубцов, В.В. Павлов, А.А. Корыткин

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

Реферат

Актуальность. Результаты ревизионной реконструкции передней крестообразной связки (ПКС) в большинстве случаев уступают первичной пластике ПКС. На положительный исход ревизионного вмешательства существенно влияют следующие факторы: анатомичное позиционирование костных каналов, корректный выбор, обработка и метод фиксации трансплантата, а также адекватное определение показаний к выполнению дополнительных внесуставных вмешательств.

Цель исследования — оценка среднесрочных результатов одноэтапной ревизионной реконструкции передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата из сухожилия длинной малоберцовой мышцы и сравнение с результатами первичной реконструкции передней крестообразной связки.

Материал и методы. Проведен сравнительный анализ результатов лечения пациентов группы RACL-PLT ($n = 29$) (revision ACL reconstruction), которым была выполнена одноэтапная ревизионная реконструкция ПКС с использованием ауто трансплантата из сухожилия длинной малоберцовой мышцы, и группы RACL-HT (primary ACL reconstruction) ($n = 82$), которым была выполнена первичная реконструкция ПКС с использованием трансплантата из сухожилий подколенных сгибателей голени. Проводилась субъективная и объективная оценка по шкалам KOOS, IKDC и Lysholm, а в группе RACL-PLT определялось положение входов в первичные и ревизионные каналы.

Результаты. Статистически значимых различий в результатах объективной оценки стабильности коленного сустава между группами выявлено не было ($p > 0,999$). Статистически значимо лучшие результаты субъективной оценки функции КС по шкалам Lysholm, KOOS и IKDC получены в группе RACL-HT ($p < 0,001$). Положение входов в ревизионные каналы соответствовало нормативным значениям во всех случаях.

Заключение. Анализ применения ауто трансплантата РЛТ в качестве ревизионного, а также достижение анатомичного положения ревизионных каналов показал, что через 12 мес. после оперативного вмешательства результаты объективной оценки в группах ревизионной и первичной пластики ПКС сопоставимы, а результаты субъективной оценки статистически значимо отличаются, однако различия в показателях не достигают минимальной клинически значимой разницы.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, ревизионная реконструкция ПКС, артроскопия, ауто трансплантат.

Для цитирования: Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Лукинов В.Л., Рубцов Д.В., Павлов В.В., Корыткин А.А. Среднесрочные результаты одноэтапной ревизионной реконструкции передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата из сухожилия длинной малоберцовой мышцы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):82-96. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17520>.

Гофер Антон Сергеевич; e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Рукопись получена: 04.04.2024. Рукопись одобрена: 13.05.2024. Статья опубликована онлайн: 04.06.2024.

© Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Лукинов В.Л., Рубцов Д.В., Павлов В.В., Корыткин А.А., 2024



Peroneus Longus Tendon Autograft for One-Stage Revision ACL Reconstruction: Mid-Term Results

Anton S. Gofer, Aleksandr A. Alekperov, Mikhail B. Gurazhev, Artem K. Avdeev, Vitaliy L. Lukinov, Dmitriy V. Rubtsov, Vitaliy V. Pavlov, Andrey A. Korytkin

Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. The results of revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) are usually worse than the primary ACLR. The positive outcome of the revision ACLR is significantly influenced by the following factors: anatomical position of bone tunnels, correct choice of graft, its preparation and fixation method. Equally important is to choose the accurate indications for additional extraarticular interventions.

The aim of the study is to evaluate the role of a peroneus longus tendon (PLT) autograft in one-stage revision ACL reconstruction and to compare the obtained data with the results of primary ACLR.

Methods. The comparison was carried out between the RACL-PLT group (n = 29) and the PACL-HT group (n = 82), which underwent single-stage revision ACLR with a PLT autograft and primary ACLR with a hamstring tendons (HT) autograft, respectively. Subjective and objective evaluation was performed on the KOOS, IKDC, and Lysholm Knee scales. Also, in the RACL-PLT group, the position of the central entry points into the primary and revision tunnels was determined.

Results. We observed no statistically significant differences during the objective assessment of knee joint stability between the groups ($p > 0.999$). During the subjective assessment on the KOOS, IKDC and Lysholm Knee scales, significantly higher results were obtained in the PACL-HT group ($p < 0.001$). The position of the central entry points into the revision tunnels corresponded to the normative values in all cases.

Conclusions. The analysis of the use of a PLT autograft in revision ACLR, as well as the achievement of the anatomical position of the revision tunnels showed: 12 months after surgery, the results of an objective assessment between the revision and primary ACLR are comparable; the results of a subjective assessment are statistically significantly different. However, the differences in indicators do not reach a minimal clinically important difference.

Keywords: anterior cruciate ligament, arthroscopy, revision ACL reconstruction, autograft.

Cite as: Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Lukinov V.L., Rubtsov D.V., Pavlov V.V., Korytkin A.A. Peroneus Longus Tendon Autograft for One-Stage Revision ACL Reconstruction: Mid-Term Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):82-96. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17520>.

✉ Anton S. Gofer; e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Submitted: 04.04.2024. Accepted: 13.05.2024. Published Online: 04.06.2024.

© Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Lukinov V.L., Rubtsov D.V., Pavlov V.V., Korytkin A.A., 2024

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) становится все более распространенным ортопедическим оперативным вмешательством в связи с ростом количества травматических повреждений связочного аппарата коленного сустава (КС) вследствие повышения уровня спортивной и повседневной активности среди людей трудоспособного возраста [1, 2, 3]. Несмотря на постоянное совершенствование хирургических подходов к первичному восстановлению ПКС, частота ревизионных реконструкций продолжает расти и, по данным разных авторов, может составлять до 25% [4, 5, 6]. Это связано с множеством факторов риска развития первичной несостоятельности трансплантата ПКС, которые нередко не учитываются хирургами как при предоперационном планировании, так и непосредственно во время операции [7].

Ревизионная реконструкция ПКС в большинстве случаев не позволяет получить результаты, сопоставимые с первичной пластикой ПКС [8, 9]. Тем не менее на сегодняшний день определены основные факторы, которые существенно влияют на исход ревизионного вмешательства и приближают его результаты к первичной реконструкции ПКС: анатомичное позиционирование костных каналов; корректный выбор, обработка и метод фиксации трансплантата, а также адекватное определение показаний к выполнению дополнительных внесуставных вмешательств [10, 11, 12, 13, 14].

Основная сложность выполнения ревизионной реконструкции ПКС заключается в сочетании двух факторов: необходимости формирования анатомичных ревизионных каналов и наличия первичных костных каналов со своими размерными характеристиками, направлением и положением внутрисуставных входов в них, которые могут иметь анатомичное, неанатомичное или частично анатомичное положение. Важно отметить, что трудности предоперационного планирования возникают как раз при частично анатомичной позиции первичных каналов, так как, во-первых, их невозможно использовать во время ревизии, а во-вторых, существует высокий риск интраоперационного слияния имеющихся и планируемых каналов [15].

Одним из главных факторов, который позволяет улучшить результаты ревизионного вмешательства, является выбор оптимального трансплантата. Современные научные исследования свидетельствуют о преимуществах использования аутологичных трансплантатов, так как они общедоступны и обладают прогнозируемыми результатами [7, 10]. При ревизионных вмешательствах наименее изученным аутоотрансплантатом является сухожилие длинной малоберцовой мышцы (PLT).

Однако в последние годы опубликовано немало работ, в которых показано, что использование PLT позволяет улучшить результаты первичной реконструкции ПКС в сравнении с другими аутоотрансплантатами [16, 17].

Отсутствие единой точки зрения на причины неудовлетворительных исходов ревизионной реконструкции ПКС и наличие разногласий по поводу оптимального ревизионного трансплантата послужили поводом оценить клинические результаты одноэтапной ревизионной реконструкции ПКС с использованием аутоотрансплантата PLT и сравнить их с результатами первичной аутопластики ПКС.

Цель исследования — оценка среднесрочных результатов одноэтапной ревизионной реконструкции с использованием аутоотрансплантата PLT и сравнение с результатами первичной реконструкции передней крестообразной связки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — проспективное когортное сравнительное одноцентровое нерандомизированное.

Проведен анализ результатов оперативного лечения 33 пациентов, которым была выполнена одноэтапная ревизионная реконструкция ПКС, и 88 пациентов, которым проводилось первичное восстановление ПКС в клинике ФГБУ «ННИИТО им. Я. Л. Цивьяна» в период с 2019 по 2022 г.

Учитывая критерии включения, исключения и исключения, для проведения сравнительного анализа было выделено две группы пациентов. В группу RACL-PLT (revision ACL reconstruction) вошли 29 пациентов, которым была выполнена одноэтапная ревизионная реконструкция ПКС с использованием аутоотрансплантата PLT. В группу сравнения RACL-HT (primary ACL reconstruction) включили 82 пациента, которым была выполнена первичная реконструкция ПКС с использованием аутоотрансплантата из сухожилий полусухожильной (ST) и тонкой мышц (G) — HT (ST+G) (hamstring tendons).

Критерием включения в группу RACL-PLT являлась выявленная первичная несостоятельность трансплантата ПКС.

Критерием включения в группу RACL-HT являлся изолированный разрыв ПКС.

Критерии исключения для обеих групп: мультилигаментарное повреждение коленного сустава (КС), остеоартроз КС 2–3 ст., вальгусная и/или варусная деформация коленного сустава ($>5^\circ$), повреждение медиального и/или латерального мениска по типу bucket handle tear или разрыв корня мениска. Дополнительные критерии исключения для группы RACL-PLT: передний наклон плато

большеберцовой кости ($>12^\circ$), двухэтапное ревизионное вмешательство.

Критерии исключения для обеих групп: повреждение контралатерального КС, отсутствие связи с пациентом, отказ пациента от участия в исследовании.

Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Методы оценки

Субъективная оценка функции оперированного КС в обеих группах пациентов до и через 12 мес. после оперативного вмешательства выполнялась с использованием специализированных балльных шкал оценки: IKDC, Lysholm и KOOS [18, 19, 20]. Показатель минимального клинически значимого различия (minimal clinically important difference — MCID) использовался для оценки полученных результатов. Оценка стабильности поврежденного КС в группах осуществлялась непосредственно перед операцией и через 12 мес. по протоколу IKDC (мануальные тесты Лахмана и pivot-shift). Функциональное состояние голеностопного сустава в группе RACL-PLT оценивалось по функциональной шкале AOFAS до и после операции [21].

Методы исследования

Для выявления повреждения ПКС в группе RACL-HT и подтверждения несостоятельности трансплантата ПКС в группе RACL-PLT проводилась оценка результатов МРТ-исследования. Предоперационное планирование ревизионного вмешательства в группе RACL-PLT осуществлялось согласно результатам МСКТ-исследования. Для определения наиболее анатомичной точки входа

в планируемый бедренный ревизионный канал использовался квадрантный метод, описанный М. Bernard с соавторами [22], а метод анатомических координатных осей [23] использовался для определения корректной точки входа в большеберцовый канал. При этом показатели координат планируемых центральных точек входа в каналы соответствовали общеизвестным данным о топографии анатомичного крепления нативной крестообразной связки к большеберцовой и бедренной костям [23]. Затем определялись диаметры внутрисуставных входов первичного и планируемого каналов, и в зависимости от полученных размерных характеристик выстраивались окружности на системе координат относительно полученных центральных точек входов в каналы, после чего оценивалось их взаиморасположение. Схематичное изображение взаиморасположения входов планируемого и первичного каналов для принятия решения о выполнении одноэтапной ревизии ПКС представлено на рисунках 2 и 3.

В зависимости от полученных данных выявлялись показания к выполнению одноэтапного оперативного вмешательства с помощью системы предоперационного планирования, которая представлена в таблице 1.

Таким образом, показаниями к одноэтапной ревизионной реконструкции ПКС являлись несовпадающие входы планируемого и первичного каналов или полностью совпадающие входы в каналы при условии, что диаметр первичного канала не превышал 10 мм. Двухэтапное вмешательство выполнялось во всех остальных вариантах взаиморасположения входов в каналы.

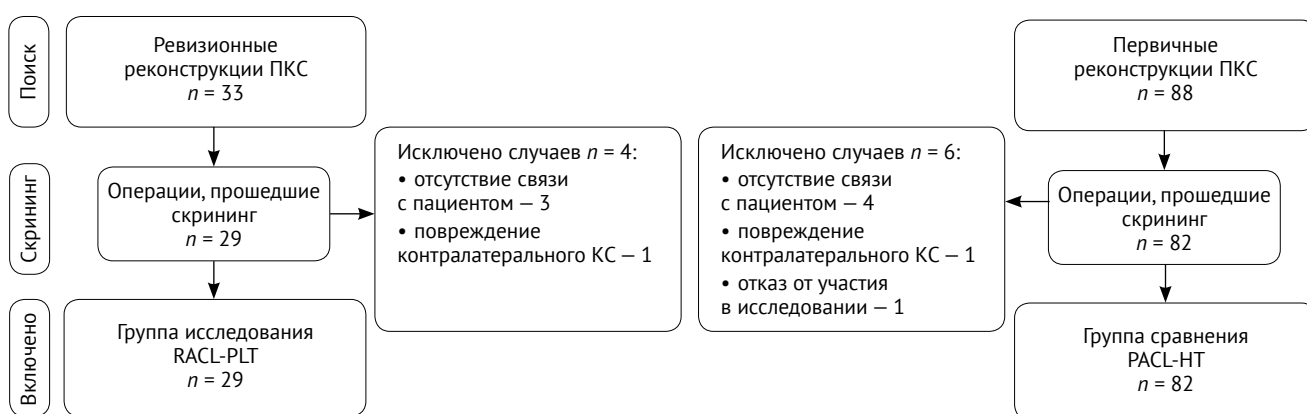


Рис. 1. Блок-схема дизайна исследования

Fig. 1. Flowchart of the study design

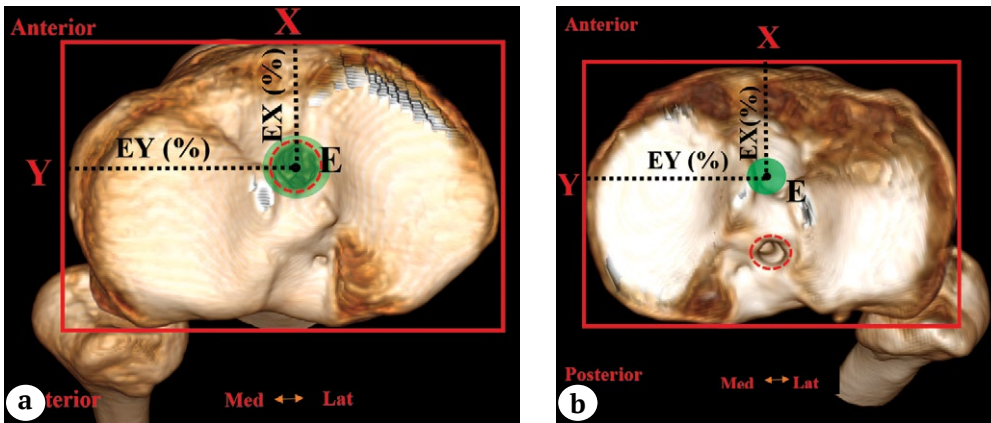


Рис. 2. Схематичное изображение взаиморасположения входов первичного и планируемого каналов в большеберцовой кости для принятия решения о выполнении одноэтапной ревизии ПКС:
 а — планируемый вход в ревизионный канал (отмечен зеленым цветом) полностью совпадает с входом в первичный канал (отмечен красным цветом), диаметр первичного канала не более 10 мм;
 б — планируемый вход в ревизионный канал (отмечен зеленым цветом) не совпадает с входом в первичный канал (отмечен красным цветом); E — положение центральной точки крепления нативной ПКС на большеберцовой кости по методу анатомических координатных осей; EX — расстояние от переднего края плато большеберцовой кости (43,8%); EY — расстояние от медиального края плато большеберцовой кости (48,9%)

Fig. 2. Schematic representation of the interposition of the entries into the primary and planned tunnels in the tibia to make a decision on performing a one-stage ACL revision:
 а — the planned entry into the revision tunnel (marked in green) completely coincides with the entry into the primary tunnel (marked in red), the diameter of the primary tunnel <10 mm;
 б — the planned entry into the revision tunnel (marked in green) does not coincide with the entry into the primary tunnel (marked in red); E — position of the central attachment point of the native ACL on the tibia using the method of anatomical coordinate axes; EX — distance from the anterior edge of the tibial plateau (43.8%); EY — distance from the medial edge of the tibial plateau (48.9%)

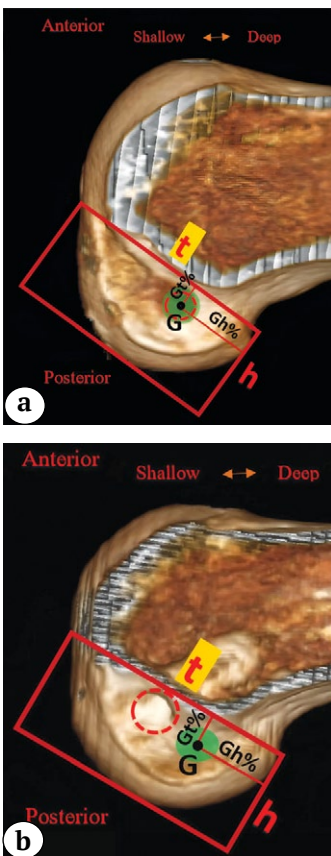


Рис. 3. Схематичное изображение взаиморасположения входов первичного и планируемого каналов бедренной кости для принятия решения о выполнении одноэтапной ревизии ПКС:

а — планируемый вход в ревизионный канал (отмечен зеленым цветом) полностью совпадает с входом в первичный канал (отмечен красным цветом), диаметр первичного канала не более 10 мм;
 б — планируемый вход в ревизионный канал (отмечен зеленым цветом) не совпадает с входом в первичный канал (отмечен красным цветом); G — положение центральной точки крепления нативной ПКС на бедренной кости по квадратному методу M. Bernard с соавторами [22]; Gh (%) — расстояние от наиболее глубокой точки медиального края латерального мыщелка бедренной кости (29,9%); Gt (%) — расстояние от линии Blumensaat (30,1%)

Fig. 3. Schematic representation of the interposition of the entries into the primary and planned femoral tunnels to make a decision on performing a one-stage ACL revision:
 а — the planned entry into the revision tunnel (marked in green) completely coincides with the entry into the primary tunnel (marked in red), the diameter of the primary tunnel <10 mm;
 б — the planned entry into the revision tunnel (marked in green) does not coincide with the entry into the primary tunnel (marked in red); G — position of the central attachment point of the native ACL on the femur according to the square method of M. Bernard et al. [22]; Gh (%) — distance from the deepest point of the medial edge of the lateral femoral condyle (29.9%); Gt (%) — distance from the Blumensaat's line (30.1%)

Таблица 1

Система выбора хирургической тактики ревизионной реконструкции ПКС при несостоятельности первичного трансплантата

Взаиморасположение входов планируемого и первичного большеберцового каналов	Взаиморасположение входов планируемого и первичного бедренного каналов			
	НСК (А)	ПСК + D ПБК ≤10 мм (В)	ЧСК (С)	ПСК + D ПБК >10 мм (D)
СК (Е)	Одноэтапная ревизия ПКС <i>Tun 1AE</i>	Одноэтапная ревизия ПКС <i>Tun 1BE</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика БК <i>Tun 2CE</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика БК <i>Tun 2DE</i>
ПСК + D ПБК ≤10 мм (F)	Одноэтапная ревизия ПКС <i>Tun 1AF</i>	Одноэтапная ревизия ПКС <i>Tun 1BF</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика БК <i>Tun 2CF</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика БК <i>Tun 2DF</i>
ЧСК (G)	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК <i>Tun 2AG</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК <i>Tun 2BG</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК и БК <i>Tun 2CG</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК и БК <i>Tun 2DG</i>
ПСК + D ПБК >10 мм (H)	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК <i>Tun 2AH</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК <i>Tun 2BH</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК и БК <i>Tun 2CH</i>	Двухэтапная ревизия ПКС Костная пластика ББК и БК <i>Tun 2DH</i>

НСК — несовпадающие входы в каналы; ПСК — полностью совпадающие входы первичного и планируемого каналов; D ПБК — диаметр первичного большеберцового канала; D ПБК — диаметр первичного бедренного канала; ЧСК — частично совпадающие входы первичного и планируемого каналов; ББК — большеберцовый канал; БК — бедренный канал.

Статистический анализ

Исследование непрерывных переменных на согласие с нормальным распределением осуществлялось с использованием критерия Смирнова, а также гистограмм и диаграмм квантиль-квантиль. Шкала KOOS для спортивной активности через 12 мес. удовлетворяла условиям нормальности и однородности дисперсий согласно критерию Фишера, у остальных непрерывных переменных нулевая гипотеза была отклонена. Согласно результатам проверки на сравнение непрерывных переменных использовались непараметрические критерии, для описания — медиана (Me) и интерквантильный интервал [Q1; Q3], минимальное — максимальное значения (min-max). Бинарные величины описывались через количество и частоту событий — абс. (%). Сравнение непрерывных переменных

между группами проводилось с использованием U-критерия Манна – Уитни, а бинарных — точного критерия Фишера. Изменения непрерывных переменных до и после операции исследовались с использованием критерия Вилкоксона, бинарных и категориальных — критерия Мак-Немара. Использовались только двусторонние критерии сравнения. Критический уровень значимости полагался равным 0,05, т.е. нулевые гипотезы отвергались при $p < 0,05$. Для расчетов использовались IDE RStudio (версия 2023.12.1 Build 402 — © 2009-2024 Posit Software, PBC, США) и R (v. 4.3.3, Австрия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Минимальный срок наблюдения составил 12 мес. Общая характеристика пациентов представлена в таблице 2.

Таблица 2

Общая характеристика пациентов

Признак	Группа RACL-PLT (n = 29)	Группа RACL-HT (n = 82)	p
Пол: мужчины / женщины, абс. (%)	24 (82,8) / 5 (17,2)	53 (64,6) / 29 (35,4)	0,100
Возраст, Ме [Q1; Q3] (min-max), лет	36 [28; 40] (19–64)	37 [31; 40] (18–49)	0,962
ИМТ, Ме [Q1; Q3] (min-max), кг/м ²	25,9 [24,5; 29,1] (22,3–41,3)	26,6 [23,9; 30,1] (17,2–44,8)	0,778
Срок между операциями, Ме [Q1; Q3] (min-max), мес.	84 [36; 144] (12–180)	–	–

Структура группы исследования

При анализе исходных данных группы RACL-PLT выявлено, что аутотрансплантаты из сухожилий полусухожильной и тонкой мышц наиболее часто встречались в качестве первичного трансплантата (n = 24; 82,8%). Методы фиксации и вид первичного трансплантата представлены в таблице 3.

Интраоперационные показатели группы RACL-PLT

Выбор метода фиксации и интраоперационной подготовки аутотрансплантата PLT осуществлялись следующим способом. При диаметре планируемого канала от 9,0 до 10,5 мм форми-

ровался четырехпучковый трансплантат и выполнялась экстракортикальная фиксация пуговицами с самозатягивающейся петлей техникой «all inside» (n = 11; 37,9%). При диаметре планируемого канала от 8 до 9 мм — комбинированная фиксация трех- или двухпучкового трансплантата PLT (пуговица с самозатягивающейся петлей и интерферентный, биодеградируемый винт) (n = 18; 62,1%). Интраоперационных осложнений в виде слияния первичного и ревизионного каналов и других осложнений, которые потребовали повторного оперативного вмешательства, не наблюдалось. Интраоперационные показатели представлены в таблице 4.

Таблица 3

Методы фиксации и вид первичного трансплантата группы RACL-PLT

Исходный трансплантат	Метод фиксации			
	экстракортикальный	интраканальный	комбинированный	кросс-пин
Ауто ST	6 (20,7)	1 (3,4)	0 (0,0)	0 (0,0)
Ауто ST+G	0 (0,0)	5 (17,2)	4 (13,8)	8 (27,6)
Ауто ВТВ	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (3,4)	1 (3,4)
Синтетический протез	0 (0,0)	2 (6,9)	0 (0,0)	0 (0,0)
Аллотрансплантат	0 (0,0)	1 (3,4)	0 (0,0)	0 (0,0)

Ауто ST — аутотрансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы; ST+G — аутотрансплантат из сухожилия полусухожильной и тонкой мышц; ВТВ — трансплантат из собственной связки надколенника с костными блоками.

Таблица 4

Интраоперационные показатели группы RACL-PLT

Показатель	Значения
Длительность операции, Ме [Q1; Q3] (min-max), мин.	75 [60; 85] (45–150)
Диаметр трансплантата, Ме [Q1; Q3] (min-max), мм	9,0 [8,5; 9,0] (8,0–10,5)
Диаметр ревизионных каналов, Ме [Q1; Q3] (min-max), мм:	
– большеберцовый	9,0 [8,5; 9,0] (8–10)
– бедренный	9,0 [8,5; 9,0] (8,0–10,5)
Метод фиксации, абс. (%):	
– экстракортикальная	11 (37,9)
– комбинированная	18,0 (62,1)

Анализ взаиморасположения первичных и ревизионных каналов

Анализ результатов МСКТ показал, что некорректное позиционирование входов в первичные каналы наблюдалось в 15 (51,7%) случаях. У 10 (34,5%) пациентов выявлено неанатомичное положение входа в бедренный канал, у 2 (6,9%) пациентов — в большеберцовый, у 3 (11,1%) пациентов — в оба канала. При оценке позиционирования центральных точек входов в ревизионные каналы выявлено, что средние значения координат соответствуют координатам анатомичного креп-

ления нативной ПКС. Средние значения координат положения центральных точек входа первичных и ревизионных каналов исследуемой группы RACL-PLT представлены в таблице 5 и на рисунках 4 и 5.

Оценка результатов

Сравнение до- и послеоперационных показателей стабильности поврежденного КС по протоколу IKDC между группой RACL-PLT и группой ПКС RACL-НТ не показало статистически значимых различий (табл. 6).

Таблица 5

Средние значения координат положения центральных точек входов первичных и ревизионных каналов в группе RACL-PLT

Канал	Показатель	Норма	До операции Me [Q1; Q3] (min-max)	После операции Me [Q1; Q3] (min-max)	Различие (величина эффекта) пМЕД [95% ДИ] СРС [95% ДИ]	Критерий Вилкоксона, p
Большеберцовый	EX (%)	43,8±3,0	45 [43; 47] (30–70)	44 [44; 46] (41–47)	0,5 [0,5; 0,5] 0,44 [-0,08; 0,96]	0,069
	EY (%)	48,9±3,0	49 [46; 50] (45–52)	49 [47; 50] (46–51)	0 [0; 0] -0,06 [-0,57; 0,46]	0,619
Бедренный	Gh (%)	29,9±3,0	35 [33; 62] (28–80)	31 [29; 32] (27–34)	16,5 [16; 17] 1,32 [0,75; 1,89]	<0,001
	Gt (%)	30,1±3,0	27 [10; 29] (4–34)	30 [29; 31] (27–33)	-9,5 [-10; -9] -1,26 [-1,83; -0,7]	<0,001

EX (%) — расстояние от переднего края плато большеберцовой кости в процентах; EY (%) — расстояние от медиального края плато большеберцовой кости в процентах; Gh (%) — расстояние от наиболее глубокой точки медиального края латерального мышцелка бедренной кости в процентах; Gt (%) — расстояние от линии Blumensaatt в процентах.

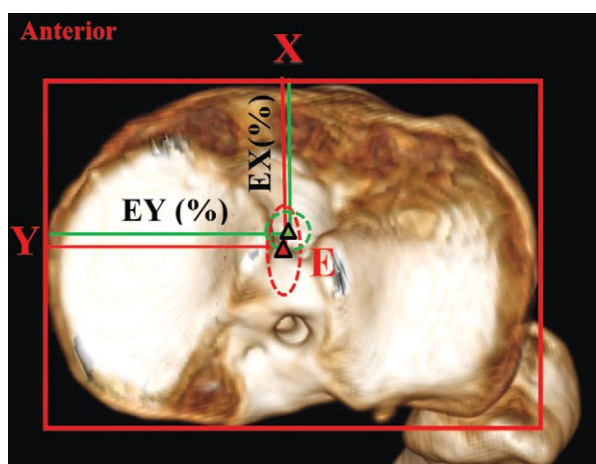


Рис. 4. Среднее положение и стандартное отклонение координат центральных точек входов первичных (отмечено красным цветом) и ревизионных каналов (отмечено зеленым цветом) большеберцовой кости: EX (%) — расстояние от переднего края плато большеберцовой кости в процентах; EY (%) — расстояние от медиального края плато большеберцовой кости в процентах

Fig. 4. Average position and standard deviation of the coordinates of the central entry points of the primary (marked in red) and revision tunnels (marked in green) of the tibia: EX (%) — distance from the anterior edge of the tibial plateau; EY (%) — distance from the medial edge of the tibial plateau

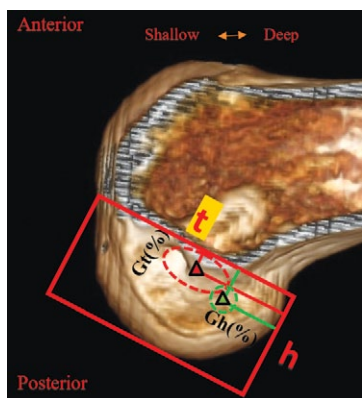


Рис. 5. Среднее положение и стандартное отклонение координат центральных точек входов первичных (отмечено красным цветом) и ревизионных каналов (отмечено зеленым цветом) бедренной кости: Gh (%) — расстояние от наиболее глубокой точки медиального края латерального мыщелка бедренной кости; Gt (%) — расстояние от линии Blumensaat

Fig. 5. Average position and standard deviation of the coordinates of the central entry points of the primary (marked in red) and revision tunnels (marked in green) of the femur: Gh (%) — distance from the deepest point of the medial edge of the lateral femoral condyle; Gt (%) — distance from the Blumensaat’s line

Таблица 6

Сравнительный анализ результатов объективной оценки стабильности коленного сустава до и после первичного и ревизионного оперативного вмешательства

Показатель		Группы		
		RACL-PLT (n = 29)	RACL-HT (n = 82)	Точный критерий Фишера, p
Тест Лахмана 0 + 1«+» / 2«+» + 3«+», n	до операции	0+0/16+13	0+0/39+43	>0,999
	после операции	8+21/0+0	44+38/0+0	>0,999
Критерий Мак-Немара, p		до и после <0,001	до и после <0,001	–
Pivot-shift тест 0 + 1«+» / 2«+» + 3«+», n	до операции	0+0/15+14	0+0/44+38	>0,999
	после операции	17+12/0+0	57+25/0+0	>0,999
Критерий Мак-Немара, p		до- после: <0,001	до- после: <0,001	–

При сравнительном анализе результатов субъективной оценки функции КС пациентов обеих групп по шкалам KOOS, IKDC, Lysholm до и через 12 мес. после операции выявлено, что статистически значимо более высокие показатели получены в группе первичной реконструкции ПКК (RACL-HT). Тем не менее различия в послеоперационных показателях не достигали MCID (δ) [24]. В частности показатели опросника KOOS имели следующие различия в подшкалах: «боль» — 3,5 балла (MCID — 16,7),

«симптомы» — 3 балла (MCID — 10,7), «ежедневная активность» — 6 баллов (MCID — 18,4), «спортивная активность» — 5 баллов (MCID — 12,5), «качество жизни» — 3 балла (MCID — 15,6). Различия в показателях по шкалам Lysholm и IKDC составили 4 балла (MCID — 8,9 и 16,7 соответственно).

Результаты сравнительного анализа субъективной оценки функции КС до и после ревизионных и первичных оперативных вмешательств представлены в таблице 7.

Таблица 7

Сравнительный анализ результатов субъективной оценки функции коленного сустава до и после ревизионных и первичных операций, Me [Q1; Q3] (min-max)

Шкала	RACL-PLT (n = 29)		RACL-HT (n = 82)		U-критерий Манна – Уитни, p	
	до операции	через 12 мес.	до операции	через 12 мес.	до операции	через 12 мес.
КООС (общий показатель)	56 [50; 60] (34–67)	85 [83; 87] (81–91)	55 [47; 62] (40–71)	91 [87; 93] (79–98)	0,804	<0,001
КООС (боль)	74 [63; 79] (54–82)	90 [89; 94] (78–96)	63 [56; 71,75] (48–82)	93,5 [90; 97] (81–100)	0,003	0,006
КООС (симптомы)	64 [60; 66] (44–73)	90 [85; 92] (72–96)	61 [54,25; 68] (48–75)	93 [88; 96] (79–99)	0,478	0,001
КООС (ежедневная активность)	72 [68; 77] (58–81)	90 [88; 94] (80–98)	66 [59; 77,5] (54–83)	96 [92; 98] (76–100)	0,105	<0,001
КООС (спортивная активность)	47 [41; 52] (26–63)	87 [84; 90] (78–98)	46 [34,25; 54] (24–65)	92 [89; 95] (82–100)	0,598	<0,001

Шкала	RACL-PLT (n = 29)		RACL-HT (n = 82)		U-критерий Манна–Уитни, p	
	до операции	через 12 мес.	до операции	через 12 мес.	до операции	через 12 мес.
KOOS (качество жизни)	23 [20; 28] (12–36)	72 [68; 76] (60–85)	37 [30,25; 41] (23–50)	75 [68; 84,75] (50–98)	<0,001	0,185
Lysholm	60 [54; 64] (46–79)	90 [87; 94] (82–96)	62,5 [52; 70] (41–79)	94 [89; 96] (83–100)	0,528	<0,001
IKDC	53 [44; 60] (37–69)	90 [88; 93] (79–96)	59 [48; 63] (35–72)	94 [89; 96] (80–100)	0,038	<0,001

Влияние использования трансплантата PLT на функцию голеностопного сустава и стопы в группе RACL-PLT оценивали по шкале AOFAS. У всех 29 пациентов получены сопоставимые результаты до оперативного вмешательства: Me [Q1; Q3] (min-max): 99 [99; 100] (98–100) и через 12 мес. после операции: Me [Q1; Q3] (min-max): 99 [99; 100] (98–100), $p = 0,863$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основной задачей, которая стоит перед хирургом при предоперационном планировании и выполнении ревизионной реконструкции ПКС, является получение результатов оперативного лечения, сопоставимых с первичной пластикой. Однако анализ современных исследований показал, что показатели, полученные после выполненной ревизионной реконструкции ПКС, имеют более низкие значения по сравнению с первичной пластикой [8, 9, 25, 26]. Например, послеоперационные результаты субъективной оценки функции КС по шкале Lysholm в метаанализе A. Grassi с соавторами были ниже у пациентов после ревизионной пластики ПКС в среднем на 7,8 балла [9], а в работе T. Gifstad с соавторами — на 9 баллов [8]. С другой стороны, в исследовании A. Weiler с соавторами различия в субъективной оценке функции КС в группах ревизионной и первичной реконструкции ПКС по шкале Lysholm составили в среднем 4 балла: 90 ± 9 и 94 ± 8 соответственно [25]. Схожие результаты получены в ходе нашего исследования: в ревизионной группе средний показатель по шкале Lysholm составил $90,03 \pm 4,26$ (82–96) балла через 12 мес. наблюдения. Результаты по данной шкале в группе первичной реконструкции ПКС оказались на 4,1 балла выше. Кроме того, в нашей работе полученные результаты субъективной оценки КС по шкалам KOOS и IKDC в группе первичной реконструкции ПКС оказались статистически значимо лучше, чем в группе ревизионных операций, однако разница по шкале KOOS составила всего 4,6 баллов, а по шкале IKDC — 3,18 баллов. Для сравнения: в исследованиях, в которых для субъективной оценки использовались шка-

лы KOOS и IKDC, также получены статистически значимо более низкие послеоперационные показатели у пациентов, перенесших ревизионную реконструкцию ПКС. Однако в работе T. Gifstad с соавторами разница между группами составила в среднем 14 баллов по шкале KOOS (послеоперационные результаты ревизионной группы: 70 ± 21 баллов) [8], а в исследовании J.H. Ahn с соавторами средние послеоперационные значения субъективной оценки по шкале IKDC составили 84,5 балла (min — 71, max — 94) [27].

Таким образом, сравнительный анализ послеоперационных показателей субъективной оценки функции КС показывает, что результаты ревизионной реконструкции ПКС чаще уступают первичной, однако в нескольких исследованиях сообщается о сопоставимых результатах объективной оценки стабильности КС по протоколу IKDC [8, 9, 25, 26, 27]. В частности, в работе A. Weiler с соавторами не получено статистически значимых различий между группами ревизионной и первичной реконструкции ПКС по результатам тестов Лахмана и pivot-shift [25]. Схожие результаты получены в нашем исследовании: значимых различий при анализе данных оценки объективной стабильности до и после операции между группами RACL-PLT и RACL-HT выявлено не было ($p > 0,999$).

Основными факторами, которые положительно повлияли на послеоперационные результаты, полученные в ходе нашей работы, являются использование трансплантата PLT, выбор адекватного метода его фиксации, а также анатомичное положение ревизионных каналов, что стало возможным благодаря оптимальному способу предоперационного планирования. Учитывая негативное влияние неанатомично расположенных каналов на результаты реконструкции ПКС [28, 29], наиболее важным является определение положения планируемых ревизионных каналов с использованием общеизвестных методов, основанных на имеющихся данных о топографии точек крепления нативной ПКС [23], а также комплексная оценка характеристик первичных каналов: диаметра,

направления, формы, внутрисуставного положения входов и наличия фиксаторов [30].

Анализ данных литературы показал, что наиболее распространенным способом определения анатомического положения центральной точки крепления нативной ПКС к большеберцовой кости является метод анатомических координатных осей, а к бедренной — квадрантный метод Бернарда и Хертеля [22]. Данные методы использовались при предоперационном планировании ревизионных реконструкций ПКС в исследовании J.H. Ahn с соавторами, в которое было включено 93 пациента. В данной работе выполнялись одноэтапные ревизионные реконструкции ПКС в тех случаях, когда была возможность провести ревизионный канал в другом векторе направления от первичного канала, и положение их внутрисуставных входов совпадало не более чем на 50% [15]. Однако если допускать такое совпадение входов первичного и ревизионного каналов, происходит избыточное расширение входа в новый канал, что приводит к последующему возникновению пространства между трансплантатом и стенкой канала и способствует затеку синовиальной жидкости, что может негативно повлиять на механизмы хондральной перестройки (трансформации) на границе трансплантат-кость, и в конечном итоге привести к несостоятельности трансплантата ПКС [31, 32]. Также в работе J.H. Ahn с соавторами при анализе послеоперационных МСКТ-исследований определенные авторами координаты положения центральных точек входа в ревизионные каналы больше соответствуют координатам крепления антеромедиального пучка ПКС [15], а не средним значениям координат крепления обоих пучков ПКС [23]. По нашему мнению, это может привести к эпизодам остаточной нестабильности КС при определенном векторе нагрузки. Анализ послеоперационных МСКТ-исследований в нашей работе показал, что центральные точки входов в ревизионные каналы соответствовали общеизвестным данным о координатах положения анатомической точки крепления нативной ПКС на бедренной и большеберцовой костях. Помимо этого, положение центральной точки входа в ревизионный бедренный канал не имело смещения в передневерхнем направлении в отличие от результатов ретроспективного анализа ревизионных реконструкций ПКС в нашем предыдущем исследовании [33].

Выбор трансплантата в пользу сухожилия длинной малоберцовой мышцы при первичной реконструкции ПКС позволяет получить более высокие послеоперационные показатели субъективной оценки функции КС [16] и сопоставимо низкий риск развития несостоятельности по сравнению с другими ауто трансплантатами в долгосрочной перспективе [17]. С другой стороны, ал-

логенные ткани или синтетические протезы менее предпочтительны в качестве первичного трансплантата [7, 34]. Тем не менее влияние на результаты первичной реконструкции ПКС оказывает совокупность множества факторов, а не только использование того или иного трансплантата [7]. В частности, помимо использования собственных тканей пациента для подготовки трансплантата достаточного диаметра, необходимы корректный выбор метода фиксации, анатомичное проведение каналов, оптимальная реабилитация, соблюдение базовых принципов операционной техники, а также персонифицированный подход к выявлению показаний для выполнения дополнительных внесуставных вмешательств [35].

Трансплантат PLT, по нашему мнению, целесообразно использовать именно при ревизионной пластике ПКС. Такие преимущества, как снижение затрачиваемого времени на взятие сухожилия, получаемый больший диаметр трансплантата [17, 33], улучшенные прочностные характеристики [36, 37], отсутствие влияния на сгибательный и разгибательный аппарат КС (в отличие от трансплантатов НТ [38], ВТВ и QT [39]), а также клинически незначимое влияние на функцию стопы и голеностопного сустава [16], способствуют более быстрому восстановлению опороспособности нижней конечности после иммобилизации и позволяют приблизить послеоперационные показатели к результатам первичной реконструкции ПКС.

Оптимизированный подход и стандартизация технических аспектов выполнения ревизионной реконструкции ПКС позволяют получить прогнозируемые результаты и снизить риск неудачных исходов оперативного лечения. По нашему мнению, подготовка трансплантата должна осуществляться таким образом, чтобы изменение его диаметра проводилось контролируемо, в соответствии с размером запланированного канала. Данный подход позволяет выбрать подходящий метод фиксации в зависимости от необходимого диаметра канала и плотности кости, а также реализовать принцип комплементарности трансплантата и канала и тем самым снизить риск попадания синовиальной жидкости в канал, что может негативно повлиять на процесс интеграции трансплантата в канал [31, 32]. Стоит отметить, что экстракорткальный метод фиксации при ревизионной реконструкции ПКС обладает некоторыми преимуществами. Во-первых, в отличие от интраканальной фиксации интерферентным винтом, снижается риск слияния близко расположенных первичного и ревизионного каналов в момент фиксации трансплантата [40]. Во-вторых, четырехпучковый трансплантат, используемый при технике all inside, как правило, обладает большим диаметром, чем двух- или трехпучковый, и позволяет исполь-

зовать анатомично расположенные первичные каналы повторно, если их диаметр не превышает 10 мм [41]. В-третьих, согласно данным литературы, в случае низкой плотности метафизарной кости экстракортикальный метод фиксации превосходит в надежности интраканальный метод [42]. В научной литературе обсуждается гипотеза о том, что данный вид фиксации провоцирует расширение костного канала и последующее расшатывание трансплантата [43]. Однако анатомично проведенные каналы позволяют трансплантату находиться в изометричном положении при циклах сгибания и разгибания КС, тем самым снижая риск развития его несостоятельности и возможного вторичного расширения каналов [44].

Таким образом, улучшить результаты ревизионной реконструкции ПКС, по нашему мнению, возможно благодаря совокупности нескольких факторов. Анатомично расположенные ревизионные каналы способствуют изометричному положению трансплантата, а выбор оптимального метода фиксации и подготовки трансплантата PLT позволил улучшить показатели субъективной и объективной оценки функции КС.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, это отсутствие рандомизации пациентов и относительно небольшой период наблюдения. Во-вторых, оценка стабильности колен-

ного сустава проводилась с помощью мануальных тестов Лахмана и pivot-shift, которые являются субъективными. Наконец, выборка пациентов была относительно невелика, однако данного количества наблюдений достаточно для получения достоверных результатов. Положительным аспектом этого исследования является стандартизованная методика планирования и техника оперативного вмешательства, всегда выполняемая одним и тем же опытным хирургом, а также стандартный протокол реабилитации, что позволяет нам сопоставлять полученные результаты и убеждаться в их правильности. Применение международных оценочных шкал (Lysholm, IKDC, KOOS) позволяет проводить прямое сравнение с данными других авторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ среднесрочных результатов применения сухожилия длинной малоберцовой мышцы в качестве ревизионного трансплантата, а также достижение анатомичного положения ревизионных каналов показал, что через 12 месяцев после оперативного вмешательства результаты объективной оценки в группах ревизионной и первичной пластики передней крестообразной связки сопоставимы, а данные субъективной оценки статистически значимо отличаются, однако различия в показателях не достигают минимальной клинически значимой разницы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Paudel Y.R., Sommerfeldt M., Voaklander D. Increasing incidence of anterior cruciate ligament reconstruction: a 17-year population-based study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(1):248-255. doi: 10.1007/s00167-022-07093-1.
2. Chia L., De Oliveira Silva D., Whalan M., McKay M.J., Sullivan J., Fuller C.W. et al. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Med.* 2022;52(10):2447-2467. doi: 10.1007/s40279-022-01697-w.
3. Montalvo A.M., Schneider D.K., Webster K.E., Yut L., Galloway M.T., Heidt R.S. Jr. et al. Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. *J Athl Train.* 2019;54(5):472-482. doi: 10.4085/1062-6050-407-16.
4. Grassi A., Kim C., Marcheggiani Muccioli G.M., Zaffagnini S., Amendola A. What Is the Mid-term Failure Rate of Revision ACL Reconstruction? A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(10):2484-2499. doi: 10.1007/s11999-017-5379-5.

5. van Eck C.F., Schkrohowsky J.G., Working Z.M., Irrgang J.J., Fu F.H. Prospective analysis of failure rate and predictors of failure after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with allograft. *Am J Sports Med.* 2012;40(4):800-807. doi: 10.1177/0363546511432545.
6. Li X., Yan L., Li D., Fan Z., Liu H., Wang G. et al. Failure modes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop.* 2023;47(3):719-734. doi: 10.1007/s00264-023-05687-z.
7. Rahardja R., Zhu M., Love H., Clatworthy M.G., Monk A.P., Young S.W. Factors associated with revision following anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review of registry data. *Knee.* 2020;27(2):287-299. doi: 10.1016/j.knee.2019.12.003.
8. Gifstad T., Drogset J.O., Viset A., Grøntvedt T., Hortemo G.S. Inferior results after revision ACL reconstructions: a comparison with primary ACL reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(9):2011-2018. doi: 10.1007/s00167-012-2336-4.
9. Grassi A., Ardern C.L., Marcheggiani Muccioli G.M., Neri M.P., Marcacci M., Zaffagnini S. Does revision ACL reconstruction measure up to primary surgery? A meta-analysis comparing patient-reported and clinician-reported outcomes, and radiographic results. *Br J Sports Med.* 2016;50(12):716-724. doi: 10.1136/bjsports-2015-094948.
10. Сапрыкин А.С., Банцер С.А., Рябинин М.В., Корнилов Н.Н. Современные аспекты предоперационного планирования и выбора хирургической методики ревизионной реконструкции передней крестообразной связки. *Гений ортопедии.* 2022;28(3):444-451. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-444-451.
Saprykin A.S., Bantser S.A., Rybinin M.V., Kornilov N.N. Current Aspects of Preoperative Planning and Selection of Surgical Techniques for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Genij Ortopedii.* 2022;28(3):444-451. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-444-451.
11. Schlumberger M., Schuster P., Schulz M., Immendorfer M., Mayer P., Bartholomä J. et al. Traumatic graft rupture after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: retrospective analysis of incidence and risk factors in 2915 cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(5):1535-1541. doi: 10.1007/s00167-015-3699-0.
12. Vermeijden H.D., Yang X.A., Van der List J.P., DiFelice G.S., Rademakers M.V., Kerkhoffs G.M. et al. Trauma and femoral tunnel position are the most common failure modes of anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(11):3666-3675. doi: 10.1007/s00167-020-06160-9.
13. Trojani C., Sbihi A., Djian P., Potel J.F., Hulet C., Jouve F. et al. Causes for failure of ACL reconstruction and influence of meniscectomies after revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(2):196-201. doi: 10.1007/s00167-010-1201-6.
14. MARS Group; MARS Group. Effect of graft choice on the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction in the Multicenter ACL Revision Study (MARS) Cohort. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2301-2310. doi: 10.1177/0363546514549005.
15. Ahn J.H., Son D.W., Jeong H.J., Park D.W., Lee I.G. One-Stage Anatomical Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results According to Tunnel Overlaps. *Arthroscopy.* 2021;37(4):1223-1232. doi: 10.1016/j.arthro.2020.11.029.
16. He J., Tang Q., Ernst S., Linde M.A., Smolinski P., Wu S. et al. Peroneus longus tendon autograft has functional outcomes comparable to hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(9):2869-2879. doi: 10.1007/s00167-020-06279-9.
17. Rhatomy S., Asikin A.I.Z., Wardani A.E., Rukmoyo T., Lumban-Gaol I., Budhiparama N.C. Peroneus longus autograft can be recommended as a superior graft to hamstring tendon in single-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(11):3552-3559. doi: 10.1007/s00167-019-05455-w.
18. Higgins L.D., Taylor M.K., Park D., Ghodadra N., Marchant M., Pietrobon R. et al. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine.* 2007;74(6):594-599. doi: 10.1016/j.jbspin.2007.01.036.
19. Lysholm J., Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med.* 1982;10(3):150-154. doi: 10.1177/036354658201000306.
20. Roos E.M., Lohmander L.S. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health Qual Life Outcomes.* 2003;1:64. doi: 10.1186/1477-7525-1-64.
21. Kitaoka H.B., Alexander I.J., Adelaar R.S., Nunley J.A., Myerson M.S., Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994;15(7):349-353. doi: 10.1177/107110079401500701.
22. Bernard M., Hertel P., Hornung H., Cierpinski Th. Femoral insertion of the ACL: radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg.* 1997;10:14-22.
23. Tsukada H., Ishibashi Y., Tsuda E., Fukuda A., Toh S. Anatomical analysis of the anterior cruciate ligament femoral and tibial footprints. *J Orthop Sci.* 2008;13(2):122-129. doi: 10.1007/s00776-007-1203-5.
24. Harris J.D., Brand J.C., Cote M.P., Faucett S.C., Dhawan A. Research Pearls: The Significance of Statistics and Perils of Pooling. Part 1: Clinical Versus Statistical Significance. *Arthroscopy.* 2017;33(6):1102-1112. doi: 10.1016/j.arthro.2017.01.053.
25. Weiler A., Schmelting A., Stöhr I., Käab M.J., Wagner M. Primary versus single-stage revision anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring tendon grafts: a prospective matched-group analysis. *Am J Sports Med.* 2007;35(10):1643-1652. doi: 10.1177/0363546507303114.
26. Wright R.W., Gill C.S., Chen L., Brophy R.H., Matava M.J., Smith M.V. et al. Outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(6):531-536. doi: 10.2106/JBJS.K.00733.
27. Ahn J.H., Lee Y.S., Ha H.C. Comparison of revision surgery with primary anterior cruciate ligament reconstruction and outcome of revision surgery between different graft materials. *Am J Sports Med.* 2008;36(10):1889-1895. doi: 10.1177/0363546508317124.
28. Банцер С.А., Трачук А.П., Богопольский О.Е., Тихилов Р.М., Сушков И.В., Мурга Е.Я. Влияние положения туннелей на результаты транстибиальной реконструкции передней крестообразной связки. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(3):7-16. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-7-16.

- Bantser S.A., Trachuk A.P., Bogopol'sky O.E., Tikhilov R.M., Sushkov I.V., Murga E.Ya. Effect of Bone Tunnels Positioning on Outcomes of Transtibial Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(3):7-16. (In Russian). doi:10.21823/2311-2905-2017-23-3-7-16.
29. Morgan J.A., Dahm D., Levy B., Stuart M.J. MARS Study Group. Femoral tunnel malposition in ACL revision reconstruction. *J Knee Surg*. 2012;25(5):361-368. doi: 10.1055/s-0031-1299662.
30. Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А. Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):136-148. doi: 10.17816/2311-2905-2130.
Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Approaches to Preoperative Planning (Systematic Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3): 136-148. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-2130.
31. Рыбин А.В., Кузнецов И.А., Румакин В.П., Нетьлько Г.И., Ломая М.П. Экспериментально-морфологические аспекты несостоятельности сухожильных ауто- и аллотрансплантатов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава в раннем послеоперационном периоде. *Травматология и ортопедия России*. 2016;22(4):60-75. doi: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.
Rybin A.V., Kuznetsov I.A., Rumakin V.P., Netylko G.I., Lomaya M.P. Experimental and Morphological Aspects of failed Tendon Auto- and Allografts after ACL Reconstruction in Early Postoperative Period. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2016;22(4):60-75. (in Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.
32. Lu H., Chen C., Xie S., Tang Y., Qu J. Tendon Healing in Bone Tunnel after Human Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Histological Results. *J Knee Surg*. 2019;32(5):454-462. doi: 10.1055/s-0038-1653964.
33. Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Лукинов В.Л., Рубцов Д.В. и др. Среднесрочные результаты одноэтапной ревизионной реконструкции передней крестообразной связки: ретроспективный анализ 36 случаев. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(1):76-88. doi: 10.17816/2311-2905-17415.
Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Lukinov V.L., Rubtsov D.V. et al. Mid-term Results of a Single-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Retrospective Analysis of 36 Cases. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(1): 76-88. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-17415.
34. Satora W., Królikowska A., Czamara A., Reichert P. Synthetic grafts in the treatment of ruptured anterior cruciate ligament of the knee joint. *Polim Med*. 2017;47(1):55-59. doi: 10.17219/pim/76819.
35. Di Benedetto P., Di Benedetto E., Fiocchi A., Beltrame A., Causero A. Causes of Failure of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Revision Surgical Strategies. *Knee Surg Relat Res*. 2016;28(4):319-324. doi: 10.5792/ksrr.16.007.
36. Phatama K.Y., Hidayat M., Mustamsir E., Pradana A.S., Dhananjaya B., Muhammad S.I. Tensile strength comparison between hamstring tendon, patellar tendon, quadriceps tendon and peroneus longus tendon: a cadaver research. *J Arthrosc Joint Surg*. 2019;6(2): 114-116. doi: 10.1016/j.jajs.2019.02.003.
37. Михайлов И.Н., Пусева М.Э., Бальжинимаев Д.Б., Семенов А.В., Верхогуров В.В., Верхотурова Е.В. Сравнительное определение механической прочности моделей трансплантатов из половины сухожилия длинной малоберцовой мышцы и сухожилия полусухожильной мышцы (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии*. 2021;27(6):789-794. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-6-789-794.
Mikhaylov I.N., Puseva M.E., Balzhinimaev D.B., Semenov A.V., Verkhoturou V.V., Verkhoturouva E.V. Comparative determination of the mechanical strength of the grafts models of the half of the peroneus longus tendon and the semitendinosus tendon (experimental study). *Genij Ortopedii*. 2021;27(6):789-794. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-6-789-794.
38. Sengoku T., Nakase J., Asai K., Yoshimizu R., Sakurai G., Yoshida S. et al. The effect of gracilis tendon harvesting in addition to semitendinosus tendon harvesting on knee extensor and flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(3):465-470. doi: 10.1007/s00402-021-03877-1.
39. Trasolini N.A., Lan R., Bolia I.K., Hill W., Thompson A.A., Mayfield C.K. et al. Knee Extensor Mechanism Complications After Autograft Harvest in ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med*. 2023;11(7):23259671231177665. doi: 10.1177/23259671231177665.
40. Monaco E., Fabbri M., Redler A., Gaj E., De Carli A., Argento G. et al. Anterior cruciate ligament reconstruction is associated with greater tibial tunnel widening when using a bioabsorbable screw compared to an all-inside technique with suspensory fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(8):2577-2584. doi: 10.1007/s00167-018-5275-x.
41. Colatruglio M., Flanigan D.C., Long J., DiBartola A.C., Magnussen R.A. Outcomes of 1- Versus 2-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2021;49(3):798-804. doi: 10.1177/0363546520923090.
42. Domnick C., Herbort M., Raschke M.J., Habermann S., Schliemann B., Petersen W. et al. Anterior Cruciate Ligament Soft Tissue Graft Fixation in the Elderly: Is There a Reason to Use Interference Screws? A Human Cadaver Study. *Arthroscopy*. 2017;33(9):1694-1700. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.017.
43. Eichinger M., Ploner M., Degenhart G., Rudisch A., Smekal V., Attal R. et al. Tunnel widening after ACL reconstruction with different fixation techniques: aperture fixation with biodegradable interference screws versus all-inside technique with suspensory cortical buttons. 5-year data from a prospective randomized trial. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(11):6707-6718. doi: 10.1007/s00402-023-05001-x.
44. Devitt B.M., Maes M., Feller J.A., Webster K.E. No long-term tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction using autograft hamstring tendon with dual suspensory fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(7):2157-2162. doi: 10.1007/s00167-019-05741-7.

Сведения об авторах

✉ Гофер Антон Сергеевич

Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17

<https://orcid.org/0009-0000-3886-163X>

e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Алекперов Александр Александрович

<https://orcid.org/0000-0003-3264-8146>

e-mail: alecperov@mail.ru

Гуражев Михаил Борисович

<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: tashtagol@inbox.ru

Авдеев Артем Константинович

<https://orcid.org/0009-0008-9147-5808>

e-mail: avdeev.artiom@mail.ru

Лукинов Виталий Леонидович — канд. физ.-мат. наук

<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

e-mail: vitaliy.lukinov@gmail.com

Рубцов Дмитрий Вячеславович

<https://orcid.org/0009-0007-1490-9783>

e-mail: rubic.dv@yandex.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>**Authors' information**

✉ Anton S. Gofer

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-3886-163X>

e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Aleksandr A. Alekperov

<https://orcid.org/0000-0003-3264-8146>

e-mail: alecperov@mail.ru

Mikhail B. Gurazhev

<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: tashtagol@inbox.ru

Artem K. Avdeev

<https://orcid.org/0009-0008-9147-5808>

e-mail: avdeev.artiom@mail.ru

Vitaly L. Lukinov — Cand. Sci. (Phys.-Mat.)

<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>;

e-mail: vitaliy.lukinov@gmail.com,

Dmitriy V. Rubtsov

<https://orcid.org/0009-0007-1490-9783>

e-mail: rubic.dv@yandex.ru

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com



Лечение пациентов с массивными невосстановимыми разрывами вращательной манжеты с применением разных хирургических методов: сравнительный анализ ближайших результатов

А.М. Шершнев, С.Ю. Доколин, В.И. Кузьмина, Д.В. Стафеев, М.О. Кутузов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Введение. Массивные разрывы вращательной манжеты составляют до 40% от всех повреждений и могут прогрессировать до стадии невосстановимых. На сегодняшний день предлагается множество вариантов лечения невосстановимых повреждений вращательной манжеты: от консервативного лечения и артроскопических реконструкций до реверсивного эндопротезирования плечевого сустава. В настоящее время сравнительная эффективность различных методов лечения остается неясной, в связи с чем нет четкого алгоритма выбора тактики лечения профильных больных.

Цель исследования — сравнить ближайшие результаты лечения пациентов с невосстановимыми разрывами вращательной манжеты плечевого сустава при помощи артроскопического частичного восстановления вращательной манжеты, трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины, трансфера большой грудной мышцы и реверсивного эндопротезирования плечевого сустава.

Материал и методы. В исследование вошли 75 пациентов, которым выполнялись следующие виды оперативных вмешательств: частичный артроскопический якорный шов, задний и передний артроскопически ассистированный трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины, трансфер грудинно-реберной порции сухожилия большой грудной мышцы и реверсивное эндопротезирование плечевого сустава. Оценка результатов лечения выполняли при помощи измерения амплитуды активных движений в плечевом суставе, опросников ASES и Constant-Murley Score (CMS), визуальной аналоговой шкалы (ВАШ), оценки рентгенограмм и МРТ. Оценка проводилась до операции и на сроках 6 и 12 мес. после оперативного вмешательства.

Результаты. Во всех группах в динамике произошло статистически значимое улучшение по всем показателям ($p < 0,05$). Клинико-функциональные результаты на ближайших сроках наблюдения после частичного артроскопического якорного шва и различных вариантов трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины во многом являются сопоставимыми, в то же время превосходя результаты реверсивного эндопротезирования и трансфера сухожилия большой грудной мышцы.

Заключение. Применение частичного артроскопического якорного шва и мышечно-сухожильных трансферов на ближайших сроках наблюдения дает сопоставимые и более высокие результаты в сравнении с применением реверсивного эндопротезирования плечевого сустава, что позволяет рассматривать суставосберегающие вмешательства как вариант выбора у пациентов с массивными невосстановимыми разрывами вращательной манжеты.

Ключевые слова: плечевой сустав, вращательная манжета, артроскопический якорный шов, трансфер широчайшей мышцы спины, трансфер большой грудной мышцы, реверсивное эндопротезирование плечевого сустава, артроскопия плечевого сустава.

Для цитирования: Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Стафеев Д.В., Кутузов М.О. Лечение пациентов с массивными невосстановимыми разрывами вращательной манжеты с применением разных хирургических методов: сравнительный анализ ближайших результатов. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2): 97-108. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17534>.

Шершнев Андрей Максимович; e-mail: andreysersh@gmail.com

Рукопись получена: 26.04.2024. Рукопись одобрена: 15.06.2024. Статья опубликована: 20.06.2024

© Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Стафеев Д.В., Кутузов М.О., 2024



Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears by Different Surgical Techniques: Comparative Analysis of Early Outcomes

Andrei M. Shershnev, Sergei Yu. Dokolin, Vladislava I. Kuzmina, Dmitry V. Stafeev, Matvei O. Kutuzov

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Massive rotator cuff tears are up to 40% and can progress to the stage of irreparable ones. Nowadays, there are many treatment options available for irreparable rotator cuff injuries, from conservative treatment and arthroscopic reconstructions to reverse shoulder arthroplasty. Currently, the comparative effectiveness of various treatment methods remains uncertain, and therefore there is no clear algorithm for choosing treatment tactics of such orthopedic shoulder pathologies.

The aim of the study is to compare short-term treatment outcomes of patients with irreparable rotator cuff tears using arthroscopic partial rotator cuff repair, latissimus dorsi tendon transfer, pectoralis major tendon transfer and reverse shoulder arthroplasty.

Methods. The study enrolled 75 patients who underwent the following types of surgical interventions: partial arthroscopic repair, posterior and anterior arthroscopically assisted latissimus dorsi tendon transfer, pectoralis major tendon transfer and reverse shoulder arthroplasty. Treatment results were assessed using measurements of the range of active movements in the shoulder joint, the ASES and Constant-Murley Score (CMS) questionnaires, the Visual Analog Scale (VAS), assessment of radiographs and MRI. The assessments were performed preoperatively and at 6 and 12 months after surgery.

Results. In all groups, there was a statistically significant improvement by all indicators ($p < 0.05$). Clinical and functional results at the short-term follow-up after partial rotator cuff repair and various options of latissimus dorsi tendon transfer are largely comparable, while at the same time superior to the results of reverse shoulder arthroplasty and pectoralis major tendon transfer.

Conclusions. The use of partial rotator cuff repair and musculotendinous transfers at the short-term follow-up gives comparable and better results in comparison with the use of reverse shoulder arthroplasty, which allows to consider “joint-preserving” interventions as an option in patients with massive irreparable rotator cuff tears.

Keywords: shoulder joint, rotator cuff, arthroscopic rotator cuff repair, latissimus dorsi transfer, pectoralis major transfer, reverse shoulder arthroplasty, shoulder arthroscopy.

Cite as: Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Stafeev D.V., Kutuzov M.O. Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears by Different Surgical Techniques: Comparative Analysis of Early Outcomes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):97-108. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17534>.

✉ *Andrei M. Shershnev*; e-mail: andreyshersh@gmail.com

Submitted: 26.04.2024. Accepted: 15.06.2024. Published: 20.06.2024.

© Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Stafeev D.V., Kutuzov M.O., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Частота разрывов вращательной манжеты плечевого сустава (ВМПС) в общей популяции колеблется от 5 до 40%, при этом примерно у 54% людей старше 60 лет имеются частичные или полнослойные повреждения [1]. Данная патология является основной причиной хирургических вмешательств на плечевом суставе [2]. Известно, что малые разрывы могут превращаться в массивные невосстановимые повреждения, а вопрос выбора тактики лечения таких пациентов все еще остается неразрешенным [3, 4].

Массивные разрывы вращательной манжеты составляют до 40% всех повреждений ВМПС и определяются как полнослойные повреждения двух или более сухожилий [1, 2, 5]. Вследствие выраженной жировой инфильтрации мышечного брюшка и ретракции края поврежденного сухожилия эти разрывы могут стать невосстановимыми с точки зрения возможности полного анатомического восстановления вращательной манжеты [6, 7].

Массивные повреждения вращательной манжеты приводят к изменению вертикального и горизонтального баланса сил, а следовательно — к передневерхней миграции головки плечевой кости, что является основой нарушения биомеханики плечевого сустава и приводит к выраженным функциональным нарушениям и прогрессированию остеоартрита плечевого сустава [8, 9].

В настоящее время отмечается более высокий функциональный запрос: пациенты стали обращаться за помощью не только для того, чтобы иметь возможность активно выполнять повседневную и профессиональную деятельность, но и для того, чтобы заниматься спортом. Поэтому травматологам-ортопедам крайне важно совершенствоваться и грамотно выбирать методы лечения, чтобы обеспечить лучшие результаты [2, 3].

На сегодняшний день предлагаются следующие варианты лечения пациентов с невосстановимыми повреждениями ВМПС: консервативное лечение, различные реконструктивные вмешательства и реверсивное эндопротезирование плечевого сустава [1, 2, 3]. Самыми изученными и распространенными в клинической практике в настоящий момент являются частичный артроскопический якорный шов, различные варианты трансферов широчайшей мышцы спины и грудинно-реберной порции большой грудной мышцы, а также реверсивное эндопротезирование плечевого сустава. Несмотря на столь разнообразный арсенал вариантов лечения, в настоящий момент сравнительная эффективность этих методов лечения остается неясной, в связи с чем нет четкого алгоритма выбора тактики лечения профильных больных.

Учитывая вышеизложенные данные, проблема выбора тактики лечения профильных боль-

ных является весьма актуальной, так как имеется большое количество нюансов, которые следует учитывать при принятии решения. В литературе приводятся данные о положительных результатах лечения профильных пациентов, однако проспективных сравнительных исследований не так много, и они зачастую ограничиваются двумя группами. Для решения проблемы выбора тактики лечения необходимо накопление большего количества исследований, которые будут сосредоточены на сравнении различных методов лечения с целью выявления преимуществ одних методов лечения над другими, что в конечном итоге позволит сформировать консенсус относительно алгоритма выбора тактики лечения профильных больных.

Цель исследования — сравнить ближайшие результаты лечения пациентов с невосстановимыми разрывами вращательной манжеты плечевого сустава при помощи артроскопического частичного восстановления вращательной манжеты, трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины, трансфера большой грудной мышцы и реверсивного эндопротезирования плечевого сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено проспективное одноцентровое исследование. В исследование вошли 75 пациентов, из них 48 (64%) мужчин и 27 (36%) женщин, находившихся на стационарном лечении в период с сентября 2021 г. по март 2023 г. включительно. Средний возраст пациентов составил $59,1 \pm 8,4$ лет.

Критериями включения в исследование были:

- наличие массивного невосстановимого разрыва двух и более сухожилий вращательной манжеты, верифицированного по данным МРТ или артроскопическим методом;
- наличие на дооперационном этапе рентгенологических признаков артропатии плечевого сустава 1–3-й стадии на фоне массивного повреждения ВМПС по классификации К. Hamada [10];

- возраст более 18 лет.

Критериями исключения из исследования были:

- наличие на дооперационном этапе рентгенологических признаков деформирующего артроза плечевого сустава 3-й и 4-й стадии, деструктивных изменений костной структуры головки плечевой кости и суставного отростка лопатки;
- сопутствующее повреждение капсуло-лабральных и костных стабилизаторов плечевого сустава;
- адгезивный капсулит плечевого сустава;
- нарушения иннервации и проводимости, за исключением нейропатии надлопаточного нерва;
- наличие тяжелых сопутствующих заболеваний.

Всем пациентам в предоперационном периоде выполнялись МРТ и рентгенография пораженного плечевого сустава с целью оценки локализации разрыва, его потенциала к восстановлению и акромиально-плечевого интервала (АПИ). В нашем исследовании за невосстановимый разрыв принималось такое повреждение, которое при оценке МР-исследований демонстрировало 3-ю степень жирового перерождения мышечного брюшка какого-либо из поврежденных сухожилий по классификации Н. Thomazeau [6], а степень ретракции этого сухожилия по классификации D. Patte [11] соответствовала 3-й степени. Также во внимание принимались данные интраоперационной картины, в которых определялась возможность восстановления анатомического крепления вращательной манжеты при артроскопии.

Пациентам выполнялись следующие виды оперативных вмешательств: частичный артроскопический якорный шов (ЧАЯШ), задний артроскопически ассистированный трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины (ЗТСШМС), передний артроскопически ассистированный трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины (ПТСШМС), трансфер грудинно-реберной порции сухожилия большой грудной мышцы (ТСБГМ), реверсивное эндопротезирование плечевого сустава (РЭПС). Пациенты равномерно распределялись по 5 группам в зависимости от вида выполняемого оперативного вмешательства с учетом имеющихся показаний и противопоказаний. Для всех реконструктивных вмешательств противопоказаниями были повреждения точек крепления малой круглой мышцы и нижней части подлопаточной мышцы. Показанием для ЗТСШМС были повреждения ВМПС с повреждением сухожилия подлопаточной мышцы не выше 2-й степени по классификации Lafosse [12]. Показанием для ПТСШМС и ТСБГМ были повреждения ВМПС с преимущественным вовлечением передневерхней части. РЭПС применялось у пациентов с любой конфигурацией разрыва вращательной манжеты.

В первую группу вошли 15 пациентов, которым был выполнен ЧАЯШ. Она была представлена 8 (53,3%) мужчинами и 7 (46,7%) женщинами. Средний возраст составил $58,9 \pm 11,6$ лет. У 8 пациентов было диагностировано повреждение сухожилий надостной и подостной мышц, у 1 пациента — сухожилий надостной и подлопаточной мышц, у 6 пациентов — сухожилий надостной, подостной и подлопаточной мышц.

Во вторую группу вошли 15 пациентов, которым был выполнен ЗТСШМС, при необходимости сочетавшийся с частичным артроскопическим якорным швом сухожилия подлопаточной мышцы. Она была представлена 12 (80%) мужчинами

и 3 (20%) женщинами. Средний возраст составил $59,6 \pm 5,5$ лет. У 12 пациентов было диагностировано повреждение сухожилий надостной и подостной мышц, у 3 пациентов — сухожилий надостной, подостной и подлопаточной мышц.

В третью группу вошли 15 пациентов, которым был выполнен ПТСШМС, при необходимости сочетавшийся с частичным артроскопическим якорным швом сухожилий надостной и подостной мышц. Она была представлена 9 (60%) мужчинами и 6 (40%) женщинами. Средний возраст составил $61,6 \pm 6,2$ лет. У 10 пациентов было диагностировано повреждение сухожилий надостной и подлопаточной мышц, у 5 пациентов — сухожилий надостной, подостной и подлопаточной мышц.

В четвертую группу вошли 15 пациентов, которым был выполнен ТСБГМ, при необходимости сочетавшийся с ЧАЯШ сухожилий надостной и подостной мышц. Она была представлена 11 (73,3%) мужчинами и 4 (26,7%) женщинами. Средний возраст составил $55,4 \pm 10,1$ лет. У 9 пациентов было диагностировано повреждение сухожилий надостной и подлопаточной мышц, у 6 пациентов — сухожилий надостной, подостной и подлопаточной мышц.

В пятую группу вошли 15 пациентов, которым было выполнено РЭПС. Она была представлена 8 (53,3%) мужчинами и 7 (46,7%) женщинами. Средний возраст составил $59,7 \pm 6,8$ лет. У 5 пациентов было диагностировано повреждение сухожилий надостной и подостной мышц, у 2 пациентов — сухожилий надостной и подлопаточной мышц, у 7 пациентов — сухожилий надостной, подостной и подлопаточной мышц, у 1 пациента — сухожилий надостной, подостной, подлопаточной и малой круглой мышц.

Техника операций

ЧАЯШ выполнялся в положении пациента на боку. По стандартной методике вмешательства выполнялись из четырех стандартных артроскопических портов (задний, передний, заднелатеральный, переднелатеральный), а также дополнительных мини-портов для имплантации якорных фиксаторов. Выполнялась V-образная тенотомия либо тенотомия при наличии патологии сухожилия длинной головки двухглавой мышцы плеча. При ограничении мобильности края поврежденных сухожилий выполняли трехсторонний релиз: от гленоида, от субакромиальной и субдельтовидной бурсы, иссечение интервала ротаторов. После выполняли оценку возможности прямого анатомического восстановления повреждения. В зависимости от степени мобильности края поврежденного сухожилия и конфигурации разрыва для фиксации использовали однорядный или двурядный мостовидный якорный шов.

ЗТСШМС выполнялся также в положении пациента на боку по усовершенствованной нами артроскопически ассистированной технике, основанной на технике, предложенной V. Jermolajevs и B. Kordasiewicz [13]. Указанная техника предполагает перемещение сухожилия широчайшей мышцы спины в дефект задневерхней части ротаторов с использованием аугментации сухожилия аллогенной твердой мозговой оболочкой. При наличии повреждения сухожилия подлопаточной мышцы выполняли его фиксацию с использованием одного анкерного фиксатора.

ПТСШМС выполнялся в положении пациента на боку по предложенной нами усовершенствованной артроскопически ассистированной технике, основанной на технике, предложенной K. Weisser и J. Hasler [14] и защищенной патентом РФ № 2791403. Данная техника предполагает перемещение сухожилия широчайшей мышцы спины в дефект передневерхней части ротаторов и аугментации сухожилия аллогенной твердой мозговой оболочкой. Фиксацию сухожилия подостной мышцы при наличии повреждения выполняли с использованием одного или двух анкеров в зависимости от выраженности повреждения.

ТСБГМ выполнялся в положении пациента «пляжное кресло» ('beach chair'). Первоначально проводилась артроскопия плечевого сустава из стандартного заднего порта. При наличии патологии сухожилия длинной головки двухглавой мышцы плеча выполнялась его V-образная тенотомия либо тенodes. При наличии повреждения сухожилия подостной мышцы выполняли фиксацию с использованием одного или двух анкерных фиксаторов в зависимости от степени повреждения. Следующим этапом переходили к выполнению непосредственно трансфера грудинно-реберной порции большой грудной мышцы по технике, описанной B. Elhassan с соавторами [15]. Из стандартного дельтовидно-пекторального доступа выполнялось проведение грудинно-реберной порции большой грудной мышцы в дефект передневерхней части ротаторов в коридоре между ключичной порцией большой грудной мышцы и объединенным сухожилием клювовидно-плечевой мышцы и короткой головки двухглавой мышцы плеча.

При всех перечисленных выше вмешательствах при наличии показаний выполняли резекцию акромиально-ключичного сустава и декомпрессию надлопаточного нерва. Металлические анкерные фиксаторы не использовались, дабы избежать снижения качества МРТ в послеоперационном периоде, в связи с чем отдавалось предпочтение использованию якорных фиксаторов из биокрилла и полиэфирэфиркетона.

Реверсивное эндопротезирование плечевого сустава выполнялось из стандартного дельтовид-

но-пекторального доступа в положении пациента «пляжное кресло» ("beach chair") в соответствии с описаниями С. Werner с соавторами [16].

Использовались эндопротезы DePuy Delta X-tend (у 13 пациентов) и Unic Evolutis (у 2 пациентов) с цементным типом фиксации ножки (применяли костный цемент DePuy CMW 3 с гентамицином), у 3 пациентов были использованы гленосферы 38 размера, у 12 — 42 размера. У большей части пациентов (8) применяли вкладыш +6R мм, у 7 пациентов использовали вкладыши +3 и +6 мм.

Послеоперационное ведение

Реабилитационное лечение в первом периоде заключалось в иммобилизации оперированной верхней конечности в течение 6 нед. при помощи мягкой повязки с подушкой в положении отведения 20 град. Упражнения «пассивной» гимнастики (упражнения «маятник» и «скольжение» оперированной конечности по поверхности стола) рекомендовали начинать с 5-й нед. Через 6–8 нед. приступали к упражнениям с активным включением мышц плечевого пояса, направленным на укрепление мышц вращательной манжеты и стабилизаторов лопатки под контролем реабилитолога. Возврат пациента к повседневной активности происходил через 3–4 мес. после операции. Ограничения занятий спортом и тяжелым физическим трудом устанавливали на 7–8 мес. после операции.

Оценка результатов

На дооперационном этапе и контрольных осмотрах, проведенных на сроках 6 и 12 мес. после оперативного лечения, выполнялось измерение объема движений при помощи поверенного угломера, клиническое обследование при помощи функциональных тестов, заполнение шкал-опросников (шкалы American Shoulder and Elbow Surgeons score (ASES) [17], Constant-Murley Score (CMS) [18], визуальная аналоговая шкала (ВАШ)), а также оценка рентгенограмм и МРТ (по классификациям K. Hamada [10], H. Thomazeau [6], D. Patte [11], H. Elman [19], H. Sugaya [20], B. Melis [21] и F. Sirveaux [22]).

В ходе исследования мы провели сравнительный анализ амплитуды активных движений (сгибание, отведение, наружная и внутренняя ротация) плечевого сустава, интенсивности болевого синдрома по шкале ВАШ, клинико-функциональных исходов по шкалам-опросникам ASES и CMS на сроках до операции, через 6 и 12 мес. после операции.

Статистический анализ

Данные исследования вносились в электронную таблицу MS Excel и были подвергнуты статистической обработке. Статистический анализ данных

проводили на персональном компьютере с использованием статистического пакета IBM SPSS 23.0. За статистически значимый уровень p принимали 0,05.

Первично для всех данных проводилась проверка нормальности распределения при помощи критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка (для выборок из менее чем 50 пациентов). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей ($Q1$; $Q3$). Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

При нормальном распределении количественных данных сравнение производилось с использованием параметрических методик. Количественные данные двух групп сравнивались при помощи t -критерия Стьюдента для зависимых и независимых выборок, трех и более групп – при помощи однофакторного дисперсионного анализа для независимых выборок, при помощи следа Пиллая (Pillai's trace) для зависимых, а для прове-

дения попарного апостериорного сравнения между группами использовался t -критерий Стьюдента с применением поправки Бонферрони.

При распределении, отличном от нормального, количественные данные двух групп сравнивались при помощи U -критерия Манна – Уитни, трех и более групп – с помощью критерия Краскела – Уоллиса для независимых выборок и критерия Фридмана для зависимых, апостериорные сравнения – с помощью U -критерия Манна – Уитни с применением поправки Бонферрони. Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия χ^2 Пирсона. Отличия между выборками считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Числовые значения изученных показателей, используемые при сравнительном анализе, а также рассчитанные величины p представлены в таблицах 1–3.

Статистически значимых различий между группами на дооперационном этапе выявлено не было.

Во всех группах в динамике произошло статистически значимое улучшение по всем показателям.

Таблица 1

Исучаемые показатели до операции

Параметр		Операция					p
		ЧАЯШ	ЗТСШМС	ПТСШМС	ТСБГМ	РЭПС	
Сгибание, град.		105 (95;125)	100 (72,5;120)	110 (85;117,5)	110 (70;122,5)	90 (50;107,5)	0,375
Отведение, град.		85 (67,5;120)	70 (60;102,5)	90 (70;102,5)	90 (55;107,5)	70 (42,5;97,5)	0,627
Наружная ротация, град.		36,7±13,3	32,3±12,8	36,7±13,6	36,7±16,0	24,7±11,6	0,073
Внутренняя ротация, абс. (%)	Б	3 (20,0%)	3 (20,0%)	4 (26,7%)	0 (0,0%)	4 (26,7%)	0,643
	Я	5 (33,3%)	5 (33,3%)	7 (46,7%)	5 (33,3%)	7 (46,7%)	
	КПС	5 (33,3%)	4 (26,7%)	4 (26,7%)	7 (46,7%)	3 (20,0%)	
	L3	1 (6,7%)	3 (20,0%)	0 (0,0%)	2 (13,3%)	1 (6,7%)	
	T12	1 (6,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)	
АПИ, мм		3 (2;4)	3 (2,5;4)	3 (3;4)	4 (2,5;4)	2 (2;4)	0,527
ВАШ, баллы		5,1±1,4	5,1±1,3	4,9±1,5	4,9±1,3	5,2±1,3	0,959
СМС, баллы		40,8±8,7	39,5±7,7	38,7±9,2	40,6±7,7	37,7±7,0	0,820
АSES, баллы		39 (30,5;45,5)	35 (27,5;40,5)	35 (30;38)	38 (31,5;42)	34 (27;39)	0,557

Здесь и далее значения представлены в виде Me ($Q1;Q3$) для переменных с распределением, отличным от нормального, и в виде $M \pm \sigma$ для переменных с нормальным распределением. Статистически значимые показатели выделены жирным шрифтом.

Б – бедро, Я – ягодица, КПС – крестцово-подвздошное сочленение.

Таблица 2

Изучаемые показатели через 6 мес. после операции

Параметр		Операция					p
		ЧАЯШ	ЗТСШМС	ПТСШМС	ТСБГМ	РЭПС	
Сгибание, град.		140,3±15,6	132,0±18,0	128,3±17,2	126,7±17,7	123,7±10,8	0,059
Отведение, град.		121,3±18,6	118,3±18,3	115,0±20,8	118,7±17,2	102,3±16,7	0,050 $p_{1-5} = 0,060$
Наружная ротация, град.		45 (40;50)	50 (40,0;52,5)	40 (40,0;52,5)	40 (37,5;50,0)	30 (30,0;42,5)	0,005 $p_{1-5} = 0,029$ $p_{2-5} = 0,003$
Внутренняя ротация, абс. (%)	Я	4 (26,7%)	5 (33,3%)	2 (13,3%)	0 (0,0%)	7 (46,7%)	0,400
	КПС	5 (33,3%)	5 (33,3%)	8 (53,3%)	10 (66,7%)	5 (33,3%)	
	L3	5 (33,3%)	4 (26,7%)	4 (26,7%)	4 (26,7%)	2 (13,3%)	
	T12	1 (6,7%)	1 (6,7%)	1 (6,7%)	1 (6,7%)	1 (6,7%)	
АПИ, мм		4 (4;5)	4 (4;5)	5 (4;5)	5 (4,5;5,5)	–	0,107
ВАШ, баллы		3 (2,5;3,0)	2 (2;3)	2 (1,5;3,0)	2 (1;3)	1 (0,5;2,0)	0,004 $p_{1-5} = 0,002$
CMS, баллы		65,8±3,6	66,9±6,4	66,2±5,8	62,8±5,0	60,7±5,7	0,010 $p_{2-5} = 0,021$
ASES, баллы		69,9±4,3	67,6±6,2	68,3±5,5	67,2±5,5	68,9±6,2	0,694

Таблица 3

Изучаемые показатели через 12 мес. после операции

Параметр		Операция					p
		ЧАЯШ	ЗТСШМС	ПТСШМС	ТСБГМ	РЭПС	
Сгибание, град.		153,0±14,3	156,7±11,9	144,7±12,3	132,7±12,7	138,7±12,5	<0,001 $p_{1-5} = 0,029$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{2-5} = 0,002$ $p_{2-4} < 0,001$
Отведение, град.		140 (140;150)	130 (120;142,5)	120 (117,5;130)	125 (120;142,5)	130 (125;140)	0,058
Наружная ротация, град.		50 (40;50)	55 (50;62,5)	40 (40;55)	45 (40;50)	40 (35;45)	<0,001 $p_{2-4} = 0,016$ $p_{2-5} < 0,001$
Внутренняя ротация, абс. (%)	Я	1 (6,7%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	6 (40,0%)	0,060
	КПС	5 (33,3%)	5 (33,3%)	6 (40,0%)	8 (53,3%)	6 (40,0%)	
	L3	6 (40,0%)	7 (46,7%)	5 (33,3%)	6 (40,0%)	2 (13,3%)	
	T12	3 (20,0%)	2 (13,3%)	3 (20,0%)	1 (6,7%)	1 (6,7%)	
	T7	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	
АПИ, мм		4 (4;5)	4 (4;4,5)	5 (4;5)	5 (4;5)	–	0,082
ВАШ, баллы		2 (2;3)	1 (1;2)	1 (1;2)	2 (1,5;2,5)	1 (1;1,5)	0,021 $p_{1-5} = 0,032$
CMS, баллы		71,5±4,7	71,5±4,5	70,8±4,3	67,5±4,5	65,7±6,4	0,003 $p_{1-5} = 0,017$ $p_{2-5} = 0,019$ $p_{3-5} = 0,044$
ASES, баллы		77,9±6,6	72,3±6,6	72,2±4,0	70,5±5,5	73,9±5,0	0,008 $p_{1-4} = 0,006$

Спустя 6 мес. после операции сравнительный анализ выявил статистически значимые различия в показателях активного отведения ($p = 0,05$), наружной ротации ($p = 0,005$), интенсивности болевого синдрома ($p = 0,004$) и CMS ($p = 0,010$). Стоит отметить, что попарный апостериорный анализ показателей отведения в плечевом суставе выявил различия ($p = 0,006$) между группами ЧАЯШ и РЭПС, однако после введения поправки на множественные сравнения различия были выявлены на уровне статистической тенденции ($p = 0,060$). Также было выявлено, что по показателям наружной ротации группа РЭПС статистически значимо уступает группам ЧАЯШ ($p = 0,029$) и ЗТСШМС ($p = 0,003$). Интенсивность болевого синдрома, напротив, в группе РЭПС была статистически значимо ниже, чем в группе ЧАЯШ ($p = 0,002$). Показатели шкалы CMS были статистически значимо выше в группе ЗТСШМС, чем в группе РЭПС ($p = 0,021$).

Также анализ показал, что ЗТСШМС обеспечивает статистически значимо ($p < 0,001$) более высокий прирост показателя наружной ротации, чем другие методы лечения, ПТСШМС обеспечивает статистически значимо ($p = 0,004$) более высокий прирост показателя внутренней ротации, чем ЗТСШМС ($p = 0,013$) и ТСБГМ ($p = 0,004$), а в отношении болевого синдрома РЭПС обеспечивает статистически значимо ($p = 0,035$) большее его снижение, чем ЧАЯШ ($p = 0,033$).

Спустя 12 мес. после операции были выявлены статистически значимые различия по показателям активного сгибания ($p < 0,001$), наружной ротации ($p < 0,001$), интенсивности болевого синдрома ($p = 0,021$), CMS ($p = 0,003$) и ASES ($p = 0,008$). Так, по показателям активного сгибания группа ТСБГМ статистически значимо уступала группам ЧАЯШ ($p < 0,001$) и ЗТСШМС ($p < 0,001$), группа РЭПС также статистически значимо уступала группам ЧАЯШ ($p = 0,029$) и ЗТСШМС ($p = 0,002$). Группа ЗТСШМС продемонстрировала статистически значимо более высокие показатели наружной ротации, чем группы ТСБГМ ($p = 0,016$) и РЭПС ($p < 0,001$). По показателям шкалы CMS группа РЭПС продемонстрировала статистически значимо более низкие показатели, чем группы ЧАЯШ ($p = 0,017$), ЗТСШМС ($p = 0,019$) и ПТСШМС ($p = 0,044$). По показателям шкалы субъективной оценки ASES было выявлено, что группа ЧАЯШ демонстрирует статистически значимо более высокие результаты, чем группа ТСБГМ ($p = 0,006$).

Также было выявлено, что ЗТСШМС обеспечивает статистически значимо более высокий прирост сгибания, чем ТСБГМ ($p = 0,046$). Более того, прирост показателя наружной ротации в группе ЗТСШМС ($24,7 \pm 7,4$) также был статистически значимо более высоким ($p < 0,001$), чем в группах ЧАЯШ ($p < 0,001$), ПТСШМС ($p = 0,003$) и ТСБГМ ($p < 0,001$).

По приросту показателя внутренней ротации также были выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$), в группе ПТСШМС этот показатель был выше, чем в группах ТСБГМ ($p < 0,001$) и РЭПС ($p = 0,004$).

При анализе МРТ-исследований у пациентов групп ЧАЯШ, ЗТСШМС, ПТСШМС и ТСБГМ было выявлено, что приживление сухожилий во всех группах соответствовало 1-й и 2-й степени по классификации Н. Sugaya [20], АПИ статистически значимо увеличился во всех группах в динамике ($p < 0,05$), однако значимых различий между группами на всех сроках наблюдения выявлено не было. В группе РЭПС был выявлен один случай (6,7%) остеолита диафиза плечевой кости в зоне 1 по классификации F. Sirveaux [22], однако клинически это никак не проявлялось.

Осложнения

В группе ЧАЯШ было выявлено одно осложнение (6,7%) в виде гематомы в области оперативного вмешательства.

В группе ЗТСШМС было выявлено 2 осложнения (13,3%): 1 (6,7%) гематома в области оперативного вмешательства и 1 (6,7%) инфекция области хирургического вмешательства в области подмышечного доступа. Спустя 4 нед. после вмешательства у пациента появились локальные признаки инфекции области хирургического вмешательства в виде гиперемии краев раны и отделяемого, сопровождающиеся подъемом температуры тела. Был назначен эмпирический курс антибактериальной терапии (ванкомицин + ципрофлоксацин) на 14 дней и взят образец отделяемого из раны для бактериального посева. По результатам посева получили рост *Propionibacterium acnes*. На фоне антибактериальной терапии удалось купировать инфекцию, рана зажила вторичным натяжением. Несмотря на такое осложнение, результат операции был достигнут, повторного вмешательства не потребовалось.

В группе ПТСШМС было выявлено 1 (6,7%) осложнение в виде гематомы в области оперативного вмешательства.

В группе ТСБГМ было выявлено 2 (13,3%) осложнения в виде гематомы в области оперативного вмешательства.

В группе РЭПС было выявлено 6 (40%) осложнений в виде гематомы в области оперативного вмешательства.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе нашего исследования результаты во многом соотносятся с данными, представленными ранее в литературе [1, 2, 23, 24].

Было выявлено, что клиничко-функциональные результаты на ближайших сроках наблюдения

(12 мес.) после ЧАЯШ и различных вариантов трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины являются сопоставимыми по показателям активной элевации плечевого сустава, болевого синдрома и клинико-функциональных шкал, в то же время превосходя результаты реверсивного эндопротезирования и трансфера сухожилия большой грудной мышцы.

Частичное восстановление вращательной манжеты, предложенное S.S. Burkhart с соавторами [25], по данным различных исследований, демонстрирует хорошие результаты в ближайшие и средние сроки наблюдений, однако ряд авторов утверждают, что восстановление горизонтального баланса сил не позволяет компенсировать все нарушения биомеханики и в долгосрочной перспективе не дает желаемого результата [23, 25, 26, 27, 28]. Данный факт подтверждается тем, что в профильной литературе приводятся данные о том, что после выполнения частичного артроскопического якорного шва, полученные в ближайшие сроки наблюдения результаты имеют тенденцию к ухудшению со временем. Более того, данное вмешательство демонстрирует высокую частоту повторных разрывов и неудовлетворительных исходов (до 45%) [1, 2, 24, 29].

ТСШМС является хорошо изученным методом хирургического лечения, который демонстрирует хорошие результаты и может использоваться для коррекции как задневерхних, так и передневерхних разрывов [30, 31, 32]. Доступные в литературе результаты исследований применения различных вариантов трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины имеют долгосрочные наблюдения только в отношении открытых техник, хотя результаты применения артроскопически ассистированных и полностью артроскопических техник также являются весьма обнадеживающими. Частота разрывов транспонированного сухожилия весьма изменчива от источника к источнику, что объясняется различными вариантами фиксации сухожилия и его аугментацией. Следует отметить, что использование артроскопического ассистирования снижает частоту возможных неврологических осложнений [1, 31, 32, 33].

ТСБГМ также позволяет уменьшить болевой синдром, улучшить показатели клинико-функциональных шкал, однако в меньшей степени позволяет восстановить амплитуду движений [34, 35, 36]. Применение трансфера сухожилия большой грудной мышцы демонстрирует удовлетворительные результаты, хотя, по данным литературы, они также могут ухудшаться со временем [1, 15, 37, 38]. Однако тот факт, что данное вмешательство сопоставимо по показателям амплитуды активных движений и клинико-функциональных шкал с реверсивным эндопротезированием, позволяет рас-

сматривать его как один из возможных вариантов хирургического лечения.

Следует обратить внимание на то, что в настоящее время ведется активное изучение и других реконструктивных вмешательств для пациентов с невосстановимыми повреждениями вращательной манжеты.

Реконструкция верхней капсулы плечевого сустава и использование различных субакромиальных интерпозитов являются относительно молодыми методиками лечения, демонстрирующими хорошие результаты, и весьма перспективными. Стоит отметить, что данные вмешательства позволяют скорректировать лишь нарушение вертикального баланса сил, в связи с чем следует рассматривать их применение как дополнительную опцию в сочетании с другими хирургическими методами [39, 40, 41, 42].

Трансфер нижней части трапециевидной мышцы был не так давно описан как более физиологическая альтернатива ТСШМС за счет более выгодного вектора сил и продемонстрировал многообещающие клинические и биомеханические результаты, однако в этом направлении все еще наблюдается недостаток долгосрочных наблюдений [43, 44].

Реверсивное эндопротезирование плечевого сустава доказало свою надежность в плане облегчения болевого синдрома и улучшения функции плечевого сустава даже у пациентов с повреждениями вращательной манжеты, вовлекающими малую круглую мышцу и нижнюю часть подлопаточной мышцы. Но данное вмешательство является высокоинвазивным и весьма тяжелым с точки зрения ревизионных вмешательств, в связи с чем его использование у пациентов в возрасте моложе 65 лет и пациентов с высокими функциональными запросами считается спорным [45, 46, 47, 48, 49]. По результатам нашего исследования данное вмешательство оказалось наиболее прогнозируемым. Применение данного метода у профильных пациентов позволило обеспечить хорошие функциональные результаты и низкую интенсивность болевого синдрома, более того, было отмечено, что реабилитация после данных вмешательств проходила значительно легче.

Ближайшие результаты применения рассматриваемых методов демонстрируют, что применение РЭПС не является безальтернативным вариантом лечения профильных пациентов и следует рассматривать другие суставосберегающие вмешательства как вариант выбора у пациентов молодого возраста и с высоким функциональным запросом.

Данное исследование демонстрирует, что ТСШМС обеспечивает лучший функциональный результат по сравнению с РЭПС, а литературные

источники указывают, что он не ухудшается со временем в отличие от ЧАЯШ [27, 30, 32, 33, 38]. Изучение в сравнительном плане результатов лечения других предлагаемых «молодых» вмешательств позволит более четко установить показания и, тем самым, разработать универсальный алгоритм выбора тактики хирургического лечения профильных больных.

Ограничение исследования

Безусловно, стоит отметить, что данное исследование ограничено малым числом пациентов и небольшими сроками наблюдения. Это обуславливает необходимость дальнейшего накопления клинического материала и отслеживания резуль-

татов, а также сравнения с предлагаемыми новыми методами лечения профильных больных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение частичного артроскопического якорного шва, трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины и трансфера большой грудной мышцы в ближайшие сроки наблюдения дает сравнимые и более высокие результаты в сравнении с применением реверсивного эндопротезирования плечевого сустава. Данный факт позволяет рассматривать суставосберегающие вмешательства как вариант выбора у пациентов с массивными невосстановимыми разрывами вращательной манжеты.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Kovacevic D., Suriani R.J. Jr., Grawe B.M., Yian E.H., Gilotra M.N., Hasan S.A. et al. American Shoulder and Elbow Surgeons Massive Cuff Evaluation and Research Initiative (ASES MERIT) Investigators. Management of irreparable massive rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes, reoperation rates, and treatment response. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(12):2459-2475. doi: 10.1016/j.jse.2020.07.030.
- Oh J.H., Park M.S., Rhee S.M. Treatment Strategy for Irreparable Rotator Cuff Tears. *Clin Orthop Surg.* 2018;10(2):119-134. doi: 10.4055/cios.2018.10.2.119.
- Dey Hazra M.E., Dey Hazra R.O., Hanson J.A., Ganokroj P., Vopat M.L., Rutledge J.C. et al. Treatment options for massive irreparable rotator cuff tears: a review of arthroscopic surgical options. *EFORT Open Rev.* 2023;8(1):35-44. doi: 10.1530/EOR-22-0015.
- Clark N.J., Elhassan B.T. The Role of Tendon Transfers for Irreparable Rotator Cuff Tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(1):141-149. doi: 10.1007/s12178-018-9468-1.
- Gerber C., Fuchs B., Hodler J. The results of repair of massive tears of the rotator cuff. *Bone Joint Surg Am.* 2000;82(4):505-515. doi: 10.2106/00004623-200004000-00006.
- Goutallier D., Postel J.M., Bernageau J., Lavau L., Voisin M.C. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(304):78-83.
- Warner J.J. Management of massive irreparable rotator cuff tears: the role of tendon transfer. *Instr Course Lect.* 2001;50:63-71.
- Neer C.S., Craig E.V., Fukuda H. Cuff-tear arthropathy. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(9):1232-1244.
- Burkhart S.S. Arthroscopic treatment of massive rotator cuff tears: clinical results and biomechanical rationale. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;267:45-56.
- Hamada K., Fukuda H., Mikasa M., Kobayashi Y. Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears. A long-term observation. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(254):92-96.
- Patte D. Classification of rotator cuff lesions. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(254):81-86.
- Lafosse L., Jost B., Reiland Y., Audebert S., Toussaint B., Gobezie R. Structural integrity and clinical outcomes after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(6):1184-1193. doi: 10.2106/JBJS.F.00007.
- Jermolajevs V., Kordasiewicz B. Arthroscopically Assisted Latissimus Dorsi Tendon Transfer in Beach-Chair Position. *Arthrosc Tech.* 2015;4(4):359-363. doi:10.1016/j.eats.2015.03.014.
- Wieser K., Hasler J. Arthroscopic-Assisted Anterior Latissimus Dorsi Transfer for Irreparable Anterior Rotator Cuff Tear: A Technical Note. *Arthrosc Tech.* 2021;10(2):263-267. doi: 10.1016/j.eats.2020.10.002.
- Elhassan B.T., Ozbaydar M., Massimini D., Diller D., Higgins L., Warner J.J. Transfer of pectoralis major for the treatment of irreparable tears of subscapularis: does it work? *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(8):1059-1065. doi: 10.1302/0301-620X.90B8.20659.
- Werner C.M., Steinmann P.A., Gilbert M., Gerber C. Treatment of painful pseudoparesis due to irreparable rotator cuff dysfunction with the Delta III reverse-ball-and-socket total shoulder prosthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(7):1476-1486. doi: 10.2106/JBJS.D.02342.

17. Ильин Д.О., Макарьева О.В., Макарьев М.Н., Логвинов А.Н., Магнитская Н.Е., Рязанцев М.С. и др. Кросс-культурная адаптация и валидация стандартизированной шкалы American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES). *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):116-126. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126. P'in D.O., Makarieva O.V., Makariev M.N., Logvinov A.N., Magnitskaya N.E., Ryazantsev M.S. et al. American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Assessment Form: Russian Cross-Cultural Adaptation and Validation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):116-126. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126. (In Russian).
18. Липина М.М., Лычагин А.В., Архипов С.В., Калинин Е.Б., Алиев Р.И., Явлиева Р.Х. и др. Адаптация основных опросников, применяемых для оценки состояния и функции плечевого сустава при боли в суставе различной этиологии. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2018;4(34):44-50. doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.4.44-50. Lipina M.M., Lychagin A.V., Archipov S.V., Kalinsky E.B., Aliev R.I., Yavliyva R.H. et al. Adaptation of key questionnaires used for the assessment of the condition and function of a shoulder joint in patients with pain syndromes of different etiologies. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2018;4(34):44-50. doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.4.44-50. (In Russian).
19. Ellman H. Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears. Classified partial-thickness rotator cuff tears. *Clin Orthop*. 1990;254:64-74.
20. Sugaya H., Maeda K., Matsuki K., Moriishi J. Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. *Arthroscopy*. 2005;21(11):1307-1316. doi: 10.1016/j.arthro.2005.08.011.
21. Melis B., DeFranco M., Lädermann A., Molé D., Favard L., Nérot C. et al. An evaluation of the radiological changes around the Grammont reverse geometry shoulder arthroplasty after eight to 12 years. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93-B(9):1240-1246. doi: 10.1302/0301-620X.93B9.25926.
22. Sirveaux F., Favard L., Oudet D., Huquet D., Walch G., Molé D. Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. *J Bone Joint Surg*. 2004;86(3):388-395. doi: 10.1302/0301-620X.86B3.14024.
23. Baverel L.P., Bonneville N., Joudet T., Valenti P., Kany J., Grimberg J. et al. Short-term outcomes of arthroscopic partial repair vs. latissimus dorsi tendon transfer in patients with massive and partially repairable rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg*. 2021;30(2):282-289. doi: 10.1016/j.jse.2020.06.002.
24. Carver T.J., Kraeutler M.J., Smith J.R., Bravman J.T., McCarty E.C. Nonarthroplasty Surgical Treatment Options for Massive, Irreparable Rotator Cuff Tears. *Orthop J Sports Med*. 2018;6(11):2325967118805385. doi: 10.1177/2325967118805385.
25. Burkhart S.S., Nottage W.M., Ogilvie-Harris D.J., Kohn H.S., Pachelli A. Partial repair of irreparable rotator cuff tears. *Arthroscopy*. 1994;10(4):363-370.
26. Kim S.J., Lee I.S., Kim S.H., Lee W.Y., Chun Y.M. Arthroscopic partial repair of irreparable large to massive rotator cuff tears. *Arthroscopy*. 2012;28(6):761-768. doi: 10.1016/j.arthro.2011.11.018.
27. Galasso O., Riccelli D.A., De Gori M., De Benedetto M., Orlando N., Gasparini G. et al. Quality of Life and Functional Results of Arthroscopic Partial Repair of Irreparable Rotator Cuff Tears. *Arthroscopy*. 2017;33(2):261-268. doi: 10.1016/j.arthro.2016.06.024.
28. Iagulli N.D., Field L.D., Hobgood E.R., Ramsey J.R., Savoie F.H. 3rd. Comparison of partial versus complete arthroscopic repair of massive rotator cuff tears. *Am J Sports Med*. 2012;40(5):1022-1026. doi: 10.1177/0363546512438763.
29. Shon M.S., Koh K.H., Lim T.K., Kim W.J., Kim K.C., Yoo J.C. Arthroscopic Partial Repair of Irreparable Rotator Cuff Tears: Preoperative Factors Associated With Outcome Deterioration Over 2 Years. *Am J Sports Med*. 2015;43(8):1965-1975. doi: 10.1177/0363546515585122.
30. Gerber C., Rahm S.A., Catanzaro S., Farshad M., Moor B.K. Latissimus dorsi tendon transfer for treatment of irreparable posterosuperior rotator cuff tears: long-term results at a minimum follow-up of ten years. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(21):1920-1926. doi: 10.2106/jbjs.M.00122.
31. Saremi H., Amini M., Seifrabiei M. Comparison of Anterior and Posterior Transfer of Latissimus Dorsi Tendon to Humeral Head in Patients with Massive and Irreparable Rotator Cuff Tear. *Arch Bone Joint Surg*. 2023;11(4):236-240. doi: 10.22038/ABJS.2023.68222.3226.
32. Velasquez Garcia A., Nieboer M.J., de Marinis R., Morrey M.E., Valenti P., Sanchez-Sotelo J. Mid- to long-term outcomes of latissimus dorsi tendon transfer for massive irreparable posterosuperior rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2024;33(4):959-974. doi: 10.1016/j.jse.2023.10.002.
33. Memon M., Kay J., Quick E., Simunovic N., Duong A., Henry P. et al. Arthroscopic-Assisted Latissimus Dorsi Tendon Transfer for Massive Rotator Cuff Tears: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2018;6(6):2325967118777735. doi: 10.1177/2325967118777735.
34. Resch H., Povacz P., Ritter E., Matschi W. Transfer of the pectoralis major muscle for the treatment of irreparable rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82(3):372-382. doi: 10.2106/00004623-200003000-00008.
35. Gavriilidis I., Kircher J., Magosch P., Lichtenberg S., Habermeyer P. Pectoralis major transfer for the treatment of irreparable anterosuperior rotator cuff tears. *Int Orthop*. 2010;34(5):689-694. doi: 10.1007/s00264-009-0799-9.
36. Jost B., Puskas G.J., Lustenberger A., Gerber C. Outcome of pectoralis major transfer for the treatment of irreparable subscapularis tears. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(10):1944-1951. doi: 10.2106/00004623-200310000-00012.
37. Tytgat H., Macdonald P., Verhaegen F. Management of irreparable subscapularis tears: Current concepts. *J ISAKOS*. 2024;9(1):53-58. doi: 10.1016/j.jisako.2023.10.010.
38. Zhou X., Zhang X., Jin X., Deng J., Zhang Z., Yu Y. Multiple surgical treatment comparisons for irreparable rotator cuff tears: A network meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(22):e33832. doi: 10.1097/MD.00000000000033832.
39. Prat D., Tenenbaum S., Pritsch M., Oran A., Vogel G. Sub-acromial balloon spacer for irreparable rotator cuff tears: Is it an appropriate salvage procedure? *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2018;26(2). doi: 10.1177/2309499018770887.

40. Mihata T., Lee T.Q., Watanabe C., Fukunishi K., Ohue M., Tsujimura T. et al. Clinical results of arthroscopic superior capsule reconstruction for irreparable rotator cuff tears. *Arthroscopy*. 2013;29(3):459-470. doi: 10.1016/j.arthro.2012.10.022.
41. Ravenscroft M., Barnes M.W., Muench L.N., Mazzocca A.D., Berthold D.P. Bursal Acromial Reconstruction (BAR) Using an Acellular Dermal Allograft as a Surgical Solution for the Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears. *Arthrosc Tech*. 2021;10(3):877-885. doi: 10.1016/j.eats.2020.11.002.
42. Ting R.S., Rosenthal R., Al-Housni H.S.A., Lam P.H., Murrell G.A.C. Factors influencing clinical outcomes in superior capsular reconstruction: A scoping review. *J Clin Orthop Trauma*. 2022;36:102081. doi: 10.1016/j.jcot.2022.102081.
43. Clouette J., Leroux T., Shanmugaraj A., Khan M., Gohal C., Veillette C. et al. The lower trapezius transfer: a systematic review of biomechanical data, techniques, and clinical outcomes. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29(7):1505-1512. doi: 10.1016/j.jse.2019.12.019.
44. Elhassan B.T., Wagner E.R., Werthel J.D. Outcome of lower trapezius transfer to reconstruct massive irreparable posterior-superior rotator cuff tear. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(8):1346-1353. doi: 10.1016/j.jse.2015.12.006
45. Affonso J., Nicholson G.P., Frankle M.A., Walch G., Gerber C., Garzon-Muvdi J. et al. Complications of the reverse prosthesis: prevention and treatment. *Instr Course Lect*. 2012;61:157-168.
46. Petrillo S., Longo U.G., Papalia R., Denaro V. Reverse shoulder arthroplasty for massive irreparable rotator cuff tears and cuff tear arthropathy: a systematic review. *Musculoskelet Surg*. 2017;101(2):105-112. doi: 10.1007/s12306-017-0474-z
47. Boileau P., Gonzalez J.F., Chuinard C., Bicknell R., Walch G. Reverse total shoulder arthroplasty after failed rotator cuff surgery. *J Shoulder Elbow Surg*. 2009;18(4):600-606. doi: 10.1016/j.jse.2009.03.011.
48. Mulieri P., Dunning P., Klein S., Pupello D., Frankle M. Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of irreparable rotator cuff tear without glenohumeral arthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2010; 92(15):2544-2556. doi: 10.2106/JBJS.I.00912.
49. Franceschi F., Giovannetti de Sanctis E., Gupta A., Athwal G.S., Di Giacomo G. Reverse shoulder arthroplasty: State-of-the-art. *J ISAKOS*. 2023;8(5):306-317. doi: 10.1016/j.jisako.2023.05.007.

Сведения об авторах

✉ Шершнев Андрей Максимович

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>
e-mail: andreysersh@gmail.com

Доколин Сергей Юрьевич — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>
e-mail: sdokolin@gmail.com

Кузьмина Владислава Игоревна — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>
e-mail: tasha_777@bk.ru

Стафеев Дмитрий Викторович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0009-0001-4332-2574>
e-mail: stafeevd@gmail.com

Кутузов Матвей Олегович
<https://orcid.org/0000-0001-8746-5414>
e-mail: kutuzovsky1995@gmail.com

Authors' information

✉ Andrei M. Shershnev

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>
e-mail: andreysersh@gmail.com

Sergei Yu. Dokolin – Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>
e-mail: sdokolin@gmail.com

Vladislava I. Kuzmina – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>
e-mail: tasha_777@bk.ru

Dmitry V. Stafeev – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0009-0001-4332-2574>
e-mail: stafeevd@gmail.com

Matvei O. Kutuzov
<https://orcid.org/0000-0001-8746-5414>
e-mail: kutuzovsky1995@gmail.com



Кросс-культурная адаптация и валидация шкалы Single Assessment Numeric Evaluation для оценки состояния плечевого сустава

А.М. Газимиев¹, Д.О. Ильин^{2,3}, Е.С. Конева¹, А.Н. Логвинов², Ж.Ю. Пилипсон²,
А.В. Фролов^{2,3}, К.В. Лядов¹, Е.Е. Ачкасов¹, А.В. Королёв^{2,3}

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

² Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) Score — широко используемая в мировом медицинском сообществе цифровая шкала оценки по одному ответу. Однако до настоящего времени она не проходила процесс адаптации и валидации для использования на русском языке, в частности применительно к оценке состояния плечевого сустава.

Целью работы является кросс-культурная адаптация и валидация шкалы SANE для оценки состояния плечевого сустава у пациентов ортопедического профиля.

Материал и методы. В исследование были включены 160 пациентов с разными заболеваниями области плеча, в том числе 101 (63%) мужчина и 59 (37%) женщин. Медиана возраста составила 45 лет (37–52). На первом этапе исследования была проведена кросс-культурная адаптация русскоязычной версии шкалы SANE. Вторым этапом являлась валидация полученной шкалы. Были оценены ее надежность, валидность и чувствительность. Надежность оценивалась методом «тест-ретест», с помощью которого у отобранной группы был оценен коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC — intra-class correlation coefficient) между результатами SANE при первичном обращении и повторно через 14 дней. Валидность оценивалась на основании сравнительного анализа результатов шкалы SANE и опросника ASES, уже адаптированного в России. Оценка чувствительности проводилась с помощью статистического анализа для двух зависимых выборок и вычисления индекса чувствительности опросника Guyatt's Responsiveness Index (GRI). Эффекты максимальных и минимальных значений были оценены как процент пациентов с минимальными или максимальными значениями ответов по шкале.

Результаты. При оценке психометрических свойств шкалы SANE были выявлены высокие показатели надежности (ICC = 0,77), валидности (сильная прямая корреляция между шкалами SANE и ASES — 0,707; средней силы обратная корреляция с подразделом «интенсивность болевого синдрома» шкалы ASES — 0,542) и чувствительности (GRI = 1,861). Эффекты «пола» и «потолка» составили <1% и 3% соответственно (все показатели ниже 15%).

Заключение. Адаптированная с целью оценки состояния плечевого сустава русская версия шкалы SANE обладает хорошими психометрическими показателями. Ее преимуществом является сочетание скорости заполнения и удобства в использовании с качественной интегрированной субъективной оценкой пациентом комплекса имеющихся у него жалоб.

Ключевые слова: кросс-культурная адаптация, патология плечевого сустава, шкала оценки, SANE, ASES, DASH, психометрические свойства опросника.

Для цитирования: Газимиев А.М., Ильин Д.О., Конева Е.С., Логвинов А.Н., Пилипсон Ж.Ю., Фролов А.В., Лядов К.В., Ачкасов Е.Е., Королёв А.В. Кросс-культурная адаптация и валидация шкалы Single Assessment Numeric Evaluation для оценки состояния плечевого сустава *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2): 109-119. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17502>.

Газимиев Артур Магомедович; e-mail: a.gazimiev@yandex.ru

Рукопись получена: 18.03.2024. Рукопись одобрена: 20.05.2024. Статья опубликована онлайн: 14.06.2024.

© Газимиев А.М., Ильин Д.О., Конева Е.С., Логвинов А.Н., Пилипсон Ж.Ю., Фролов А.В., Лядов К.В., Ачкасов Е.Е., Королёв А.В., 2024



Single Assessment Numeric Evaluation Score in Shoulder Pathologies: Cross-Cultural Adaptation and Validation into Russian

Arthur M. Gazimiev¹, Dmitriy O. Ilyin^{2,3}, Elizaveta S. Koneva¹, Aleksey N. Logvinov², Zhanna Yu. Pilipson², Aleksandr V. Frolov^{2,3}, Konstantin V. Lyadov¹, Evgenii E. Achkasov¹, Andrey V. Korolev^{2,3}

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

² European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

Abstract

Background. Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) Score is a single-answer scale widely used within the global medical community. However, to date, it has not been adapted and validated into Russian, particularly as a tool to assess orthopedic shoulder conditions.

The aim of the study is to conduct a cross-cultural adaptation and validation of the Russian version of the SANE score as an assessment tool of orthopedic shoulder conditions.

Methods. The study included a total of 160 patients with various shoulder pathologies, of which 101 (63%) males and 59 (37%) females. The median age was 45 (37-52) years. At the first stage of the study, we performed cross-cultural adaptation of the SANE score into Russian. The second stage was the validation of the obtained score. Its reliability, validity and responsiveness were evaluated. Reliability was assessed by "test-retest" method. It allowed to measure an intra-class correlation coefficient (ICC) between the SANE score results obtained at the time of the first appointment and again in 14 days. The validity assessment was based on the comparison of the SANE and ASES (have already been adapted into Russian) score results. Responsiveness was assessed using statistical analysis for two dependent samples and calculation of the Guyatt's Responsivity Index (GRI). Floor and ceiling effects were evaluated as the percentage of patients who reported either minimum or maximum scores.

Results. The psychometric properties assessment has revealed good indicators of reliability (ICC = 0.77), validity (a strong direct correlation between SANE and ASES scores = 0.707; a moderate strength inverse correlation with ASES "Intensity of pain" subsection = 0.542) and responsiveness (GRI = 1.861). Floor and ceiling effects accounted for <1% and 3%, respectively, (all below 15%).

Conclusions. Adapted to assess the shoulder conditions, the Russian version of the SANE score has good psychometric properties. Its advantage is the combination of completion speed and ease of use with a high-quality integrated subjective assessment of the patients' set of complaints.

Keywords: cross-cultural adaptation, shoulder pathology, assessment scale, SANE, ASES, DASH, psychometric properties.

Cite as: Gazimiev A.M., Ilyin D.O., Koneva E.S., Logvinov A.N., Pilipson Zh.Yu., Frolov A.V., Lyadov K.V., Achkasov E.E., Korolev A.V. Single Assessment Numeric Evaluation Score in Shoulder Pathologies: Cross-Cultural Adaptation and Validation into Russian. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):109-119. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17502>.

✉ Arthur M. Gazimiev; e-mail: a.gazimiev@yandex.ru

Submitted: 18.03.2024. Accepted: 20.05.2024. Published Online: 14.06.2024.

© Gazimiev A.M., Ilyin D.O., Koneva E.S., Logvinov A.N., Pilipson Zh.Yu., Frolov A.V., Lyadov K.V., Achkasov E.E., Korolev A.V., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Жалобы на боль и ухудшение функции плечевого сустава являются одними из самых частых со стороны опорно-двигательного аппарата, а также входят в число основных причин обращений к врачу по поводу хронической боли [1, 2, 3].

Согласно J.J. Luime с соавторами, боль в плече среди взрослых моложе 70 лет встречается у 7–27% человек, старше 70 лет — у 13,2–26,0%, а в течение жизни с ней встречаются до 67% опрошенных [4]. Боли, связанные с повреждением вращательной манжеты, занимают третье место по распространенности (16%) среди всех локализаций скелетно-мышечной боли, уступая лишь болям в спине (23%) и коленном суставе (19%) [1, 5].

Правильная оценка состояния плечевого сустава является первоначальным и ключевым этапом построения всего плана лечения. Последующие повторные измерения помогают в динамике оценить качество проводимой терапии, ее результативность, сроки достижения тех или иных улучшений [6].

Большую значимость имеет субъективная оценка пациентом своего состояния. С целью систематизации этой информации часто используются валидированные шкалы, анкеты и опросники. Они позволяют количественно отобразить состояние здоровья пациента, оценить его динамику при повторных опросах.

Согласно последним клиническим рекомендациям S. Lafrance с соавторами, для информативной оценки состояния плечевого сустава рекомендуется применение ряда принятых в мировом медицинском сообществе ортопедических шкал и опросников, к которым относят [7]: American Shoulder and Elbow Surgeons Shoulder Score (ASES); Constant-Murley Score (CMS); Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) and the short version (QuickDASH); Oxford Shoulder Score (OSS); Rotator Cuff Quality of Life Index (RC-QOL); Shoulder Pain and Disability Index (SPADI); Simple Shoulder Test (SST); Upper Extremity Functional Index (UEFI); Western Ontario Rotator Cuff (WORC) Index.

В Российской Федерации с целью оценки состояния плечевого сустава используются несколько международных адаптированных и валидированных опросников, в частности DASH, предложенный в 1996 г. [8, 9], не являющийся специфичным для поражений плечевого сустава, и ASES [10, 11]. Опросник ASES был адаптирован и валидирован на разных языках: турецком [12], немецком [13], португальском [15], итальянском [16], финском [17], испанском [18], арабском [19], русском [10]. Доказаны его отличные психометрические показатели [9, 11, 14].

С целью упрощения и ускорения процесса анкетирования зарубежные врачи часто прибегают

к использованию шкал с единственным вопросом (single answer measure/single answer survey/One-Question Patient-Reported Outcome Measure). Наиболее известной из таких оценочных шкал является визуально-аналоговая шкала (ВАШ). Она проста в использовании, однако отражает исключительно оценку пациентом уровня беспокоящей его боли, и если речь идет об ортопедическом заболевании, не дает данных о функциональном статусе сустава/конечности. Она служит скорее дополнением к другим, более специфичным опросникам [20, 21].

Шкала SANE (Single Assessment Numeric Evaluation Score — шкала единой числовой оценки) [22] широко используется в зарубежных научных исследованиях с целью оценки состояния пациентов с рядом скелетно-мышечных патологий [23], в том числе плечевого сустава [24, 25, 26, 27], а также после хирургических вмешательств на плече [28]. Она была впервые представлена G.N. Williams с соавторами в 1999 г. в виде вопроса “How would you rate your shoulder today as a percentage of normal (0% to 100% scale with 100% being normal)?” с целью создания более простого метода оценки состояния плечевого сустава у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство [22]. Впоследствии ее стали применять и для оценки состояния других суставов: коленного [29, 30] и тазобедренного [31, 32, 33]. В литературе валидность SANE была оценена и доказана путем определения наличия корреляции результатов тестирования со специфичными для плечевого сустава опросниками ASES, Rowe, Constant score, SST и другими [22, 34, 35].

По данным ряда исследований, при оценке валидности SANE корреляции между данной шкалой и другими шкалами, оценивающими состояние плечевого сустава (в том числе ASES), составили от 0,5 до 0,9 (от среднего до очень сильного уровня корреляции), коэффициент внутрикласовой корреляции (Intra-class Correlation Coefficient — ICC) более 0,80 (высокий уровень внутрикласовой корреляции) [22, 36, 37].

Эта шкала была адаптирована для использования на разных языках, ее отличные психометрические свойства были доказаны результатами ряда исследований [24, 26, 34, 36]. Она удобна в использовании, состоит из единственного вопроса и при этом эффективно отражает субъективную оценку состояния плечевого сустава [24, 36, 37].

Авторы вышеобозначенных работ приходят к мнению, что SANE следует рассматривать как удобное дополнение к другим субъективным опросникам и шкалам, используемым врачами в клинической практике. Однако на данный момент шкала не проходила процесс адаптации и валидации на русском языке.

Целью работы является кросс-культурная адаптация и валидация шкалы SANE для оценки состояния плечевого сустава у пациентов ортопедического профиля.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Кросс-культурная адаптация

Шкала SANE представляет собой ответ пациента на один вопрос о состоянии своего плечевого сустава, выраженный в процентах от 0 до 100, где 0% — худший результат, 100% — лучший.

В зарубежных источниках можно встретить отличающиеся формы постановки вопроса перед пациентом:

– “How would you rate your shoulder today as a percentage of normal (0% to 100% scale with 100% being normal)?” [22, 24, 25, 38];

– “What percentage of normal is your shoulder from zero to 100% if zero is completely abnormal and 100 is completely normal?” [37];

– “What percentage of normal is your shoulder on a rating scale from 0% to 100% ?” [39].

Однако изначально предложенной G.N. Williams в 1999 г. и наиболее часто применяемой формулировкой является первая, поэтому именно она и была взята за основу последующей адаптации и валидации на русский язык. Культурная адаптация и валидация оценочной шкалы SANE проводилась согласно международным рекомендациям в соответствии с описанным ниже алгоритмом [10, 34, 40, 41].

1. Прямой перевод. Два переводчика — носители русского языка с высшим медицинским образованием незнакомые с опросником SANE — осуществляют независимые прямые переводы шкалы с английского языка на русский: T1 и T2.

2. Оценка переводов экспертным комитетом, состоящим из лингвиста, специалиста в области медицины и координатора от группы разработчиков, владеющих русским и английским языками, и согласование переводов T1 и T2 совместно с переводчиками с последующим вынесением предварительного русскоязычного варианта шкалы SANE — T-12.

3. Обратный перевод. Два переводчика — носители английского языка без высшего медицинского образования, говорящие на русском языке, не принимавшие участия в предыдущих этапах языковой адаптации — выполняют два независимых обратных перевода предварительной версии шкалы на английский язык — BT1 и BT2.

4. Совместная оценка экспертным комитетом и переводчиками полученных переводов.

5. Пилотное тестирование русскоязычной версии шкалы среди 30 пациентов для оценки правдоподобности, приемлемости и ясности вопросов тест-версии шкалы.

6. Анализ результатов предварительного тестирования. Внесения дополнительных изменений в шкалу не потребовалось.

Следуя данному алгоритму, была получена оценочная шкала, максимально приближенная к культурным и языковым особенностям русскоязычного населения: «На сколько процентов от нормального Вы бы сегодня оценили состояние своего плечевого сустава? (от 0 до 100%, где 100% это норма)».

Валидация

В исследование были включены 160 пациентов с различными заболеваниями области плечевого сустава (табл. 1). Среди них были 101 (63%) мужчина и 59 (37%) женщин; медиана возраста составила 45 лет, интерквартильный размах от 37 до 52 лет.

Критерии включения:

- пациенты, давшие письменное информированное согласие на участие в исследовании,
- возраст от 18 лет,
- наличие заболевания плечевого сустава,
- диагноз заболевания подтвержден клинически и инструментально (рентгенография, УЗИ, МРТ),
- свободное владение устным и письменным русским языком.

Критериями невключения являлись сопутствующие заболевания шейного отдела позвоночника, локтевого сустава или кисти, в том числе с признаками нейропатии, хронические заболевания в стадии декомпенсации.

Таблица 1

Структура патологических состояний области плеча

Диагноз	Доля пациентов (% от выборки)	Число пациентов (n)
Субакромиальный импинджмент-синдром	49	79
Разрыв вращательной манжеты	13	21
Тендинопатия/подвывих сухожилия длинной головки бицепса	15	24
Артроз плечевого сустава	7	11
Адгезивный капсулит	8	12
Повреждения связочных стабилизаторов	8	13
Итого	100	160

Оценка психометрических свойств шкалы

Была проведена оценка надежности, валидности и чувствительности анализируемой шкалы, эффектов «пола» и «потолка» в отношении результатов исследования пациентов по шкале SANE [42].

Надежность

Основным методом оценки надежности оценочных шкал из одного вопроса (single item measures) является оценка воспроизводимости методом тест-ретест [43]. Была отобрана группа из 20 пациентов, которым предлагалось заполнить шкалу SANE при первичном приеме и через 14 дней. В промежуток времени между приемами пациенты не отмечали изменений в состоянии плечевого сустава. Между первичными и повторными данными был проведен корреляционный анализ с целью определения коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC — intra-class correlation coefficient). Отобранная группа состояла из 12 (60%) мужчин и 8 (40%) женщин.

Валидность

Оценка внешней и содержательной валидности проводилась группой травматологов-ортопедов и реабилитологов путем анализа актуальной литературы и соответствия формулировки SANE симптоматике заболеваний по результатам предварительного тестового анкетирования пациентов.

Для оценки конструктивной валидности проводилось измерение валидности известной группы путем оценки корреляции результатов тестирования по шкале SANE с подразделом «интенсивность болевого синдрома» шкалы ASES. Было сделано предположение, что пациенты с более высоким уровнем боли будут давать значительно более низкую субъективную оценку состояния своего плечевого сустава.

При оценке критериальной валидности мы определяли, есть ли взаимосвязь между результатами по шкалам ASES и SANE. Функциональный статус плечевого сустава у пациентов одновременно оценивали при помощи обеих шкал, затем вычисляли степень корреляции полученных баллов исследуемых шкал. Русскоязычная версия шкалы SANE заполнялась пациентами одновременно с валидированным опросником ASES.

Чувствительность

Для оценки чувствительности были сформированы две группы пациентов. В группу 1 со статистически значимым улучшением функционального статуса плечевого сустава по результатам опросника ASES спустя 6 нед. после проводимого лечения ($p < 0,05$) вошло 50 пациентов, в группу 2 без наблюдения значимых изменений в функциональном

состоянии плечевого сустава на фоне проводимой терапии ($p > 0,05$) — 14 пациентов. Группы были сравнимы между собой по полу, возрасту и видам заболеваний плечевого сустава. Оценку чувствительности шкалы проводили при помощи статистического анализа для двух зависимых выборок и определения индекса чувствительности Guyatt's Responsiveness Index (GRI) [44].

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных данных производилась с использованием языка программирования Python 3.11 в среде разработки Jupyter Lab 4.0.10 посредством инструментов из пакетов NumPy 1.26.3, Pandas 2.1.4, SciPy 1.11.4 и Pingouin 0.5.4.

При описании количественных показателей для нормально распределенных выборок использовалось выборочное среднее и 95% доверительный интервал (95% ДИ). Для описания непараметрических выборок использовались медиана, 25-й и 75-й квартили. Проверка на соответствие нормальному распределению проводилась при помощи критерия Колмогорова–Смирнова для выборок от 50 наблюдений и при помощи критерия Шапиро–Уилка для выборок менее 50 наблюдений.

Для сравнения независимых нормально распределенных количественных данных использовался t -критерий Стьюдента, для непараметрических выборок использовался критерий Манна–Уитни. Сравнение зависимых выборок производилось при помощи знакового рангового критерия Уилкоксона. Для сравнения бинарных качественных показателей использовался критерий χ^2 .

Для установления корреляции между двумя количественными показателями использовался коэффициент корреляции Пирсона, между количественным и ординальным показателем — коэффициент корреляции Спирмена.

Для расчета воспроизводимости результатов опросника методом тест-ретест использовался коэффициент внутриклассовой корреляции ICC3 (Single fixed raters).

Расчет показателя Guyatt Responsiveness Index (GRI) для шкалы SANE осуществлялся по следующей формуле:

$$GRI = \frac{M(\Delta SANE1)}{\sigma(\Delta SANE2)},$$

где $\Delta SANE1$ — разность между двумя измерениями в группе «с изменениями»; $\Delta SANE2$ — разность между двумя измерениями в группе «без изменений»; M — среднее арифметическое; σ — стандартное отклонение.

Критическим уровнем значимости для всех проведенных статистических проверок было выбрано значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе фазы адаптации оценочной шкалы трудностей не возникло. Полученный перевод соответствовал англоязычному оригиналу с незначительными лингвистическими и культурными особенностями, свойственными русскоязычному населению.

Предварительное тестирование не выявило необходимости в дополнительных корректировках. Шкала была положительно воспринята пациентами, трудностей при заполнении не возникло. На ответ уходило не более одной минуты.

В ходе исследования шкала заполнялась пациентами обоего пола, разного возраста и с рядом различных заболеваний плечевого сустава. Статистически значимых различий между исследуемыми группами не было ($p > 0,05$).

Медиана значений первичных результатов по шкале SANE в общей группе из 160 пациентов — 60 [40; 75], по ASES — 55 [45; 73], в группе пациентов, отобранных для тест-ретеста при первичном тестировании — 63 [50; 75], при повторном тестировании — 63 [50; 79]. В группе пациентов, которые отмечали улучшение функционального статуса плечевого сустава на фоне лечения, медиана SANE до лечения — 50 [40; 65] баллов, после лечения — 55 [50; 80]; ASES до лечения — 53 [45; 65], после лечения — 73 [55; 78]. В группе пациентов, где изменений на фоне лечения не отмечалось, SANE до лечения — 60 [50; 68] баллов, после лечения — 55 [50; 80]; ASES до 71 [52; 76], после 73 [55; 78]. Тест-ретест на воспроизводимость показал ICC шкалы SANE, равный 0,77 ($p < 0,01$), для ASES — 0,96 ($p < 0,01$).

Рассчитанный индекс GRI статистически значимо отличался от нуля ($p < 0,05$), его значение составило 1,861.

При анализе конструктивной валидности была установлена средней силы обратная корреляция шкалы SANE с подшкалой ASES «интенсивность болевого синдрома» -0,542 ($p < 0,01$).

Коэффициент корреляции Пирсона между шкалами SANE и ASES составил 0,707 — сильная корреляция ($p < 0,01$), что характеризует хорошую критериальную валидность шкалы SANE. При оценке корреляции в зависимости от пола коэффициент среди мужчин составил 0,712, среди женщин — 0,706.

Также была оценена степень корреляции между шкалами в зависимости от заболевания, все результаты показали высокие и очень высокие степени корреляции ($p < 0,01$) (табл. 2).

Число максимальных и минимальных баллов (эффект «пола» и «потолка») составило: эффект «пола» <1%, эффект «потолка» 3% для SANE, эффект «пола» 0%, эффект «потолка» 2% для ASES (все результаты менее 15%), что говорит о состоятельности шкалы.

Таблица 2

Коэффициент корреляции Пирсона между шкалами SANE и ASES в зависимости от заболевания

Заболевание	<i>r</i>
Субакромиальный импинджмент-синдром	0,685
Разрыв вращательной манжеты	0,636
Тендинопатия / подвывих сухожилия длинной головки бицепса	0,727
Артроз плечевого сустава	0,779
Адгезивный капсулит	0,899
Повреждения связочных стабилизаторов	0,663

ОБСУЖДЕНИЕ

Наша работа была посвящена проведению кросс-культурной адаптации и валидации применимо к оценке состояния плечевого сустава шкалы SANE согласно международным стандартам [10, 34, 40].

Индекс GRI составил 1,861, что говорит о высокой степени чувствительности SANE к изменениям в функциональном статусе пациентов с заболеваниями плечевого сустава.

Оценка конструктивной валидности путем анализа корреляции результатов по шкале SANE с подразделом шкалы ASES «интенсивность болевого синдрома» выявила средней силы обратную корреляцию. Оценка критериальной валидности показала наличие сильной корреляционной связи между шкалами SANE и ASES, соответствующую результатам иностранных исследований (табл. 3).

Эффекты «пола» и «потолка» составили (табл. 4): эффект «пола» <1%, эффект «потолка» 3% для SANE, эффект «пола» 0%, эффект «потолка» 2% для ASES (все результаты менее 15%), что говорит о состоятельности шкалы [28].

При анализе надежности методом тест-ретест общий внутриклассовый коэффициент корреляции шкалы SANE составил 0,77 ($p < 0,01$), что считается приемлемым показателем [48, 49]. В аналогичных исследованиях этот показатель варьировал от 0,80 до 0,95 (табл. 5).

При сравнении полученных нами результатов с данными ранее проведенных исследований можно отметить хорошую воспроизводимость результатов шкалы SANE на разных языках (табл. 6).

Наши результаты вычисления степени корреляции шкал ASES и SANE оказались близки к таковым ряда иностранных работ, где коэффициент находился в диапазоне 0,460–0,924.

Таблица 3

Исследования корреляции SANE и ASES применимо к оценке состояния плечевого сустава

Исследование	Кол-во наблюдений, <i>n</i>	Диагноз / Тип хирургического лечения	Корреляция со шкалой ASES, <i>r</i>
Williams G.N. et al. (1999) [22]	163	Спектр хирургических вмешательств на плечевом суставе	0,46–0,69
Cunningham G. et al. (2015) [28]	262	Реконструкция вращательной манжеты; SLAP повреждение	0,75–0,88
Robins R.J. et al. (2017) [45]	415	Растяжение или разрыв вращательной манжеты или бурсит; гленоумеральный остеоартрит; адгезивный капсулит; тендинит бицепса; растяжение связок акромиально-ключичного сустава	0,66 (0,59–0,72)
Thigpen C.A et al. (2018) [24]	212	САИС; адгезивный капсулит	0,8–0,9
Retzky J.S. et al. (2020) [25]	107	Реконструкция вращательной манжеты; эндопротезирование плечевого сустава	Реконструкция: перед операцией = 0,30; после операции = 0,86 Эндопротезирование перед операцией = 0,46; после операции = 0,78
Wickman J.R. et al., (2020) [37]	333	Реконструкция вращательной манжеты	0,600–0,924
Cohn M.R. et al. (2021) [39]	153	Эндопротезирование плечевого сустава	0,493
Gutiérrez-Zúñiga D. et al. (2021) [26]	113	Повреждения вращательной манжеты; адгезивный капсулит; гленоумеральный остеоартрит; остеоартрит акромиально-ключичного сустава; нестабильность плечевого сустава	0,699
Baumgarten K.M. et al. (2022) [46]	1838	Реконструкция вращательной манжеты	0,81
Наше исследование	160	Субакромиальный импинджмент-синдром; разрыв вращательной манжеты; тендинопатия/подвывих сухожилия длинной головки бицепса; артроз плечевого сустава; адгезивный капсулит; повреждения связочных стабилизаторов	0,707

Таблица 4

Исследования эффектов «пола» и «потолка» шкалы SANE

Исследование	Кол-во наблюдений, <i>n</i>	Эффект «пола», %	Эффект «потолка», %
Sciascia A.D. et al. (2017) [47]	234	4	19
Robins R.J. et al. (2017) [45]	415	4	1,0–2,0
Thigpen C.A. et al (2018) [24]	212	<10	<10
Наше исследование	160	<1	3

Таблица 5

Исследование внутрикласовой корреляции шкалы SANE применимо к оценке состояния плечевого сустава

Исследование	Кол-во наблюдений, n	Диагноз / Тип хирургического лечения	Интервал тест-ретест, дни	ICC
Thigpen C.A. et al. (2018) [24]	212	САИС; адгезивный капсулит	14	0,84
Theeuwens D. M. J. et al. (2019) [34]	107	Разрывы вращательной манжеты; адгезивный капсулит; САИС; остеоартрит; дефект суставной губы; нестабильность; переломы области плеча	14	0,95
Nazari G. et al. (2020) [36]	2475	Патологии/дисфункция плеча/вращательной манжеты; гленоумеральный остеоартрит; хирургическое вмешательство на плече при любой патологии; тотальное эндопротезирование плечевого сустава; САИС; адгезивный капсулит	–	≥0,80
Gutiérrez-Zúñiga D. et al. (2021) [26]	113	Патологии вращательной манжеты; адгезивный капсулит; гленоумеральный остеоартрит; остеоартрит АКС; нестабильность плечевого сустава или АКС	7–10	0,86
Наше исследование	160	САИС; разрыв вращательной манжеты; тендинопатия/подвывих сухожилия длинной головки бицепса; артроз плечевого сустава; адгезивный капсулит; повреждения связочных стабилизаторов	14	0,77

Таблица 6

Исследования культурной адаптации и валидации шкалы SANE применимо к оценке состояния плечевого сустава

Исследование	Кол-во наблюдений, n	Диагнозы	Язык	Интервал тест-ретест, дни	ICC	Корреляция с другими шкалами, r
Theeuwens D.M.J. et al. (2019) [34]	107	Разрывы вращательной манжеты; адгезивный капсулит; САИС; остеоартрит; дефект суставной губы; нестабильность; переломы области плеча	Голландский	14	0,95	CS = 0,52 (0,35–0,65) SST = 0,48 (0,30–0,62) OSIS и OSS = 0,59 (0,46–0,70) EQ-5D = 0,30 (0,12–0,45) NRS-pain-rest = -0,41 (от -0,58 до -0,22) NRS-pain active = -0,50 (от -0,64 до -0,33)
Gutiérrez-Zúñiga D. et al. (2021) [26]	113	Патологии вращательной манжеты; адгезивный капсулит; гленоумеральный остеоартрит; остеоартрит АКС; нестабильность плечевого сустава или АКС	Испанский	7–10	0,86	ASES = 0,699
Наше исследование	160	Субакромиальный импинджмент-синдром; разрыв вращательной манжеты; тендинопатия/подвывих сухожилия длинной головки бицепса; артроз плечевого сустава; адгезивный капсулит; повреждения связочных стабилизаторов	Русский	14	0,77	ASES = 0,715

CS – Constant Score; SST – Simple Shoulder Test; OSIS – Oxford Shoulder Instability Score; OSS – Oxford Shoulder Score; EQ-5D – EuroQol-5 Dimensions.

Однако стоит отметить широкую вариабельность результатов, обусловленную разными диагнозами и объемами выборки.

Наиболее сопоставимыми исследованиями можно считать работы R.J. Robins с соавторами и D. Gutiérrez-Zúñiga с соавторами, также описывающие спектр заболеваний области плеча. В них коэффициенты корреляции составили 0,660 и 0,699 соответственно [26, 45], 0,707 — в нашем исследовании.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Urwin M., Symmons D., Allison T., Brammah T., Busby H., Roxby M. et al. Estimating the burden of musculoskeletal disorders in the community: the comparative prevalence of symptoms at different anatomical sites, and the relation to social deprivation. *Ann Rheum Dis.* 1998;57(11):649-655. doi: 10.1136/ard.57.11.649.
2. Longo U.G., Berton A., Papapietro N., Maffulli N., Denaro V. Epidemiology, genetics and biological factors of rotator cuff tears. *Med Sport Sci.* 2012;57:1-9. doi: 10.1159/000328868.
3. Ferlito R., Testa G., McCracken K.L., Moscato S., Zerbito G.M., Panvini F.M.C. et al. Effectiveness of Therapeutic Interventions on the Scapulothoracic Complex in the Management of Patients with Subacromial Impingement and Frozen Shoulder: A Systematic Review. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2023;8(2):38. doi: 10.3390/JFMK8020038.
4. Luime J.J., Koes B.W., Hendriksen I.J., Burdorf A., Verhagen A.P., Miedema H.S. et al. Prevalence and incidence of shoulder pain in the general population: a systematic review. *Scand J Rheumatol.* 2004;33(2): 73-81. doi: 10.1080/03009740310004667.
5. Lucas J., van Doorn P., Hegedus E., Lewis J., van der Windt D. A systematic review of the global prevalence and incidence of shoulder pain. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):1073. doi: 10.1186/s12891-022-05973-8.
6. Cotter E.J., Hannon C.P., Christian D., Frank R.M., Bach B.R.Jr. Comprehensive Examination of the Athlete's Shoulder. *Sports Health.* 2018;10(4):366-375. doi: 10.1177/1941738118757197.
7. LaFrance S., Charron M., Roy J.S., Dyer J.O., Frémont P., Dionne C.E. et al. Diagnosing, Managing, and Supporting Return to Work of Adults With Rotator Cuff Disorders: A Clinical Practice Guideline. *Orthop Sports Phys Ther.* 2022;52(10):647-664. doi: 10.2519/jospt.2022.11306.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Адаптированная русскоязычная версия шкалы SANE обладает хорошими психометрическими свойствами и может быть рекомендована к применению в качестве первичной скрининговой шкалы оценки функционального статуса пациентов с заболеваниями плечевого сустава ортопедического профиля, а также отслеживания динамики изменений в процессе лечения. В комплексном применении с другими валидированными оценочными шкалами она позволяет хорошо оценить состояние пациента.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

8. Ягджян Г.В., Абраамян Д.О., Геворгян А.М. Адаптация русской версии опросника DASH. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии.* 2004;(4):166-167.
9. Yagyan G.V., Abrahamyan D.O., Gevorgyan A.M. Adaptation of the Russian version of the DASH questionnaire. *Annals of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery.* 2004;(4):166-167. (In Russian).
10. McClure P., Michener L. Measures of adult shoulder function: The American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Form Patient Self-Report Section (ASES), Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand (DASH), Shoulder Disability Questionnaire, Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), and Simple Shoulder Test. *Arthritis Rheum.* 2003;49(5):50-58. doi: 10.1002/art.11404.
11. Ильин Д.О., Макарьева О.В., Макарьев М.Н., Логвинов А.Н., Магнитская Н.Е., Рязанцев М.С. и др. Кросс-культурная адаптация и валидация стандартизированной шкалы American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES). *Травматология и ортопедия России.* 2020;26(1):116-126. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126.
12. Il'in D.O., Makarieva O.V., Makariev M.N., Logvinov A.N., Magnitskaya N.E., Ryazantsev M.S. et al. American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Assessment Form: Russian Cross-Cultural Adaptation and Validation. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2020;26(1):116-126. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126.
13. Richards R.R., An K.N., Bigliani L.U., Friedman R.J., Gartsman G.M., Gristina A.G. et al. A standardized method for the assessment of shoulder function. *J Shoulder Elbow Surg.* 1994;3(6):347-352. doi: 10.1016/S1058-2746(09)80019-0.

12. Çelik D., Atalar A.C., Demirhan M., Dirican A. Translation, cultural adaptation, validity and reliability of the Turkish ASES questionnaire. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(9):2184-2189. doi: 10.1007/s00167-012-2183-3.
13. Goldhahn J., Angst F., Drerup S., Pap G., Simmen B.R., Mannion A.F. Lessons learned during the cross-cultural adaptation of the American Shoulder and Elbow Surgeons shoulder form into German. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17(2):248-254. doi: 10.1016/j.jse.2007.06.027.
14. Michener L.A., McClure P.W., Sennett B.J. American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form, patient self-report section: reliability, validity, and responsiveness. *J Shoulder Elbow Surg.* 2002;11(6):587-594. doi: 10.1067/mse.2002.127096.
15. Moser A.D., Knaut L.A., Zotz T.G., Scharan K.O. Validity and reliability of the Portuguese version of the American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form. *Rev Bras Reumatol.* 2012;52(3):348-356. doi: 10.1590/S0482-50042012000300005.
16. Padua R., Padua L., Ceccarelli E., Bondi R., Alvitì F., Castagna A. Italian version of ASES questionnaire for shoulder assessment: cross-cultural adaptation and validation. *Musculoskelet Surg.* 2010;94 Suppl 1:85-90. doi: 10.1007/s12306-010-0064-9.
17. Piitulainen K., Paloneva J., Ylinen J., Kautiainen H., Häkkinen A. Reliability and validity of the Finnish version of the American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form, patient self-report section. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15:272. doi: 10.1186/1471-2474-15-272.
18. Vrotsou K., Cuéllar R., Silió F., Rodríguez M.Á., Garay D., Busto G. et al. Patient self-report section of the ASES questionnaire: a Spanish validation study using classical test theory and the Rasch model. *Health Qual Life Outcomes.* 2016;14(1):147. doi: 10.1186/s12955-016-0552-1.
19. Yahia A., Guermazi M., Khmekhem M., Ghroubi S., Avedi K., Elleuch M.H. Translation into Arabic and validation of the ASES index in assessment of shoulder disabilities. *Ann Phys Rehabil Med.* 2011;54(2):59-72. (In English, French). doi: 10.1016/j.rehab.2010.12.002.
20. Struyf F., Nijs J., Mollekens S., Jeurissen I., Truijjen S., Mottram S. et al. Scapular-focused treatment in patients with shoulder impingement syndrome: a randomized clinical trial. *Clinical Rheumatology.* 2013;32(1):73-85. doi:10.1007/S10067-012-2093-2.
21. Cheng C., Chen B., Xu H., Zhang Z., Xu W. Efficacy of concomitant acromioplasty in the treatment of rotator cuff tears: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2018;13(11):e0207306. doi: 10.1371/journal.pone.0207306.
22. Williams G.N., Gangel T.J., Arciero R.A., Uhorchak J.M., Taylor, D.C. Comparison of the Single Assessment Numeric Evaluation Method and Two Shoulder Rating Scales. Outcomes measures after shoulder surgery. *Am J Sports Med.* 1999;27(2):214-221. doi: 10.1177/03635465990270021701.
23. Garcia A.N., Cook C., Lutz A., Thigpen C.A. Concurrent validity of the single assessment numerical evaluation and patient-reported functional measures in patients with musculoskeletal disorders: An observational study. *Musculoskelet Sci Pract.* 2019;44:102057. doi: 10.1016/j.msksp.2019.102057.
24. Thigpen C.A., Shanley E., Momaya A.M., Kissenberth M.J., Tolan S.J., Tokish J. M. et al. Validity and Responsiveness of the Single Alpha-numeric Evaluation for Shoulder Patients. *Am J Sports Med.* 2018; 46(14):3480-3485. doi:10.1177/0363546518807924.
25. Retzky J.S., Baker M., Hannan C.V., Srikumaran U. Single Assessment Numeric Evaluation scores correlate positively with American Shoulder and Elbow Surgeons scores postoperatively in patients undergoing rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(1):146-149. doi: 10.1016/j.jse.2019.05.039.
26. Gutiérrez-Zúñiga D., Mejía-Gruoso A., Olmos-Muskus N., Valbuena-Bernal F., Largacha-Ponce de León M. Translation, validation and cultural adaptation of the SANE (Single Assessment Numeric Evaluation) in patients with shoulder pathology. *Acta Ortop Mex.* 2021;35(4):354-358. (In Spanish).
27. Provencher M.T., Frank R.M., Macian D., Dewing C.B., Ghodadra N.S., Carney J. et al. An Analysis of Shoulder Outcomes Scores in 275 Consecutive Patients: Disease-Specific Correlation Across Multiple Shoulder Conditions. *Mil Med.* 2012;177(8):975-982. doi: 10.7205/MILMED-D-11-00234.
28. Cunningham G., Lädemann A., Denard P.J., Kherad O., Burkhart S.S. Correlation Between American Shoulder and Elbow Surgeons and Single Assessment Numerical Evaluation Score After Rotator Cuff or SLAP Repair. *Arthroscopy.* 2015;31(9):1688-1692. doi: 10.1016/j.arthro.2015.03.010.
29. Zhang J., Barron J., Arvesen J., Israel H., Kim C., Kaar S. Effect of Patient Resilience and the Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) Score on Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery. *Arch Bone Jt Surg.* 2021;9(5):512-518. doi: 10.22038/abjs.2021.48823.2562.
30. O'Connor C.M., Ring D. Correlation of Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) with other Patient Reported Outcome Measures (PROMs). *Arch Bone Jt Surg.* 2019;7(4):303-306. doi: 10.22038/abjs.2018.33884.1888.
31. Dumont G.D., Glenn R.L., Battle N.C., Thier Z.T. Correlation of the Single-Assessment Numeric Evaluation (SANE) Score With Hip-Specific Patient-Reported Outcome Measures. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021;3(2):435-440. doi: 10.1016/j.asmr.2020.10.008.
32. Torchia M.T., Austin D.C., Werth P.M., Lucas A.P., Moschetti W.E., Jevsevar D.S. A SANE Approach to Outcome Collection? Comparing the Performance of Single- Versus Multiple-Question Patient-Reported Outcome Measures After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2020;35(6):207-213. doi: 10.1016/j.arth.2020.01.015.
33. Lau B.C., Scribani M., Lassiter T., Wittstein J. Correlation of Single Assessment Numerical Evaluation Score for Sport and Activities of Daily Living to Modified Harris Hip Score and Hip Outcome Score in Patients Undergoing Arthroscopic Hip Surgery. *Am J Sports Med.* 2019;47(11):2646-2650. doi: 10.1177/0363546519863411.
34. Theeuwen D.M.J., van der Steen M.C., Bonneux I.F.M., Giesberts A.M.E., Koot H.W.J., Reijman M. Translation and evaluation of psychometric properties of the Dutch version of the Single Assessment and Numeric Evaluation Method (SANEM) in shoulder patients. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):303. doi: 10.1186/s13018-019-1335-2.
35. Gilbert M.K., Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(6):717-721. doi: 10.1016/j.jse.2007.02.123.
36. Nazari G., MacDermid J.C., Bobos P., Furtado R. Psychometric properties of the Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) in patients with shoulder conditions. A systematic review. *Physiotherapy.* 2020;109:33-42. doi:10.1016/j.physio.2020.02.008.

37. Wickman J.R., Lau B.C., Scribani M.B., Wittstein J.R. Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) correlates with American Shoulder and Elbow Surgeons score and Western Ontario Rotator Cuff index in patients undergoing arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(2):363-369. doi:10.1016/j.jse.2019.07.013.
38. Anderson A.B., Tenan M.S., Dickens J.F. Latent Factor Analysis of the PROMIS and Single Assessment Numeric Evaluation in Patients Undergoing Shoulder Surgery. *Mil Med.* 2022;187(7-8):882-888. doi: 10.1093/milmed/usab327.
39. Cohn M.R., Kunze K.N., Polce E.M., Nemsick M., Garrigues G.E., Forsythe B. et al. Establishing clinically significant outcome thresholds for the Single Assessment Numeric Evaluation 2 years following total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021;30(4):137-146. doi: 10.1016/j.jse.2020.07.011.
40. Beaton D.E., Bombardier C., Guillemin F., Ferraz M.B. Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25(24):3186-3191. doi: 10.1097/00007632-200012150-00014.
41. Бараненков А.А., Голозубов О.М., Голубев В.Г., Голубев Г.Ш., Жданов В.Г. Региональная адаптация шкалы оценки исходов повреждений заболеваний коленного сустава KOOS. *Травматология и ортопедия России.* 2007;(1):26-32. Бараненков А.А., Golozubov O.M., Golubev V.G., Golubev G.Sh., Zhdanov V.G. The regional adaptation of KOOS rating scale of the outcomes of knee injuries and diseases. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2007;(1):26-32. (In Russian).
42. Lim C.R., Harris K., Dawson J., Beard D.J., Fitzpatrick R., Price A.J. Floor and ceiling effects in the OHS: an analysis of the NHS PROMs data set. *BMJ Open.* 2015;5(7):e007765. doi: 10.1136/bmjopen-2015-007765.
43. Cronbach L.J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika.* 1951;16:297-334. doi: 10.1007/BF02310555.
44. Guyatt G., Walter S., Norman G. Measuring change over time: assessing the usefulness of evaluative instruments. *J Chronic Dis.* 1987;40(2):171-178. doi: 10.1016/0021-9681(87)90069-5.
45. Robins R.J., Zhang Y., Anderson M.B., Presson A.P., Burks R.T., Greis P.E. Convergent Validity of the Patient Reported Outcomes Measurement Information System's (PROMIS) Physical Function Computerized Adaptive Test (PF-CAT) for the Knee and Shoulder Injury Sports Medicine Patient Population. *Orthop J Sports Med.* 2015;3(2 Suppl):2325967115S00147. doi: 10.1177/2325967115S00147.
46. Baumgarten K.M. Can the Single Assessment Numeric Evaluation be used as a stand-alone subjective outcome instrument in patients undergoing rotator cuff repair? *J Shoulder Elbow Surg.* 2022;31(12):2542-2553. doi: 10.1016/j.jse.2022.05.017.
47. Sciascia A.D., Morris B.J., Jacobs C.A., Edwards T.B. Responsiveness and Internal Validity of Common Patient-Reported Outcome Measures Following Total Shoulder Arthroplasty. *Orthopedics.* 2017;40(3):513-519. doi: 10.3928/01477447-20170327-02.
48. Portney L.G., Watkins M.P. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice.* 3rd ed. Pearson: Prentice Hall; 2008. 892 p.
49. Terwee C.B., Mokkink L.B., Knol D.L., Ostelo R.W., Bouter L.M., de Vet H.C. Rating the methodological quality in systematic reviews of studies on measurement properties: a scoring system for the COSMIN checklist. *Qual Life Res.* 2012;21(4):651-657. doi: 10.1007/s11136-011-9960-1.

Сведения об авторах

✉ Газимиев Артур Магомедович
 Адрес: Россия, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8
<https://orcid.org/0009-0005-7342-7974>
 e-mail: a.gazimiev@yandex.ru
 Ильин Дмитрий Олегович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-2493-4601>
 e-mail: dilyin@emcmos.ru
 Конева Елизавета Сергеевна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9859-194X>
 e-mail: elizaveta.coneva@yandex.ru
 Логвинов Алексей Николаевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-3235-5407>
 e-mail: logvinov09@gmail.com
 Пилипсон Жанна Юрьевна
<https://orcid.org/0000-0002-1412-9986>
 e-mail: zhpilipson@emcmos.ru
 Фролов Александр Владимирович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-2973-8303>
 e-mail: afrolov@emcmos.ru
 Лядов Константин Викторович — академик РАН, профессор, д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-5468-5074>
 e-mail: klyadov@mail.ru
 Ачкасов Евгений Евгеньевич — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-9964-5199>
 e-mail: achkasov_e_e@staff.sechenov.ru
 Королёв Андрей Вадимович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-8769-9963>
 e-mail: akorolev@emcmos.ru

Authors' information

✉ Arthur M. Gazimiev
 Address: 8, Moscow, Trubetskaya st., 119991, Russia
<https://orcid.org/0009-0005-7342-7974>
 e-mail: a.gazimiev@yandex.ru
 Dmitriy O. Ilyin — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-2493-4601>
 e-mail: dilyin@emcmos.ru
 Elizaveta S. Koneva — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9859-194X>
 e-mail: elizaveta.coneva@yandex.ru
 Aleksey N. Logvinov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-3235-5407>
 e-mail: logvinov09@gmail.com
 Zhanna Yu. Pilipson
<https://orcid.org/0000-0002-1412-9986>
 e-mail: zhpilipson@emcmos.ru
 Alexander V. Frolov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2973-8303>
 e-mail: afrolov@emcmos.ru
 Konstantin V. Lyadov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-5468-5074>
 e-mail: klyadov@mail.ru
 Evgenii E. Achkasov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-9964-5199>
 e-mail: achkasov_e_e@staff.sechenov.ru
 Andrey V. Korolev — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-8769-9963>
 e-mail: akorolev@emcmos.ru



Эффективность применения 3D-технологий при планировании и выполнении реконструктивно-пластических операций у пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией

И.С. Петленко, С.Ю. Федюнина, А.Г. Алиев, С.С. Билык, Н.С. Захматов, И.И. Шубняков

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Открытые реконструктивно-пластические операции являются наиболее радикальным методом лечения пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, однако ввиду большого количества неудовлетворительных результатов представляют собой серьезную проблему.

Цель исследования — сравнить эффективность реконструктивно-пластических операций по стандартной методике и с использованием 3D-технологий при лечении пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией.

Материал и методы. Все пациенты ($n = 71$) с помощью программы генерации случайных чисел были рандомизированы в две группы. Первую группу составили 34 пациента с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, у которых оперативное вмешательство было выполнено с использованием нового метода визуализации на основе построения 3D-модели. Вторую группу составили 37 пациентов с аналогичной нозологией, оперированных по стандартной методике. Результаты оценивались интраоперационно и через 180 дней с момента вмешательства. Данные были получены из первичной медицинской документации и последующего анкетного опроса.

Результаты. Применение новой методики предоперационного обследования и тактики выполнения реконструктивно-пластических операций позволило сократить время вмешательства в 1,2 раза ($p \leq 0,05$), уменьшить кровопотерю в 1,3 раза ($p \leq 0,05$) и на 10,6% ($p \leq 0,05$) повысить количество пациентов с достигнутым достаточным объемом движений. Оценка различных параметров эффективности (амплитуда движений, болевой синдром, качество жизни и т.д.) показала, что через 6 мес. в первой группе количество пациентов, имеющих проблемы, связанные с оперированным суставом, было статистически значимо ниже, чем во второй группе: 20,5% против 84,7% ($p \leq 0,05$).

Заключение. Применение новой методики предоперационного обследования и выполнения реконструктивно-пластических операций у пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, способствуют более щадящему режиму выполнения вмешательства, достижению лучших интраоперационных и среднесрочных результатов лечения.

Ключевые слова: контрактура локтевого сустава, оссификация, 3D-технологии, реконструктивно-пластические операции.

Для цитирования: Петленко И.С., Федюнина С.Ю., Алиев А.Г., Билык С.С., Захматов Н.С., Шубняков И.И. Эффективность применения 3D-технологий при планировании и выполнении реконструктивно-пластических операций у пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):120-130. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17531>.

Петленко Ирина Сергеевна; Petlenko1995@yandex.ru

Рукопись получена: 23.04.2024. Рукопись одобрена: 07.06.2024. Статья опубликована: 20.06.2024.

© Петленко И.С., Федюнина С.Ю., Алиев А.Г., Билык С.С., Захматов Н.С., Шубняков И.И., 2024



Effectiveness of 3D Visualization Technologies in Planning and Performing Reconstructive Plastic Surgeries in Patients with Elbow Contractures Caused by Ossification

Irina S. Petlenko, Svetlana Yu. Fedyunina, Alimurad G. Aliyev, Stanislav S. Bilyk, Nikita S. Zakhmatov, Igor I. Shubnyakov

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Open reconstructive plastic surgeries are the most radical method of treating patients with elbow contractures caused by ossification. However, these surgeries pose a serious problem due to the large number of unsatisfactory results.

The aim of the study is a comparative assessment of the effectiveness between standard techniques and 3D visualization technologies in the surgical treatment of patients with elbow contractures caused by ossification.

Methods. Using random number generation, all patients (n = 71) were randomized into two groups. The first group included 34 patients with elbow contractures caused by ossification that underwent surgical intervention using 3D technologies to assess the ossification process. The second group enrolled 37 patients with a similar nosology that underwent standard examination and surgical treatment. The results were evaluated intraoperatively and 180 days after the surgery. The data were obtained from primary medical records and further survey.

Results. The application of new planning technology and tactics for onstructive plastic surgeries made it possible to reduce the surgery time by 1.2 times ($p < 0.05$), reduce blood loss by 1.3 times ($p < 0.05$) and increase the relative number of patients with sufficient movement volume by 10.6% ($p < 0.05$). The assessment of various performance parameters (range of motion, pain syndrome, quality of life etc.) showed that after 6 months in the main group, the relative number of patients with problems related to the operated joint was significantly lower than in the control group: 20.5% vs 84.7% ($p < 0.05$).

Conclusions. The data obtained indicate that the use of the new technique for planning and performing reconstructive plastic surgery in patients with elbow contractures caused by ossification contributes to a less invasive intervention and achievement of better intraoperative and medium-term treatment results.

Keywords: elbow contracture, ossification, 3D visualization technologies, reconstructive plastic surgery.

Cite as: Petlenko I.S., Fedyunina S.Yu., Aliev A.G., Bilyk S.S., Zakhmatov N.S., Shubnyakov I.I. Effectiveness of 3D Visualization Technologies in Planning and Performing Reconstructive Plastic Surgeries in Patients with Elbow Contractures Caused by Ossification. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):120-130. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17531>.

✉ Irina S. Petlenko; Petlenko1995@yandex.ru

Submitted: 23.04.2024. Accepted: 07.06.2024. Published: 20.06.2024.

© Petlenko I.S., Fedyunina S.Yu., Aliev A.G., Bilyk S.S., Zakhmatov N.S., Shubnyakov I.I., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Лечение пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, остается значимой проблемой травматологии и ортопедии вследствие высокой частоты неудовлетворительных результатов, связанных с рецидивом контрактуры [1, 2, 3]. Наиболее распространенным методом хирургического лечения этих пациентов являются открытые реконструктивно-пластические вмешательства [4, 5]. При этом многие специалисты сходятся во мнении, что рентгенография и даже мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) пораженного сустава, рекомендованные при предоперационном обследовании, не дают полной картины распространенности и выраженности оссификатов [1, 2, 6, 7]. Вследствие этого хирург вынужден принимать решения непосредственно во время выполнения операции, что значительно увеличивает длительность вмешательства, сопутствующую кровопотерю, а также повышает риск развития осложнений [3, 5, 8].

Одним из возможных путей повышения эффективности оперативного лечения пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, может стать использование современных методов визуализации [9, 10, 11], в частности построение компьютерной 3D-модели, созданной на основе зеркального совмещения томограмм пораженного и интактного суставов пациента (патент РФ № 2810188). В данном исследовании мы постарались ответить на следующие вопросы:

- позволяет ли лучшее понимание расположения оссификатов и их объема способствовать более щадящему режиму выполнения хирургического вмешательства т. е. сокращению длительности операции и уменьшению объема кровопотери;
- позволяет ли такой метод повысить качество удаления оссификатов, критерием оценки которого является достигаемое интраоперационно увеличение амплитуды движений;
- обеспечивает ли данная методика улучшение послеоперационных функциональных результатов.

Цель исследования — сравнить эффективность реконструктивно-пластических операций по стандартной методике и с использованием 3D-технологий при лечении пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Субъектом исследования был 71 пациент.

Критерии включения: наличие клинически значимой контрактуры одного локтевого сустава, обусловленной оссификацией, и выполнение от-

крытого реконструктивно-пластического вмешательства по этому поводу. Клинически значимой контрактурой считается амплитуда активных движений в суставе менее 100°.

Критерии невключения:

- мягкотканые контрактуры без рентгенологических признаков оссификации;
- острые воспалительные процессы области хирургического вмешательства;
- ложные суставы костей, образующих локтевой сустав;
- гетеротопическая оссификация локтевого сустава;
- параартикулярные рубцово-спаечные процессы;
- первичные онкологические или метастатические поражения костей, образующих локтевой сустав;
- эндопротезирование локтевого сустава;
- костные дефекты, вызывающие нестабильность локтевого сустава;
- признаки нейропатии локтевого нерва.

Тип исследования — открытое проспективное рандомизированное. Все пациенты с помощью программы генерации случайных чисел были рандомизированы в две группы. Первую группу составили 34 пациента с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, у которых оперативное вмешательство было выполнено с использованием нового метода визуализации (диагностики) на основе построения 3D-модели. Вторую группу составили 37 пациентов с аналогичной патологией, оперированных по стандартной методике.

Всем пациентам были выполнены реконструктивно-пластические операции на локтевом суставе, которые включали артротомию, артролиз, удаление оссификатов, релиз локтевого нерва в случае увеличения амплитуды движений в локтевом суставе интраоперационно более чем на 40°. Всем пациентам, вошедшим в данное исследование, проводилась стандартная профилактика рецидива оссификации, которая заключалась в терапии нестероидными противовоспалительными препаратами (кеторолака трометамин или кетопрофен) на стационарном этапе лечения и в щадящем режиме реабилитации. Специфические меры профилактики оссификации, такие как рентгенотерапия, не применялись.

В период предоперационного обследования в обеих группах интактность контралатерального сустава подтверждалась анамнестическими данными и данными объективного осмотра. В первой группе пациентов дополнительно выполняли рентгенологическое обследование обоих локтевых суставов для реализации предложенной методики.

По полу, возрасту и средней продолжительности основного заболевания пациенты групп сравнения не имели значимых различий и были репрезентативны (табл. 1).

Описание методики

В основу совершенствования предоперационной диагностики и тактики выполнения оперативного вмешательства положена методика, основанная на трехмерной реконструкции пораженного сустава в сравнении с интактным на основе МСКТ обоих локтевых суставов (патент РФ № 2810188). Она позволяет оценивать расположение и размеры оссификатов на каждой из костей, что может служить основанием для выбора оптимального (для каждого конкретного варианта расположения оссификатов и их размеров) хирургического доступа или сочетания доступов, а также детально составить

план удаления оссификатов. Данные МСКТ локтевых суставов пациента при помощи специальной программы совмещаются в зеркальном отражении. Это позволяет очень точно выявить даже незначительные изменения интегральных кривых суставных поверхностей вследствие оссификации.

Применение новой методики предоперационного обследования, основанной на использовании 3D-реконструкции, предполагает следующие основные этапы.

Первый этап. Для уточнения этиологии контрактуры пораженного сустава и исключения костных нарушений интактного локтевого сустава у пациента выполняют рентгенографию обоих локтевых суставов в двух проекциях (рис. 1).

Второй этап. Выполняют МСКТ обоих локтевых суставов пациента, и на их основе создают трехмерную реконструкцию (рис. 2).

Таблица 1

Характеристика пациентов групп сравнения

Показатель		Первая группа (n = 34)	Вторая группа (n = 37)
Гендерное распределение:	мужчины	76/24	73/27
	женщины	26/8	28/9
Возраст пациентов, лет	M±SD	41,3±4,2	42,5±3,9
	min-max	26–58	23–54
	Me (Q1; Q3)	39 (28; 54)	40 (27; 52)
Длительность заболевания, мес.	M±SD	11,7±1,2	12,2±0,9
	min-max	9–14	10–14
	Me (Q1; Q3)	11 (10; 12)	11 (10; 13)

p ≥ 0,05.



Рис. 1. Рентгенограммы пораженного локтевого сустава в прямой и боковой проекциях: отчетливо видны признаки деформирующего артроза — сужение суставной щели, массивные оссификаты

Fig. 1. X-rays of the affected elbow joint in the anteroposterior and lateral views: signs of deforming osteoarthritis — narrowing of the joint gap, massive ossificates

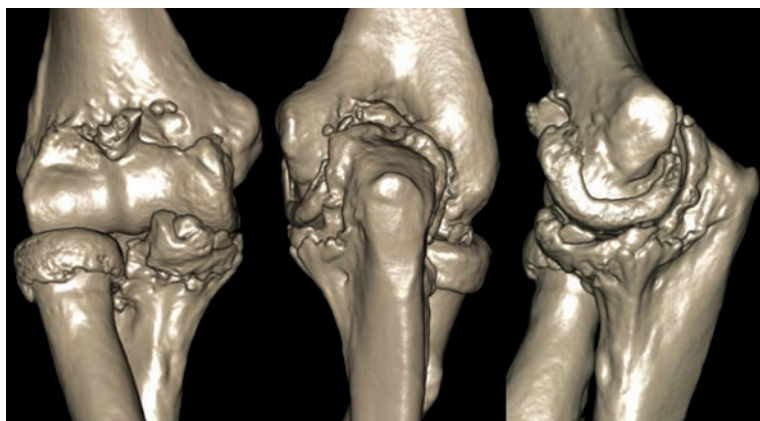


Рис. 2. Трехмерная реконструкция пораженного оссификатами локтевого сустава, выполненная на основе МСКТ (передний, задний, латеральный отделы сустава) также не позволяет полностью визуализировать оссификаты

Fig. 2. 3D reconstruction of the elbow joint with ossificates performed using MSCT data (anterior, posterior, lateral joint sections) also does not allow to fully visualize ossificates

Третий этап. Проводят программное разделение костей локтевого сустава, что дает детальную визуализацию расположения и размеров оссификатов. Костные разрастания автоматически, в зависимости от их размеров, окрашиваются разными цветами согласно калибровочной шкале (рис. 3).

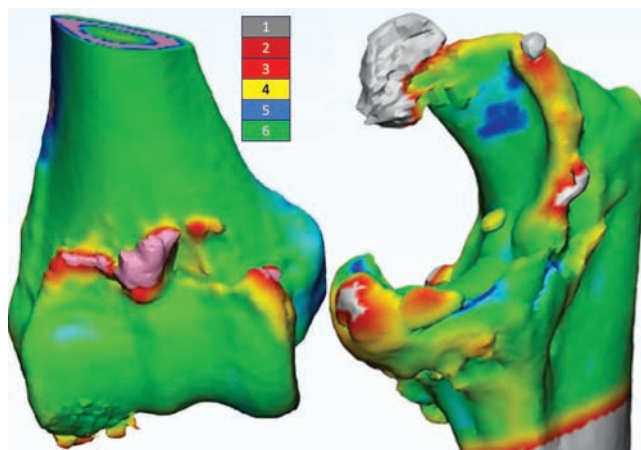


Рис. 3. Программное разделение костей локтевого сустава и детальная визуализация расположения и размеров оссификатов (передний отдел дистального конца плечевой кости и дистальный отдел локтевой кости).

Градация размеров оссификатов по шкале:

- 1 — выше порогового значения;
- 2–4 — гипертрофированные участки костной ткани в порядке уменьшения размеров оссификатов;
- 5 — дефекты костной ткани;
- 6 — нормальная костная ткань, не отличающаяся от модели контралатерального (здорового) сустава

Fig. 3. Software “sequencing” of the elbow joint bones and detailed visualization of the location and size of ossificates (anterior section of the distal end of the humerus and distal section of the ulna). Grading of ossificate sizes: 1 — above the threshold value; 2–4 — hypertrophied areas of bone tissue in the order of decreasing ossification size; 5 — bone tissue defects; 6 — normal bone tissue not differing from the model of the contralateral elbow

Четвертый этап. Финальный этап 3D-реконструкции включает определение четких размеров оссификатов и их локализацию, что может быть использовано при выборе доступа или доступов и изменения тактики выполнения оперативного вмешательства (рис. 4).

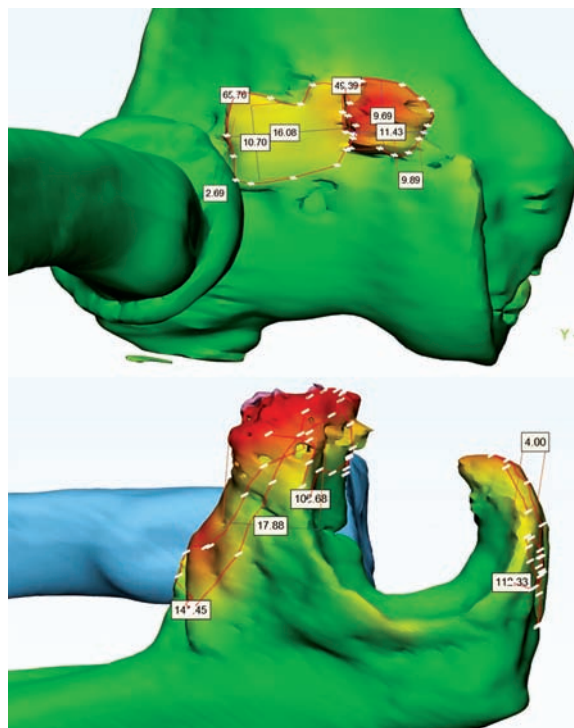


Рис. 4. Финальный этап 3D-реконструкции пораженного локтевого сустава. Отчетливо видны изменения вследствие оссификации дистального конца плечевой кости в сравнении с интактным суставом пациента (все костные структуры, отличающиеся от здорового сустава, окрашены согласно шкале цветами, отличными от зеленого)

Fig. 4. Final stage of 3D reconstruction of the affected elbow joint. Changes due to ossification of the distal end of the humerus are clearly visible compared to the intact joint of the patient (all bone structures that differ from the healthy joint are colored other than green according to the scale)

Источником получения данных для исследования служила первичная медицинская документация: истории болезни, рентгенограммы до и после вмешательства, протоколы операций и анестезиологическая карта. Оценивались время операции, величина кровопотери, достигнутая амплитуда пассивных движений, наличие и характер осложнений. Данные о результатах наблюдения были получены при анкетном опросе пациентов в online-формате или при консультативном осмотре. В ходе опроса пациенты заполняли адаптированный вариант анкеты Oxford Elbow Score (OES), Mayo Elbow Performance Score (MEPS) и визуальную аналоговую шкалу (ВАШ) для оценки общего состояния. Данные рентгенологического обследования оценивались либо при контрольном осмотре, либо online, поскольку разработанные формы позволяли загружать файлы с изображениями.

Статистический анализ

Данные, подлежащие сравнению, проверялись на нормальность распределения. При нормальном распределении параметра (время операции, величина кровопотери, амплитуда сгибательно-разгибательных движений) сравнение проводили по критерию Стьюдента. Остальные показатели имели распределение отличное от нормального. Количественные показатели сравнивались в группах и анализировались при помощи теста Манна–Уитни. Качественные параметры, в том числе имеющие дихотомический характер (есть/нет), оценивались по критерию χ^2 Пирсона с поправкой Йетса.

Для определения относительного количества пациентов с нарушениями функции локтевого сустава в группах сравнения использовали методы описательной статистики. При сравнительной межгрупповой оценке статистической значимости различий параметров уровень достижения нулевой гипотезы принимали равным 95% ($p \leq 0,05$). Для расчетов использовали пакет статистических программ Statistica for Windows (версия 12.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Применение предложенной методики предоперационного обследования и выполнения хирургического вмешательства, основанной на построении и анализе 3D-модели у пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, позволило в 1,6 раза сократить время оперативного вмешательства ($p = 0,043$) и в 1,3 раза уменьшить интраоперационную кровопотерю ($p = 0,047$).

Среднее время выполнения оперативного вмешательства в первой группе составило 63,5 мин. ($63,6 \pm 11,5$). В группе пациентов, оперированных по стандартной методике, длительность вмешательства составила 98,9 мин. ($98,9 \pm 18,3$). У пациентов

первой группы средняя величина интраоперационной кровопотери составила 78,5 мл ($78,5 \pm 14,4$), во второй группе данный показатель был в 1,3 раза выше ($p = 0,047$) и составлял в среднем 105,2 мл ($105,2 \pm 12,3$).

Интраоперационно полная амплитуда пассивных движений в первой группе была достигнута у 33 (97,1%) пациентов, а во второй группе — у 32 пациентов (86,5%), $p = 0,241$.

Таким образом, предложенная новая методика предоперационного обследования и выполнения открытой моделирующей резекции способствует более щадящему режиму выполнения вмешательства и достижению лучших интраоперационных результатов у большего числа пациентов первой группы по сравнению со второй.

Дальнейшее катamnестическое наблюдение показало, что у части пациентов, оперированных по стандартной методике, имелась тенденция к постепенному снижению амплитуды разгибания в локтевом суставе (рис. 5а).

В первой группе лишь у одного (2,9%) пациента сохранялась неполная амплитуда движений. Относительное количество пациентов с уменьшением дуги разгибания оперированного сустава во второй группе составило 16,2% (после операции 13,5%). В первой группе относительное количество пациентов, имеющих аналогичные нарушения, сохранялось неизменным — 2,9% ($p = 0,048$ по сравнению со второй группой). Аналогичная тенденция была выявлена и при оценке послеоперационной динамики амплитуды сгибательных движений (рис. 5б). Через 6 мес. после оперативного вмешательства во второй группе количество пациентов, имеющих нарушения сгибания в оперированном суставе, увеличилось с 13,5% до 18,9% (7 человек). В первой группе при выполнении оперативного вмешательства по новой технологии количество пациентов, имеющих дефицит сгибания в оперированном суставе в среднесрочном периоде наблюдения, не изменилось и соответствовало раннему послеоперационному периоду — 2,9%, демонстрируя статистически значимые различия со второй группой ($p = 0,043$).

Достигнутые интраоперационно результаты двигательной активности в группах сравнения не имели статистически значимых отличий. Однако оценка среднесрочных результатов показала, что в группе пациентов, оперированных по новой методике, снижение двигательной активности происходило значительно медленнее, чем в первой группе. В связи с этим достигнутые функциональные результаты в группах сравнения через 6 мес. имели статистически значимые различия. Отдельно можно отметить, что в предоперационный период функциональный статус пациентов не имел статистически значимых различий (табл. 2).

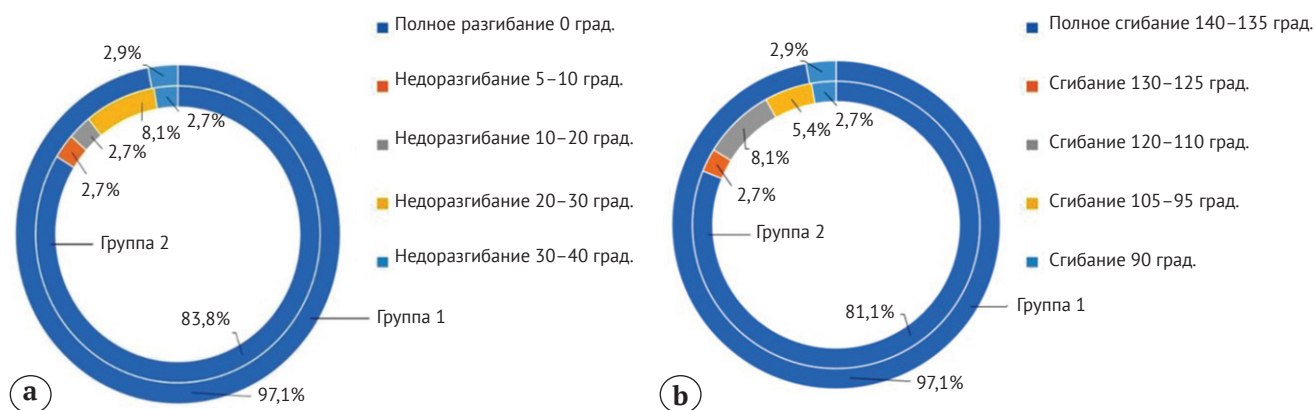


Рис. 5. Относительное количество пациентов в группах сравнения, имеющих недостаточную амплитуду разгибательных (а) и сгибательных (б) движений в среднесрочном периоде наблюдения
Fig. 5. The number of patients in the groups with insufficient amplitude of extensor (a) and flexor (b) movements in the mid-term follow-up

Таблица 2

Показатели функциональной оценки локтевого сустава у пациентов групп сравнения в реперных точках исследования

Шкала	Группа 1		Группа 2	
	До операции	Через 6 мес. после операции	До операции	Через 6 мес. после операции
OES	16,4 ± 1,7	43,7 ± 2,9	18,6 ± 1,3	31,8 ± 2,7
MEPS	45,6 ± 3,9	91,4 ± 5,2	46,6 ± 4,4	73,2 ± 5,8
ВАШ	9,2 ± 0,7	2,3 ± 0,3	9,6 ± 0,8	5,6 ± 0,5

$p \leq 0,05$

При сравнительной оценке ближайших результатов оперативного лечения (через 6 мес.) было установлено, что средняя величина интегрального показателя функциональной активности оперированного сустава (OES) в группе пациентов, оперированных с применением новой методики, была в 1,4 раза выше ($\chi^2 = 13,06$; $p = 0,0004$), чем во второй группе обследованных, лечение которых проводилось по стандартной методике. Сравнительная оценка результатов двигательной активности оперированного сустава и ее влияние на качество жизни и самообслуживание пациентов, выполненная на основе данных опросника MEPS, показала статистически значимое повышение суммарного показателя в группе пациентов ($\chi^2 = 12,14$; $p = 0,0005$), оперированных с использованием 3D-моделирования. Статистически значимо лучшие результаты оценки общего состояния по шкале ВАШ были у пациентов, хирургическое лечение которых выполнялось с применением новой методики ($\chi^2 = 27,12$; $p = 0,00001$). Ухудшение качества жизни (самообслуживания) в связи с наличием различных проблем в оперированном

суставе через 6 мес. после оперативного лечения контрактуры локтевого сустава, обусловленной оссификацией, в группах сравнения отметили 11 пациентов. При этом во второй группе относительное количество лиц, отметивших наличие подобных нарушений, было значимо выше, чем в первой группе: 21,6% (8 человек) и 8,7% (3 человека) ($p = 0,041$). В структуре нарушений качества жизни у пациентов второй группы отмечались умеренные (10,8%) и небольшие (8,1%) затруднения с единичными (2,7%) упоминаниями о значительных проблемах в самообслуживании. В то же время пациенты первой группы отмечали наличие небольших (5,8%) и единичных (2,9%) умеренных нарушений качества жизни (рис. 6).

Сравнительная оценка объективных функциональных параметров состояния оперированного локтевого сустава у пациентов с контрактурами, обусловленными оссификацией, получивших хирургическое лечение по различным методикам предоперационного обследования и выполнения вмешательства, в среднесрочном (6 мес.) периоде наблюдения показана на рисунке 7.

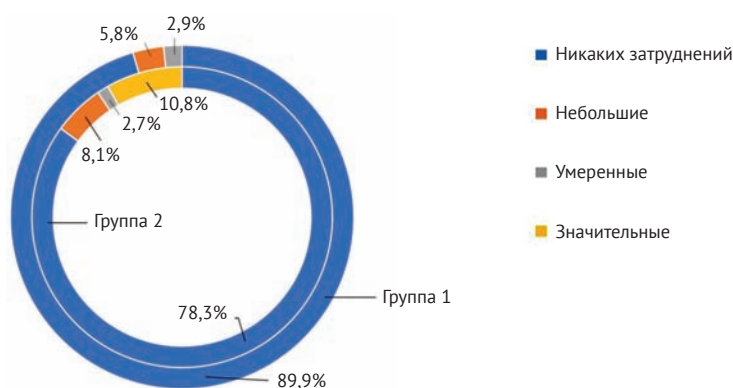


Рис. 6. Относительное количество пациентов в группах сравнения, имеющих различные проблемы с самообслуживанием в связи с нарушением функции оперированного сустава в среднесрочном периоде наблюдения

Fig. 6. The number of patients in the groups with various self-care problems due to impaired function of the operated elbow in the mid-term follow-up

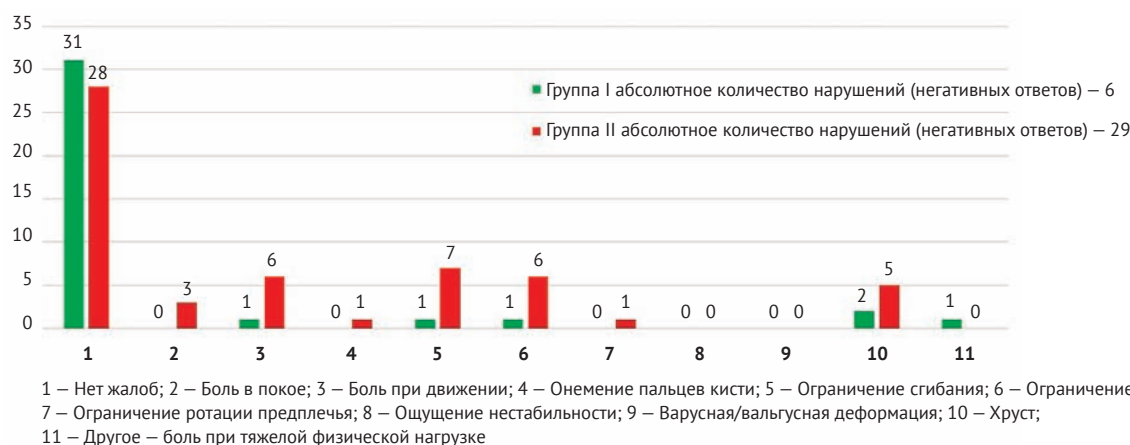


Рис. 7. Среднесрочные результаты оценки эффективности лечения в двух группах сравнения, связанные с общими нарушениями функции после оперативного вмешательства.

По оси X – исследуемые параметры, по оси Y – количество пациентов с наличием нарушений

Fig. 7. Mid-term results of surgical treatment efficacy in the study groups associated with general dysfunction after surgical interventions. On the X axis – studied parameters, Y axis – number of patients with disorders

Помимо описанных выше изменений, связанных с нарушениями двигательной активности оперированного сустава, в группах исследования были выявлены статистически значимые различия по наличию у пациентов болевого синдрома (вторая/первая – 17,4% (6) / 2,9% (1), $p = 0,043$) и других (хруст) сопутствующих нарушений (вторая/первая группа – 13,5% (5) / 5,8% (2), $p = 0,049$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Лечение контрактур локтевого сустава, обусловленных оссификацией, обычно осуществляется посредством открытых реконструктивно-пластических вмешательств и нередко представляет сложную проблему даже для опытного хирурга [1, 2].

По мнению специалистов, высокая физиологическая значимость локтевого сустава приво-

дит к тому, что его тугоподвижность, в том числе обусловленная рецидивами оссификации, вследствие не только заболеваний и повреждений, но и достаточно инвазивных оперативных вмешательств, часто приводит к функциональной несостоятельности конечности в целом [12, 13]. По данным литературы, уменьшение амплитуды движений в локтевом суставе на 50% снижает общую функциональную активность верхней конечности более чем на 80% [14]. Локтевой сустав устойчиво занимает первое место по числу послеоперационных осложнений [5, 15, 16], которые почти у трети пациентов (29,9%) из-за развития контрактур приводят к неудовлетворительным результатам, а иногда – и к стойкой инвалидизации, несмотря на адекватное лечение и полноценную реабилитацию [2, 17]. Ряд авторов отмечает, что

послеоперационные рецидивы контрактуры локтевого сустава не только являются препятствием к активной трудовой деятельности, но и зачастую делают невозможным обеспечение даже простых бытовых потребностей человека [5, 12]. До 60% пациентов, оперированных по поводу травм или заболеваний локтевого сустава, в последующем будут нуждаться в повторных функционально-восстановительных оперативных вмешательствах [18].

Несмотря на то, что тщательное предоперационное обследование, по мнению ряда авторов, считается необходимым этапом при лечении контрактур локтевого сустава вследствие оссификации, в литературе отсутствует информация об оптимальном протоколе предоперационного обследования и предварительной тактике оперативных вмешательств [2, 4, 12, 15]. Для оценки степени деформации суставных поверхностей костей, образующих локтевой сустав, не всегда достаточно традиционных рентгенограмм и МСКТ [6, 19]. В то же время методы 3D-визуализации, когда пораженная кость накладывается на компьютерное зеркальное изображение противоположной неповрежденной кости и каждый оссификат может отображаться разными цветами, позволяют нам легко понять степень деформации и ее локализацию. Такая подробная информация позволяет моделировать основные этапы операции, включая выбор доступа (или сочетания доступов), четкое понимание техники и необходимого объема удаления измененной костной ткани. Результаты применения новой методики обследования могут быть использованы для предоперационного обсуждения хирургической бригадой, а также сохранены в виде цифровых данных для послеоперационного контроля эффективности проведенных лечебных мероприятий. Во время операции хирурги могут просматривать смоделированные изображения на портативном компьютере для корректировки собственных действий. Вышеупомянутые преимущества значительно помогают хирургам и способствуют повышению эффективности хирургического вмешательства,

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России (выписка из протокола № 5 от 05.11.2021).

а в дальнейшем могут быть использованы в качестве матрицы для программирования хирургической робототехники.

У данного метода есть несколько недостатков. Во-первых, для точного анализа поврежденной суставной поверхности необходима компьютерная томография обоих локтевых суставов. Во-вторых, для построения моделей поверхности костей и моделирования степени необходимой коррекции требуется несколько часов. Наконец, данный метод требует определенных технических навыков использования программного обеспечения и оборудования. Несмотря на некоторые недостатки, мы считаем, что этот метод предоставляет значительные преимущества при хирургическом лечении пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией.

Преимуществом выполненной работы является то, что все пациенты были прооперированы одной хирургической бригадой, поскольку многие отечественные и зарубежные авторы отмечают, что наибольшей валидностью отличаются сравнения различных хирургических методик лечения, выполненные в рамках одного лечебного учреждения [3, 5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика предоперационного обследования и хирургического лечения пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией, позволяет более обоснованно и тщательно проводить планирование тактики (выбор рационального доступа/доступов, минимально достаточный объем и последовательность резекции оссификатов, точное моделирование интегральных кривых суставных поверхностей и т.д.) вмешательства и выполнять его с наименьшей хирургической агрессией, что способствует улучшению интраоперационных результатов, а также обеспечивает сохранение лучших функциональных параметров оперированного сустава у большинства пациентов в среднесрочном периоде наблюдения.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (protocol N 5, 05.11.2021).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Слободской А.Б., Прохоренко В.М., Бадак И.С., Воронин И.В., Дунаев А.Г. Ближайшие и среднесрочные результаты артропластики суставов верхней конечности. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2012;3-4(7-8):67-74. Sloboodskoy A.B., Prokhorenko V.M., Badak I.S., Voronin I.V., Dunayev A.G. The nearest and intermediate term results arthroplastic of joints of the top finiteness. *Bulletin of the Medical Institute REAVISE: Rehabilitation, Physician and Health.* 2012;3-4(7-8):67-74. (In Russian).
2. Lindenhovius A.L., Doornberg J.N., Ring D., Jupiter J.B. Health status after open elbow contracture release. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92:2187-2195. doi: 10.2106/JBJS.H.01594.
3. Mellema J.J., Lindenhovius A.L., Jupiter J.B. The posttraumatic stiff elbow: an update. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2016;9(2):190-198. doi: 10.1007/s12178-016-9336-9.
4. Haglin J.M., Kugelmann D.N., Christiano A., Konda S.R., Paksima N., Egol K.A. Open surgical elbow contracture release after trauma: results and recommendations. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018;27(3):418-426. doi: 10.1016/j.jse.2017.10.023.
5. Qian Y., Yu S., Shi Y., Huang H., Fan C. Risk Factors for the Occurrence and Progression of Posttraumatic Elbow Stiffness: A Case-Control Study of 688 Cases. *Front Med (Lausanne).* 2020;7:604056. doi: 10.3389/fmed.2020.604056.
6. Яриков А.В., Горбатов Р.О., Денисов А.А., Смирнов И.И., Фраерман А.П., Соснин А.Г. и др. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии. *Клиническая практика.* 2021;12(1):90-104. doi: 10.17816/clinpract64944. Yarikov A.V., Gorbатов R.O., Denisov A.A., Smirnov I.I., Fraerman A.P., Sosnin A.G. et al. Application of additive 3D printing technologies in neurosurgery, vertebrology, traumatology and orthopedics. *Clinical Practice.* 2021;12(1):90-104. (In Russian). doi: 10.17816/clinpract64944.
7. Богданов А.В. Особенности рентгенодиагностики и классификации повреждений головки мыщелка плечевой кости. *Травматология и ортопедия России.* 2006;2(40):46-48. Bogdanov A.V. Features of X-ray diagnostics and classification of injuries to the head of the condyle of the humerus. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2006;2(40):46-48. (In Russian).
8. Sun C., Zhou X., Yao C., Poonit K., Fan C., Yan H. The timing of open surgical release of post-traumatic elbow stiffness: A systematic review. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(49):e9121. doi: 10.1097/MD.00000000000009121.
9. Малаев И.А., Пивовар М.Л. Аддитивные технологии: применение в медицине и фармации. *Вестник фармации.* 2019;(2):98-107. Malaev I.A., Pivovarov M.L. Additive technologies: application in medicine and pharmacy. *Bulletin of Pharmacy.* 2019;(2):98-107. (In Russian).
10. Алехнович А.В., Фокин Ю.Н., Есипов А.А. Состояние и перспективы развития аддитивных технологий в военных лечебно-профилактических учреждениях. *Госпитальная медицина: наука и практика.* 2019;1(2):62-64. Alekhnovich A.V., Fokin Yu.N., Esipov A.A. The state and prospects of development of additive technologies in military medical and preventive institutions. *Hospital Medicine: Science and Practice.* 2019;1(2):62-64. (In Russian).
11. Приходько А.А., Виноградов К.А., Вахрушев С.Г. Меры по развитию медицинских аддитивных технологий в Российской Федерации. *Медицинские технологии. Оценка и выбор.* 2019;(2):10-15. Prikhodko A.A., Vinogradov K.A., Vakhrushev S.G. Measures for the development of medical additive technologies in the Russian Federation. *Medical technologies. Assessment and selection.* 2019;(2):10-15. (In Russian).
12. Evans P.J., Nandi S., Maschke S., Hoyer H.A., Lawton J.N. Prevention and treatment of elbow stiffness. *J Hand Surg Am.* 2009;34:769-778.
13. Gill A., Mellema J.J., Menendez M.E., Ring D. Articular osteotomy of the distal humerus and excision of extensive heterotopic ossification. *Injury.* 2016;47(3):776-779. doi: 10.1016/j.injury.2015.12.030.
14. Cikes A., Jolles B.M., Farron A. Open elbow arthrolysis for posttraumatic elbow stiffness. *J Orthop Trauma.* 2006;20:405-409.
15. Sun Z., Liu W., Li J., Fan C. Open elbow arthrolysis for post-traumatic elbow stiffness: an update. *Bone Jt Open.* 2020;1(8):576-584. doi: 10.1302/2633-1462.19.BJO-2020-0098.R1.
16. Morrey B.F. Surgical treatment of extraarticular elbow contracture. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;370:57-64.
17. Ranganathan K., Loder S., Agarwal S., Wong V.C., Forsberg J., Davis T.A. et al. Heterotopic ossification: basic-science principles and clinical correlates. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(13):1101-1111.
18. Larson A.N., Morrey B.F. Interposition arthroplasty with an Achilles tendon allograft as a salvage procedure for the elbow. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(12):2714-2723.
19. Zheng W., Chen C., Zhang C., Tao Z., Cai L. The Feasibility of 3D Printing Technology on the Treatment of Pilon Fracture and Its Effect on Doctor-Patient Communication. *Biomed Res Int.* 2018;2018:8054698. doi: 10.1155/2018/8054698.

Сведения об авторах

✉ *Петленко Ирина Сергеевна*

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-3600-3583>
e-mail: Petlenko1995@yandex.ru

Федюнина Светлана Юрьевна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0009-0003-8718-493X>
e-mail: fedyuninasyu@yandex.ru

Алиев Алимурад Газиевич — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-6885-5473>
e-mail: alievag@yandex.ru

Билык Станислав Сергеевич — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-7123-5582>
e-mail: bss0413@gmail.com

Захматов Никита Сергеевич

<https://orcid.org/0009-0006-7340-5545>
e-mail: zakhmatovn.s@gmail.com

Шубняков Игорь Иванович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
e-mail: shubnyakov@mail.ru

Authors' information

✉ *Irina S. Petlenko*

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-3600-3583>
e-mail: Petlenko1995@yandex.ru

Svetlana Yu. Fedyunina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0003-8718-493X>
e-mail: fedyuninasyu@yandex.ru

Alimurad G. Aliyev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6885-5473>
e-mail: alievag@yandex.ru

Stanislav S. Bilyk — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7123-5582>
e-mail: bss0413@gmail.com

Nikita S. Zakhmatov

<https://orcid.org/0009-0006-7340-5545>
e-mail: zakhmatovn.s@gmail.com

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
e-mail: shubnyakov@mail.ru



Риск тромбоемболии после внутрикостной имплантации металлических изделий с экстрацеллюлярными везикулами мультипотентных стромальных клеток: предварительные результаты

И.В. Майбородин¹, М.Е. Рягузов¹, С.А. Кузькин², А.А. Шевела¹, Б.В. Шеплев¹,
И.О. Маринкин¹, В.И. Майбородина¹, Е.Л. Лушникова²

¹ ФГБУН «Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН», г. Новосибирск, Россия

² ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» Минобрнауки России РФ, Институт молекулярной патологии и патоморфологии, г. Новосибирск, Россия

Реферат

Актуальность. Новые методы имплантации имеют большое значение в связи с созданием эндопротезов в травматологии и ортопедии, восстановительной медицине и стоматологии. Не менее важно своевременное выявление и описание осложнений применения различных имплантационных процедур.

Цель исследования — найти и описать тромбы и эмболы в сердце и легких после экспериментальной имплантации металлических изделий в периферический отдел конечности с применением экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток.

Материал и методы. Экспериментальная имплантация была проведена беспородным кроликам обоего пола в возрасте 4–6 мес. массой 3–4 кг. Общее количество животных, включенных в исследование, составило 57 особей. Они были разделены на группы: 30 животным металлические изделия имплантировали с применением экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток (ЭВ МСК), 27 — без их применения. Методами световой микроскопии изучали сердца и легкие кроликов в различные сроки после имплантации винтовых титановых имплантатов в проксимальный мышечлок большеберцовой кости (ПМБК) с использованием ЭВ МСК.

Результаты. После внедрения металлического изделия в ПМБК в правых полостях сердца были обнаружены фибрин, детрит и даже структуры красного костного мозга (различные бластные формы гемопоэтических клеточных элементов: мегакариоциты, клетки эритроидного и миелоидного ростков). В артериях легких также были найдены тромбы и эмболы, которые или приводили к облитерации задействованного сосуда, или постепенно лизировались, но полностью не исчезали в течение 10 сут. наблюдения.

Заключение. После внутрикостной имплантации существует вероятность эмболии правых предсердия и желудочка сердца и сосудов легких вследствие миграции дебриса с током крови из места операции. Вместе с этим не исключено тромбообразование в сердце и артериях легких как реакция на присутствие детрита. Является целесообразным принятие мер, направленных как на недопущение попадания дебриса в кровоток, так и на профилактику тромбоемболии легочной артерии при любых имплантациях в костные ткани, даже относительно небольших изделий. Применение экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток для воздействия на процессы приживания имплантатов в значительной степени не влияет на выраженность и частоту тромбоемболических осложнений.

Ключевые слова: внутрикостная имплантация, экстрацеллюлярные везикулы мезенхимных стромальных клеток, тромбоз, тромбоемболия сердца, тромбоемболия легочных артерий.

Для цитирования: Майбородин И.В., Рягузов М.Е., Кузькин С.А., Шевела А.А., Шеплев Б.В., Маринкин И.О., Майбородина В.И., Лушникова Е.Л. Риск тромбоемболии после внутрикостной имплантации металлических изделий с экстрацеллюлярными везикулами мультипотентных стромальных клеток: предварительные результаты. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):131-142. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17519>.

Майбородин Игорь Валентинович; e-mail: imai@mail.ru

Рукопись получена: 03.04.2024. Рукопись одобрена: 07.06.2024. Статья опубликована: 20.06.2024.

© Майбородин И.В., Рягузов М.Е., Кузькин С.А., Шевела А.А., Шеплев Б.В., Маринкин И.О., Майбородина В.И., Лушникова Е.Л., 2024



Risk of Thromboembolism After Intraosseous Implantation of Metallic Devices with Extracellular Vesicles Derived from Multipotent Stromal Cells: Preliminary Results

Igor V. Maiborodin¹, Maksim E. Ryaguzov¹, Sergey A. Kuzkin², Aleksandr A. Shevela¹, Boris V. Sheplev¹, Igor O. Marinkin¹, Vitalina I. Maiborodina¹, Elena L. Lushnikova²

¹ Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. New implantation methods are of great importance due to the development of endoprotheses in traumatology and orthopedics, restorative medicine and dentistry. Equally important is the early detection and description of the implant-associated complications.

The aim of the study is to find and describe thrombi and emboli in the heart and lungs formed after experimental implantation of metallic devices in the peripheral part of limb using extracellular vesicles of mesenchymal stromal cells.

Methods. Outbred rabbits of both genders at the age from 4 to 6 months and of weight from 3 to 4 kg underwent experimental implantation. The study enrolled 57 species in total. They were divided into two groups: 30 animals underwent implantation of metallic devices using extracellular vesicles of mesenchymal stromal cells (EV MSCs), 27 – without their use. The rabbits' hearts and lungs were studied by light microscopy methods at different stages after integration of screw titanium implants into the proximal condyle of the tibia using EV MSCs.

Results. After implantation of metallic devices into the proximal condyle of the tibia, we detected fibrin, detritus and even the red bone marrow structures (various blast forms of hematopoietic cells: megakaryocytes, cells of the erythroid and myeloid lineages) in the right cavities of the heart. In the pulmonary arteries, we also found thrombi and emboli, which either led to the obliteration of the involved vessel or to gradual lysis, not disappearing completely within 10 days of follow-up.

Conclusions. After intraosseous implantation of the metallic devices, there is an embolism risk in the right atria and ventricle of the heart and the pulmonary arteries and veins due to the debris migration with the bloodstream from the surgery site. At the same time, one cannot exclude a thrombotic risk in the heart and pulmonary arteries as a reaction to the presence of detritus. It is advisable to take measures aimed at preventing both debris releasing into the bloodstream and pulmonary embolism during any implantations into the bone tissues, even of relatively small devices. Using EV MSCs to affect the implant engraftment processes has no significant effect on the severity and frequency of thromboembolic complications.

Keywords: intraosseous implantation metallic devices, extracellular vesicles derived from mesenchymal stromal cells, thrombosis, cardiac thromboembolism, pulmonary thromboembolism.

Cite as: Maiborodin I.V., Ryaguzov M.E., Kuzkin S.A., Shevela A.A., Sheplev B.V., Marinkin I.O., Maiborodina V.I., Lushnikova E.L. Risk of Thromboembolism After Intraosseous Implantation of Metallic Devices with Extracellular Vesicles Derived from Multipotent Stromal Cells: Preliminary Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):131-142. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17519>.

✉ Igor V. Maiborodin; e-mail: imai@mail.ru

Submitted: 03.04.2024. Accepted: 07.06.2024. Published: 20.06.2024.

© Maiborodin I.V., Ryaguzov M.E., Kuzkin S.A., Shevela A.A., Sheplev B.V., Marinkin I.O., Maiborodina V.I., Lushnikova E.L., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Венозные тромбоэмболические осложнения являются одной из основных причин заболеваемости и смертности госпитализированных больных хирургических стационаров. В литературе содержатся описания множества случаев тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) при тромбозе вен нижних конечностей [1, 2, 3, 4], иногда приводящих к летальному исходу [4]. Менее часто сообщают о ТЭЛА как результате флеботромбоза верхних конечностей [5, 6, 7], еще реже — о ТЭЛА на фоне появления тромбов во внутренней яремной, глубокой аксиллярной или подключичной венах [8]. Хирургическое вмешательство в регионе тромбированной вены часто является фактором, способствующим отрыву тромба и развитию ТЭЛА [4, 7].

Описана ТЭЛА при эндопротезировании суставов, но источником эмболов чаще всего являются тромбированные вены [9, 10, 11]. В качестве единичных случаев приводятся наблюдения пациентов с эмболией легочной артерии структурами костного мозга как гемопозитического, так и желтого [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Костномозговые эмболы легочных артерий могут осложнять травматические переломы костей, повреждения ребер и грудины в процессе реанимации, а также злокачественные новообразования. Иногда этиологический фактор определить не удается, эмболизация выявляется только при аутопсии [12, 14].

Опубликованы сообщения о ряде сердечно-сосудистых и легочных осложнений, иногда возникающих после установки тотального эндопротеза бедра. Из возможных причин этих реакций главной является жировая эмболия. Повышение интрамедуллярного давления, вызванное механическим сжатием костного мозга в бедренном канале во время введения стержня, по-видимому, является решающим патогенетическим фактором появления эмболов в кровеносном русле. Кроме того, тканевой тромбопластин из костного мозга, вытесняемый в дренирующие вены проксимального отдела бедра при введении ножки протеза, приводит к активации каскада свертывания крови, поражению венозного эндотелия и тромбообразованию [15, 16].

Техника внутрикостной инфузии является спасительной альтернативой в экстренных случаях, когда внутривенный доступ невозможен. Во время

аутопсийного исследования образцов легких двух детей, которым делали внутрикостные инфузии во время попыток реанимации, были обнаружены от 0,23 до 0,71 костномозговых и жировых эмболов на 1 мм² среза [13].

В эксперименте на собаках с внутрикостными инфузиями растворов в дистальный отдел бедренной кости через 4 часа после введения J.P. Orłowski с соавторами исследовали случайные срезы легких с окрашиванием Oil Red O (Solvent Red 27, Sudan Red 5B) или гематоксилином и эозином для выявления жировых и костномозговых эмболов. Эмболы желтого и красного костного мозга были обнаружены во всех срезах легких с частотой от 0,06 до 4,48 объектов на мм² ткани [13].

Случайное обнаружение эмболизации правых отделов сердца кроликов гемопозитическими структурами и фибриновыми сгустками после внедрения в большеберцовую кость относительно небольших металлических имплантатов послужило основанием для этой работы.

Цель исследования — найти и описать тромбы и эмболы в сердце и легких после экспериментальной имплантации металлических изделий в проксимальный мышечлок большеберцовой кости с применением экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальная имплантация была проведена беспородным кроликам обоего пола в возрасте 4–6 мес. массой 3–4 кг. Общее количество животных, включенных в исследование, составило 57 особей. Они были разделены на группы: 30 животным металлические изделия имплантировали с применением экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток (ЭВ МСК), 27 — без их применения. Все манипуляции не были связаны с причинением боли животным. Кроликов содержали на стандартной лабораторной диете при естественном освещении в виварии.

Методы исследования подробно изложены в диссертационных работах А.А. Шевель¹ и С.А. Кузькина², посвященных применению клеточных технологий для воздействия на внутрикостную имплантацию, приживление внедренных изделий, а также осложнениям и побочным эффектам подобных процедур.

¹ Шевела А.А. Патоморфологические реакции на внедрение металлических имплантатов в костную ткань в условиях применения клеточных технологий (экзосом мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток) в эксперименте: дис. ... д-ра. мед. наук. Новосибирск, 2022. 221 с.

² Кузькин С.А. Патоморфология миокарда при травме костной ткани и экспериментальном применении экзосом мультипотентных стромальных клеток: дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 2022. 122 с.

Хирургическое вмешательство по моделированию повреждения проксимального мышечка большеберцовой кости и введение ЭВ МСК

Хирургическое вмешательство проводили с соблюдением всех правил асептики и антисептики условиях чистой операционной под общим наркозом на основе тотальной внутривенной анестезии пропофолом [18, 19, 20]. В обоих проксимальных мышечках большеберцовой кости (ПМБК) стоматологическим бором диаметром 2 мм с охлаждением стерильным физиологическим раствором создавали стандартизированное отверстие на глубину 4 мм [18].

Дефекты ПМБК на правой и левой конечностях заполняли инсулиновым шприцем теплым физиологическим раствором на фосфатном буфере (контроль — 27 кроликов) или вводили 39 мкг ЭВ МСК на животное (или 19,5 мкг на одну конечность) в этом буфере (опыт — 30 животных). Через 10–20 сек. со стабильной первичной фиксацией до 30 Н × см внедряли винтовые титановые имплантаты (изделия 3,5×8,0 мм с шероховатой поверхностью; 3S, Израиль), устанавливали винт-заглушку и послойно без натяжения ушивали операционную рану [18]. Животных выводили из эксперимента спустя 3, 7 и 10 сут. после операции, в каждой подгруппе было 9–12 животных (табл. 1).

Таблица 1
Группы и количество животных в различные сроки после имплантации

Группа животных	Время после имплантации			Всего
	3-и сут.	7-е сут.	10-е сут.	
Имплантация без ЭВ МСК (контроль)	9	9	9	27
Имплантация с ЭВ МСК (опыт)	12	9	9	30
Всего	21	18	18	57

Получение, культивирование и характеристики МСК, выделение ЭВ МСК

МСК получали из костного мозга крысы-самца инбредной линии Wag массой 180 г. в возрасте 6 мес., характеризовали и культивировали в соответствии с ранее разработанными рекомендациями [18, 19, 20]. Клетки были характеризованы на основании данных литературы [21, 22, 23].

Кондиционную среду для выделения ЭВ МСК собирали на стадии стационарного роста стабильной культуры 3-го пассажа преддифференцированных в костном направлении МСК (0,1 мкМ раствор дезоксиметазона, 50 мкМ раствор аскорбиновой кислоты и 10 мМ раствор β-глицерофосфата, все

реактивы производства Sigma, США) [18, 19, 20, 24] при достижении конfluence клеточного монослоя 80–90% согласно указаниям литературы [25, 26].

Для удаления клеток, их остатков, апоптотных телец и крупных везикул кондиционную среду после культивирования МСК последовательно центрифугировали [27, 28]. Выделенные ЭВ МСК ресуспендировали в 200 мкл забуференного физиологического раствора, пропускали через фильтр с порами 0,22 мкм. Количество ЭВ МСК определяли по содержанию белка в осадке, использовали коммерческий набор Qubit protein assay kit (Thermo Fisher Scientific, США) и флуориметр Qubit® 3.0.

Методы морфологического анализа

Из сердец выведенных из эксперимента кроликов вырезали фрагмент толщиной около 5 мм так, чтобы в образце оказались правые и левые предсердия и желудочки с максимальной площадью полостей. Затем по перегородке разделяли правые и левые отделы, которые обрабатывали отдельно. Соответственно рекомендациям литературы, кроме сердец, для поиска эмболов костного мозга с гемопозитическими клетками были внимательно изучены легкие [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Для исследования использовали правое легкое, из середины которого выделяли 3–5 фрагментов кубической формы с длиной граней около 5 мм. Образцы фиксировали в 4% растворе параформальдегида на фосфатном буфере (pH 7,4) не менее 1 сут., обезжизивали в реактиве «Изопреп» (БиоВитрум, Россия), просветляли в ксилоле и заключали в гистопласт. Гистологические срезы толщиной 5–7 мкм окрашивали гематоксилином и эозином, исследовали при увеличении до 1200 раз в световом микроскопе Axioimager M1 (Carl Zeiss, Германия). С целью определения размеров лейкоцитарных инфильтратов и тромбов применяли комплекс программ для морфометрии Axiovision (Carl Zeiss, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Спустя 3 дня после имплантации в ПМБК у одного животного из группы контроля в правых отделах сердца присутствовали фибриновые тромбы с большим числом гемопозитических клеток (рис. 1 а, б), наиболее вероятно, костномозгового происхождения. На это указывает разнородность незрелых клеточных форм — от клеток эритроидного и миелоидного ростков до мегакариоцитов (рис. 1 б).

Через 3 сут. после имплантации с применением ЭВ МСК в сердце костномозговые эмболы отсутствовали во всех случаях. У 2 кроликов в сердечных полостях были обнаружены тромбы (рис. 1 с, д), в некоторых наблюдениях сходные с тромбами при эндокардите (рис. 1 д). Найденные

тромбы были «красными»: состояли из фибрина и эритроцитов, иногда с диффузной инфильтрацией лейкоцитами, изредка был зарегистрирован по току крови своеобразный «хвост» этих тромбов (рис. 1d).

На более поздних сроках наблюдения эмболы костного мозга и сгустки фибрина в полостях сердца обнаружены не были независимо от применения ЭВ МСК для влияния на процессы имплантации металлического изделия в ПМБК.

На 3-и сут. в сосудах легких 5 из 9 кроликов после имплантации без применения ЭВ МСК были найдены фибриновые тромбы, обильно инфильтрованные лейкоцитами, преимущественно сег-

ментоядерными клетками (рис. 2а, б). Визуально заметные структуры костного мозга и скопления гемопоэтических клеточных элементов выявлены не были.

Через 3 сут. после операции на ПМБК с последующим применением ЭВ МСК в сосудах легких 8 из 12 животных также присутствовали свежие тромбы из плотно расположенных эритроцитов и сегментоядерных клеточных элементов с интенсивно окрашенной эозином цитоплазмой (рис. 3а). Также в стенках альвеол были найдены расширенные в значительной степени капилляры, содержащие гетерогенную эозинофильную субстанцию с макрофагами (рис. 3б).

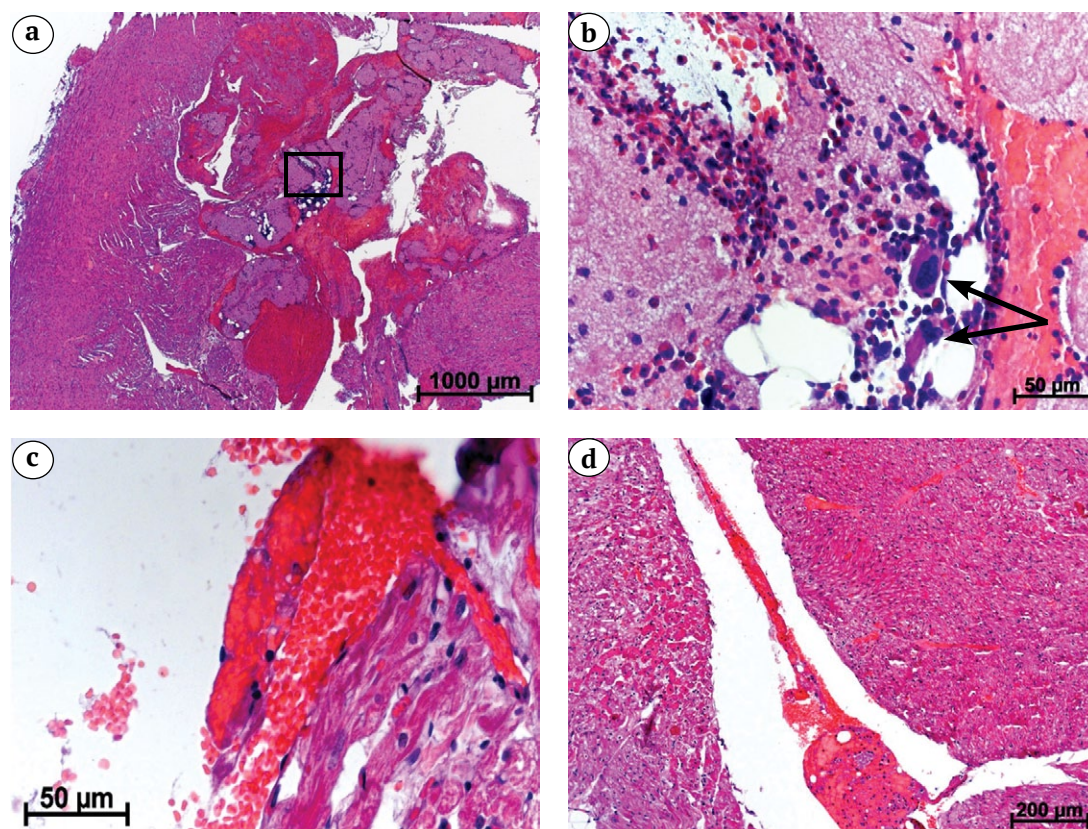


Рис. 1. Структуры красного костного мозга (а, b — без применения ЭВ МСК) и тромбы (с, d — с использованием ЭВ МСК) в правых полостях сердец кроликов спустя 3 сут. после внедрения в ПМБК металлического винтового имплантата:

а — в правом предсердии и в правом желудочке расположены объемные сгустки крови; б — фрагмент «а», в правом желудочке присутствуют мегакариоциты (отмечены стрелками) и большое количество нейтрофилов разной степени зрелости; с — в месте начала коронарной артерии образован тромб; d — старый тромб с диффузной лейкоцитарной (нейтрофильной) инфильтрацией и «хвостом» по току крови. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 1. Structures of red bone marrow (a, b — without the use of EV MSCs) and blood clots (c, d — with the using EV MSCs) in the right cavities of the rabbit's hearts 3 days after implantation of a metallic devices into the PTC:

a — the right atrium and ventricle contain a large volume of blood clots; b — fragment “a”, a significant number of cells with segmented nuclei located in the cavity of the right heart ventricle, megakaryocytes are present (arrows); c — thrombus at the beginning of the coronary artery; d — old thrombus diffusely infiltrated with leukocytes, including neutrophils, with a “tail” along the blood flow. Hematoxylin and eosin staining

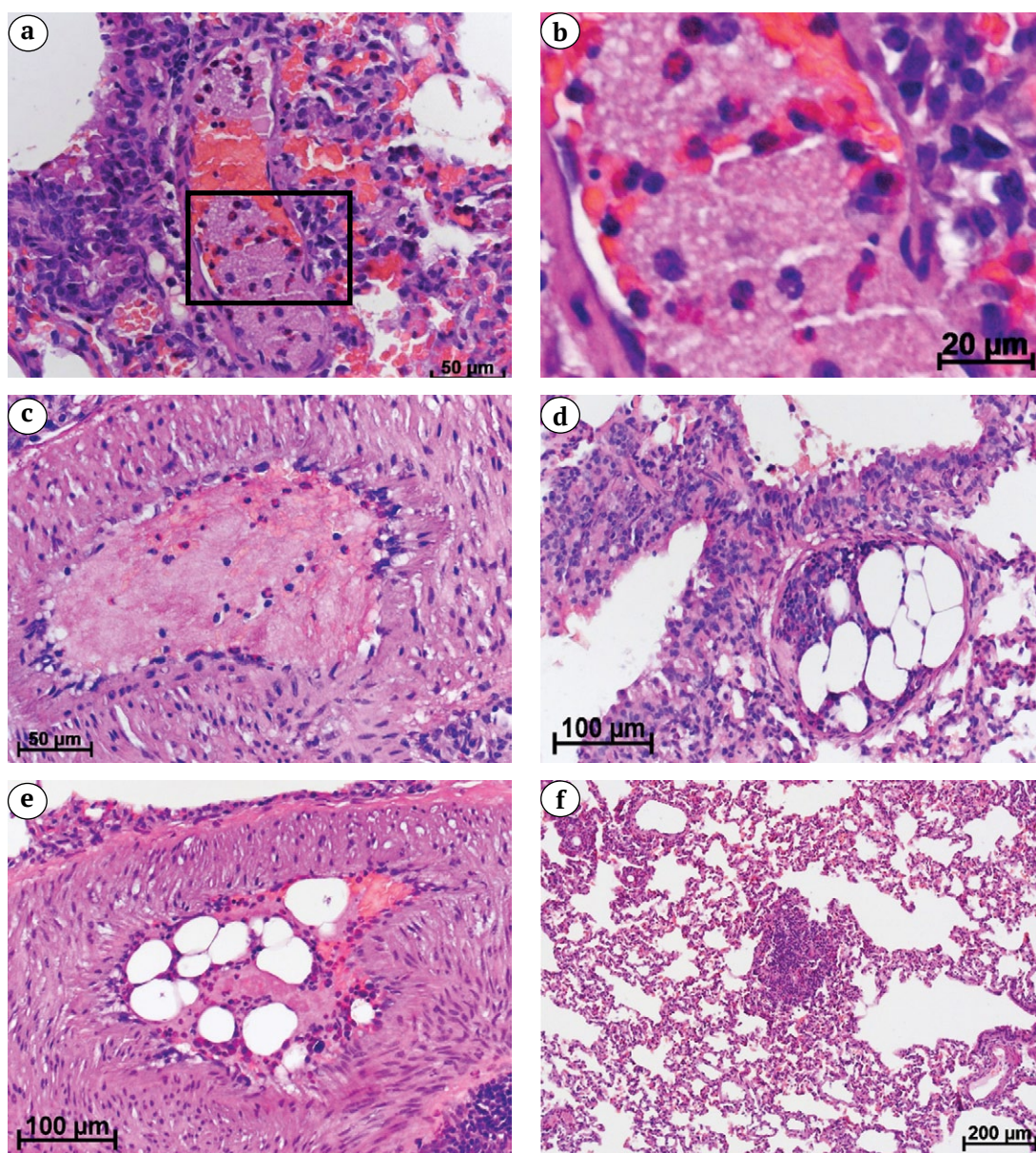


Рис. 2. Тромбы и костномозговые эмболы в сосудах легких кроликов в различные сроки после имплантации в ПМБК металлического изделия:
 а, б — спустя 3 сут. в тромбированной артерии фибрин, инфильтрированный сегментоядерными клетками с эозинофильной цитоплазмой, перемежается с плотно упакованными эритроцитами;
 с — на 7-е сут. просвет крупной артерии с гипертрофированными оболочками выполнен гетерогенной бесструктурной субстанцией, инфильтрированной сегментоядерными клетками;
 д — через 7 сут. в просвете сосуда с растянутыми оболочками расположены ячеистые структуры жировой ткани с гемопоэтическими клетками между ними; е — спустя 10 сут. в артерии с гипертрофированными оболочками содержатся ячеистые структуры жировой ткани с плотной волокнистой соединительной тканью, инфильтрированной лейкоцитами и эритроцитами, между ними; ф — лейкоцитарный инфильтрат диаметром более 200 мкм в паренхиме на 10-е сут. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 2. Thrombi and emboli in the lung vessels of rabbits at various times after implantation of a metallic devices into the PTC:
 a, b — after 3 days in a thrombosed artery, fibrin, infiltrated by cells with segmented nuclei and eosinophilic cytoplasm, alternates with densely packed erythrocytes;
 c — on day 7, a heterogeneous structureless substance, infiltrated with segmented cells, is contained in the large artery with hypertrophied wall;
 d — after 7 days, structures of adipose tissue with hematopoietic cells between them are located in a vessel with a stretched wall;
 e — after 10 days, the artery with hypertrophied walls contains cellular structures with dense fibrous connective tissue, infiltrated with leukocytes and erythrocytes, between them;
 f — leukocyte infiltrate with a diameter of more than 200 microns in the parenchyma on 10 days. Hematoxylin and eosin staining

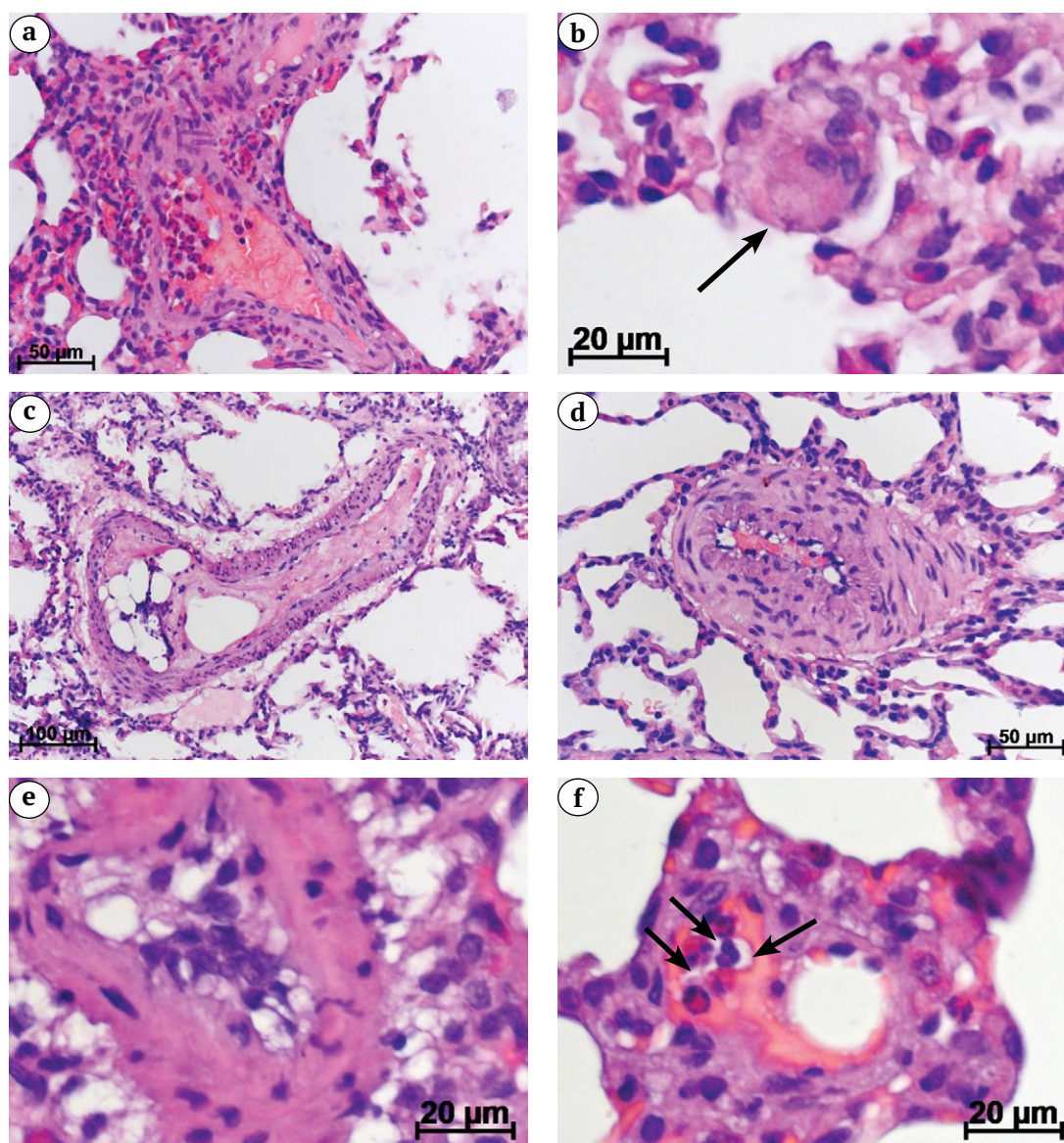


Рис. 3. Тромбоэмболия фибрином и структурами костного мозга сосудов легких кроликов в разные сроки после внедрения в ПМБК имплантата с предварительным введением ЭВ МСК:
 а — на 3-е сут. сосуд плотно заполнен гетерогенной бесструктурной эозинофильной субстанцией, инфильтрированной сегментоядерными клетками, цитоплазма которых имеет интенсивную эозинофильную окраску; б — спустя 3 сут. в расширенном до шарообразной формы капилляре (стрелка) альвеолярной перегородки содержится бесструктурное вещество с макрофагами; с — через 7 сут. в артерии расположены ячейки жировой ткани с гемопоэтическими клетками, а также слабо эозинофильное бесструктурное вещество с расположенными по краю лейкоцитами; д — на 7-е сут. появляются сосуды со значительно гипертрофированными оболочками и сильно суженным просветом с красным ячеистым тромбом в нем; е — спустя 10 сут. в артерии содержатся крупные клеточные элементы с ячеистыми волокнистыми структурами между ними; ф — через 10 сут. в капилляре расположен красный тромб с большими просветами, инфильтрированный сегментоядерными клеточными элементами с оптически прозрачной субстанцией рядом с ними (обозначен стрелками). Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 3. Thromboembolism with fibrin and bone marrow structures of the lung vessels of rabbits on different dates after the introduction of an implant into the PTC with the preliminary EV MSCs administration:
 a — on the 3rd day, the vessel is densely filled by a heterogeneous structureless eosinophilic substance, infiltrated by cells with segmented nuclei, the cytoplasm of which has an intense eosinophilic color; b — after 3 days, the capillary, expanded to a spherical shape (arrow), of the alveolar septum, contains a structureless substance with macrophages; c — after 7 days, the artery contains adipose tissue with hematopoietic cells and a weakly eosinophilic structureless substance with leukocytes located along the edge; d — by day 7, there is appear vessels with significantly hypertrophied wall and a strongly stenosed clear with a red thrombus inside; e — after 10 days, the artery contains large cells with cellular fibrous structures between them; f — After 10 days, a red thrombus, infiltrated with segmented cells with an optically transparent substance next to them (arrows), is located in the capillary. Hematoxylin and eosin staining

К 7-м сут. у всех 9 животных из группы контроля в легких присутствовали или тромбированные, или эмболизированные костномозговыми структурами сосуды, или те и другие вместе (рис. 2 с, d). В случае обнаружения тромбоза сосуд был плотно закупорен практически гомогенным фибриновым сгустком, в котором только на очень небольших участках можно было различить эритроциты, такие сгустки были инфильтрованы лейкоцитами с сегментированным ядром. В некоторых случаях оболочки артерий были в значительной степени гипертрофированы (рис. 2 с). Если просвет сосудов был полностью выполнен костномозговым эмболом, тогда были хорошо визуализированы ячейки жировой ткани и расположенные между ними гемопозитические клетки, в основном эритроидного ряда (рис. 2 d).

На 7-е сут. после операции и использования ЭВ МСК у всех 9 кроликов в легких присутствовали тромбированные или эмболизированные артерии, а иногда были найдены сосуды одновременно с тромбом и структурами костного мозга с хорошо различимыми ячейками жировой ткани и гемопозитическими клетками между ними. Также в легочной паренхиме часть сосудов артериального типа имели сильно гипертрофированные оболочки и очень узкий просвет с признаками тромбоза (рис. 3 с, d).

Спустя 10 дней после имплантации без использования ЭВ МСК у 4 кроликов из 9 в легочных артериях со значительно гипертрофированными оболочками были расположены ячеистые оптически прозрачные структуры с плотной волокнистой соединительной тканью и эритроцитами между ними (рис. 2 е). Кроме этого, в 7 случаях были обнаружены крупные лейкоцитарные инфильтраты площадью до 4×10^4 мкм² (рис. 2 f).

К окончанию эксперимента с введением ЭВ МСК к 10-м сут. сосудистая патология была выявлена у 5 животных из 9. В небольших сосудах отсутствовал просвет, в нем располагались или клеточные элементы, похожие на макрофаги и фибробласты с формирующимися волокнистыми структурами соединительной ткани между ними (рис. 3 е), или эритроцитарный тромб с ячеистой структурой и сегментоядерными клетками с ярко окрашенной эозинофильной цитоплазмой, причем иногда рядом с такими лейкоцитами были найдены менее плотные участки тромба, видимо, лизируемые экзоцитируемыми ферментами фагоцитов (рис. 3 f).

ОБСУЖДЕНИЕ

В ранее выполненном нами исследовании методами люминесцентной микроскопии был проведен поиск в отдаленных органах ЭВ МСК, меченых флюоресцентным красителем, после их введения

в искусственно созданный дефект ПМБК в эксперименте. Инъектированные ЭВ МСК были обнаружены, по частоте встречаемости, в легких, миокарде, печени и селезенке. Во все указанные органы ЭВ МСК попадают с током крови. В легких присутствовало максимальное количество меченых ЭВ МСК, причем часто они были ассоциированы с детритом и находились в просвете альвеол. После фильтрации в капиллярах альвеолярных перегородок детрита с ЭВ МСК и в некоторой мере свободных ЭВ МСК, которые могут элиминироваться в просвет альвеол, оставшиеся везикулы распространяются посредством кровотока по всему организму, в том числе оказываются в миокарде [19].

Также нами была описана реструктуризация миокарда в ответ на повреждение ПМБК с последующим применением ЭВ МСК. Показано, что в результате моделирования дефекта ПМБК у кроликов развивается отек миокарда, в нем на фоне уменьшения процента лимфоцитов возрастают относительное и абсолютное содержание нейтрофилов, эритроцитов и макрофагов. Обнаруженные преобразования миокарда, скорее всего, обусловлены попаданием в него детрита с током крови из ПМБК. Выявленные эффекты ЭВ МСК, наиболее вероятно, связаны с подавлением активности воспалительного процесса в области ПМБК, что, в свою очередь, обуславливает более продолжительное поступление детрита посредством кровотока в миокард [20].

Существует вероятность, что при объемном повреждении костной ткани с костномозговыми структурами во время подготовки дефекта ПМБК и имплантации металлических винтовых изделий происходит попадание в кровь тканей и клеток и красного, и желтого костного мозга. Этому способствует повышение давления при закручивании винтового имплантата в мышелок из губчатой кости с большим содержанием костного мозга с механическим выдавливанием его в поврежденные сосуды [15, 16]. Костномозговые структуры сначала попадают в правое предсердие и правый желудочек, где в результате взаимодействия с тканевым тромбопластином поврежденных тканей костного мозга активируется фибриноген и переходит в фибрин. Далее костномозговые эмболы или остаются в полостях сердца до полной деструкции или организации, или мигрируют по току крови в артерии легких с возможностью их эмболии.

При обнаружении тромбов в правых отделах сердца после имплантации с применением ЭВ МСК не исключено, что произошло превращение в фибрин активированного в месте имплантации фибриногена. Также есть возможность, что фибриноген активирован уже непосредственно в правых отделах сердца после контакта с костномозговыми

поврежденными структурами, а также тканевым тромбопластином из разрушенных во время подготовки к операции и самой имплантации тканей [15, 16]. Наличие тромба в любой из полостей сердца не только мешает нормальной функции миокарда в данное время, но и такая помеха будет нарастать в будущем, когда фибриновый сгусток подвергнется констрикции и организации с уменьшением объема соответствующей сердечной полости, травмой клапана и т.п. Нельзя исключить, что какое-то время спустя такой крупный тромб оторвется от эндотелия с неизбежной эмболией одной или нескольких артерий легких. Большое количество лейкоцитов в тромбах после имплантации в ПМБК с использованием ЭВ МСК является свидетельством того, что данные тромбы были образованы не в процессе выведения кроликов из эксперимента и не зависят от посмертных явлений, а были сформированы в течение какого-то промежутка времени до эвтаназии. Однако то, что фибрин еще не подвергся констрикции, указывает на не очень давний срок тромбоформирования в сердечных полостях, это подтверждается и отсутствием лизиса и вымывания эритроцитов, находящихся в тромбе.

Но все-таки, по нашему мнению, наиболее вероятно, что патогенез тромбообразования в сердце обусловлен непосредственно имплантацией в ПМБК, а не с использованием ЭВ МСК. При миграции тканевого тромбопластина вместе с тканевым дебрисом из места имплантации [15, 16] по кровотоку в сердце в его полостях происходит активация фибриногена, и формируется тромб. Но также следует принимать во внимание, что эктосомальная фракция ЭВ МСК может связываться с аннексином V и затем, взаимодействуя с протромбином и X фактором свертывания крови, формирует протромбиназный комплекс и инициирует свертывание крови [29, 30]. В любом случае следует принимать во внимание возможность массивной ТЭЛА при отрыве от эндокарда больших тромбов и осуществлять профилактику этого осложнения.

Таким образом, при обширных операциях на костях с повреждением костного мозга существует вероятность или попадания костномозговых структур в кровотоки и миграции в правые отделы сердца, или образования тромбов уже в полостях сердца как реакции на присутствие поврежденных тканей. В любом случае есть высокий риск тромбоэмболии ветвей легочного ствола.

Отсутствие на более поздних, чем 3-и сут., сроках в полостях сердца тромбов и костномозговых эмболов может являться свидетельством или их лизиса, или отрыва от эндотелия с миграцией в сосуды легких. Не исключены фрагментация тромбов и эмболов и попадание их в ветви легочной артерии уже в фрагментированном виде.

Организацию этих образований в сердце, по всей видимости, можно исключить, так как не было обнаружено следов их присутствия на эндокарде в виде склерозированных наслоений позже 3 сут. наблюдения.

При описании изменений в легких считаем необходимым отметить, что тромбоэмболические изменения найдены не у всех животных. Однако в данном эксперименте невозможно провести статистическое исследование встречаемости данных осложнений. Не было ожидания таких находок, в связи с этим изучению подверглись не все легкие, а только случайно выбранные 3–5 небольших фрагментов правого органа, с которых для последующего исследования были сделаны также случайные гистологические срезы. Соответственно, не все случаи тромбоэмболии были выявлены.

В тех случаях, когда в сосудах легких были найдены фибриновые образования, с большой вероятностью можно предположить их попадание в орган в виде эмбола. Во время продвижения по артериям легочного ствола из сердца произошло вымывание эритроцитов, и из красного тромба получился белый тромб или уже эмбол. Такие эмболы имеют различные размеры, поэтому обнаружены в сосудах разного диаметра: от крупных артерий до капилляров, проходящих в стенках альвеол.

Значительное количество плотно упакованных эритроцитов с фибриновой сетью между ними или перемежающихся с фибрином без эритроцитов, скорее всего, связано с тромбообразованием *in situ*. Небольшие фрагменты костного мозга и тканевой детрит с тромбопластином из места повреждения костной ткани попадают в капилляры легких, и уже в качестве ответа на присутствие нежизнеспособных тканей, тканевого тромбопластина и активированного фибриногена в капиллярах формируется тромб с эритроцитами, который постепенно лизируется и реканализируется [15, 16].

Следует отметить и возможность тромбоза сначала эмболизированного сосуда. Когда костномозговой эмбол закупоривает сосуд и выключает его из кровотока, дистальная часть сосуда запустевает, а проксимальная расширяется за счет притока крови, которая там застаивается и также под действием тканевого тромбопластина из поврежденных структур костного мозга свертывается, образуется тромб выше эмбола, возможно, доходящий до разветвления артерии. То есть тромбоз присоединяется как реакция на эмболию и обтурацию артерии.

Наличие инфильтрирующих нейтрофилов указывает на лизис таких тромбов и эмболов. Интенсивная эозинофилия цитоплазмы нейтрофилов обусловлена фагоцитозом с последующим лизисом эритроцитов, продуктов гемолиза и фибрина. Когда в сосуде легкого оказывается крупный костномозговой эмбол, он может выглядеть как

ячеистое образование, похожее на жировую ткань (желтый костный мозг), в прослойках которого расположены гемопоэтические клеточные элементы. Выключенные из кровотока тромбированные или эмболизированные сосуды облитерируются и со временем склерозируются. Не исключено, что обнаруженные на 10-е сут. после повреждения ПМБК лейкоцитарные инфильтраты формируются на месте облитерированных сосудов.

Обнаруженные гипертрофия оболочек и сужение просвета некоторых артерий, проходящих в паренхиме легких, наиболее вероятно, связаны с непроходимостью сосудистого русла. После тромбоза или эмболии артерии оболочки ее проксимального отдела гипертрофируются в связи с гипертензией непроходимого сосуда. При невозможности проталкивания, реканализации тромба или лизиса эмбола кровь в таком выключенном сосуде постепенно лизируется, его просвет запустевает, суживается и облитерируется. Необходимо отметить, что даже при отсутствии массивной ТЭЛА, но при поражении множества мелких артерий в легких, а не одного легочного ствола, возможно повышение давления во всем малом круге кровообращения, что будет сопровождаться гипертрофией оболочек всех артерий указанных органов.

Необходимо обратить внимание на присутствие относительно свежих тромбов с эритроцитами в мелких сосудах на 10-е сут. после имплантации. Скорее всего, в результате лизиса крупных тромбов и эмболов происходит их измельчение, и мелкие фрагменты, продвигаясь по сосудам к капиллярам, оседают дистальнее, в сосудах более мелкого диаметра, эмболизируя их. В таких сосудах как реакция на эмбол начинаются такие же, как описано выше, процессы тромбоза с последующей миграцией фагоцитов и лизисом уже свежего тромба и, возможно, оставшегося эмбола. Но все это начинается позже, по мере деструкции крупного тромба (эмбола), и поэтому свежие тромботические изменения мелких сосудов найдены только на 10-й день после имплантации.

Рассмотрим различия поражений сосудов легких в зависимости от применения ЭВ МСК при повреждении ПМБК. Как уже отмечено выше, в связи со случайным выбором фрагментов легкого и изготовлением из них случайных срезов для последующего исследования, невозможно провести статистический анализ и получить статистически значимые данные о встречаемости того или иного признака. Однако в качестве предварительного результата можно отметить, что при имплантации без использования ЭВ МСК в легких более часто встречались эмболы костного мозга, тогда как после операции с инъекцией ЭВ МСК перед имплантацией преобладали тромбозы и эмболии сгустками фибрина и крови.

Не исключено, что в результате иммуномодуляторного действия ЭВ МСК [31, 32, 33] и задержки лизиса нежизнеспособных тканей в месте повреждения ПМБК детрит не лизируется и не удаляется между швами, наложенными на рану. Такой детрит всасывается в сосудистое русло в большем объеме, чем после хирургического вмешательства без ЭВ МСК, и также в большем объеме поступает в сердце [20] и далее в легкие. Этот детрит эмболизирует сосуды легких, и его присутствие активирует фибриноген и запускает тромбообразование.

На основании полученных данных нельзя исключить, что описанная ранее облитерация сосудов миокарда после имплантации в ПМБК может являться результатом их тромбоэмболии из места операции [20]. В таких случаях или прошедший через капилляры легких эмбол (лизис и фрагментация более крупного тромба или эмбола в легких) попадает в коронарные артерии и затем в их мелкие ветви, или тканевой тромбопластин из поврежденных во время хирургического вмешательства тканей, пройдя через легкие, оказывается в сосудах миокарда, где служит причиной их тромбоза. Следует учитывать наличие легочных артерио-венозных шунтов, которые открываются при гипертензии малого круга кровообращения, чтобы компенсировать повышение давления в результате непроходимости сосудов. Если это предположение верно, весьма вероятно проникновение таких мелких эмболов не только в коронарные артерии, но и в артериальное русло других органов, таких как головной мозг или кишечник, с гипоксией, инсультом и некрозом кровоснабжаемых пораженной артерией тканей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После имплантации металлического изделия в проксимальный мышцелок большеберцовой кости в эксперименте возможно присутствие сгустков крови и эмболов из красного костного мозга или тканевого детрита в правых полостях сердца и сосудах легких вследствие миграции с током крови из места операции. Не исключено тромбообразование в правых предсердии и желудочке сердца, а также в артериях легких как реакция на детрит. Целесообразно принятие мер, направленных как на недопущение попадания дебриса в кровоток, так и на профилактику тромбоэмболии легочной артерии при любых имплантациях в костные ткани, даже относительно небольших изделий. Применение экстрацеллюлярных везикул мезенхимных стромальных клеток для воздействия на процессы приживления имплантатов или не влияет на выраженность и частоту тромбоэмболических осложнений, или все-таки способствуют незначительному увеличению частоты тромбозов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа выполнена по государственному заданию в рамках бюджетной темы ИХБФМ СО РАН «Фундаментальные основы здоровьесбережения» № 121031300045-2 и при финансовой поддержке ПФНИ ГАН на 2022–2024 гг. «Изучение морфологических и молекулярных особенностей органопатий при изолированном и сочетанном воздействии ведущих метаболических факторов риска хронических неинфекционных заболеваний» (код темы FGMU-2022-0030, № гос. регистрации 122032300164-6).

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование выполнено с соблюдением ГОСТ 33215-2014 и требований Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета ЕС о защите животных, используемых в научных целях.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Li T., Wang Q., Wang W., Yang J., Dong S. One filter may be enough for duplicate inferior vena cava filter implantation in patients with deep venous thrombosis: Two cases report. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(52):e32480. doi: 10.1097/MD.00000000000032480.
- Shah K.J., Roy T.L. Catheter-Directed Interventions for the Treatment of Lower Extremity Deep Vein Thrombosis. *Life (Basel)*. 2022;12(12):1984. doi: 10.3390/life12121984.
- Marques M.A., Fiorelli S.K.A., Barros B.C.S., Ribeiro A.J.A., Ristow A.V., Fiorelli R.K.A. Protocol for prophylaxis of venous thromboembolism in varicose vein surgery of the lower limbs. *Rev Col Bras Cir*. 2022;49:e20223326. doi: 10.1590/0100-6991e-20223326-en.
- Bharti N., Mahajan S. Massive pulmonary embolism leading to cardiac arrest after tourniquet deflation following lower limb surgery. *Anaesth Intensive Care*. 2009;37(5):867-868.
- Drouin L., Pistorius M.A., Lafforgue A., N’Gohou C., Richard A., Connault J. et al. Upper-extremity venous thrombosis: A retrospective study about 160 cases. *Rev Med Interne*. 2019;40(1):9-15. (In French). doi: 10.1016/j.revmed.2018.07.012.
- Khan O., Marmaro A., Cohen D.A. A review of upper extremity deep vein thrombosis. *Postgrad Med*. 2021;133(sup1):3-10. doi: 10.1080/00325481.2021.1892390.
- Duan Y., Wang G.L., Guo X., Yang L.L., Tian F.G. Acute pulmonary embolism originating from upper limb venous thrombosis following breast cancer surgery: Two case reports. *World J Clin Cases*. 2022;10(21):7445-7450. doi: 10.12998/wjcc.v10.i21.7445.
- Major K.M., Bulic S., Rowe V.L., Patel K., Weaver F.A. Internal jugular, subclavian, and axillary deep venous thrombosis and the risk of pulmonary embolism. *Vascular*. 2008;16(2):73-79. doi: 10.2310/6670.2008.00019.
- Kim S., Ahn H., Shin S.A., Park J.H., Won C.W. Trends of thromboprophylaxis and complications after major lower limb orthopaedic surgeries in Korea: National Health Insurance Claim Data. *Thromb Res*. 2017;155:48-52. doi: 10.1016/j.thromres.2017.04.023.

DISCLAIMERS

Funding source. State budget financing.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

- Heijboer R.R.O., Lubberts B., Guss D., Johnson A.H., DiGiovanni C.W. Incidence and Risk Factors Associated with Venous Thromboembolism After Orthopaedic Below-knee Surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019;27(10):e482-e490. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00787.
- Gurunathan U., Barras M., McDougall C., Nandurkar H., Eley V. Obesity and the Risk of Venous Thromboembolism after Major Lower Limb Orthopaedic Surgery: A Literature Review. *Thromb Haemost*. 2022;122(12):1969-1979. doi: 10.1055/s-0042-1757200.
- Grandi G., Antonini E., Bianchi C. Pulmonary bone-marrow embolism. Analysis of 53 cases. *Minerva Med*. 1978;69(8):491-494. (In Italian).
- Orlowski J.P., Julius C.J., Petras R.E., Porembka D.T., Gallagher J.M. The safety of intraosseous infusions: risks of fat and bone marrow emboli to the lungs. *Ann Emerg Med*. 1989;18(10):1062-1067. doi: 10.1016/s0196-0644(89)80932-1.
- Kemona A., Nowak H.F., Dzieciot J., Sulik M., Sulkowski S. Pulmonary bone marrow embolism in nonselected autopsy material. *Patol Pol*. 1989;40(2):197-204. (In Polish).
- Koessler M.J., Pitto R.P. Fat and bone marrow embolism in total hip arthroplasty. *Acta Orthop Belg*. 2001;67(2):97-109.
- Issack P.S., Lauerman M.H., Helfet D.L., Sculco T.P., Lane J.M. Fat embolism and respiratory distress associated with cemented femoral arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2009;38(2):72-76.
- Sharma P., Gautam A., Kumar P., Malhotra P., Nada R., Ahluwalia J. Bone marrow emboli following bone marrow procedure: A possible complication. *Indian J Pathol Microbiol*. 2022;65(4):946-947. doi: 10.4103/ijpm.ijpm_442_21.
- Maiborodin I., Shevela A., Matveeva V., Morozov V., Toder M., Krasil'nikov S. et al. First Experimental Study of the Influence of Extracellular Vesicles Derived from Multipotent Stromal Cells on Osseointegration of Dental Implants. *Int J Mol Sci*. 2021;22(16):8774. doi: 10.3390/ijms22168774.
- Maiborodin I., Shevela A., Toder M., Marchukov S., Tursunova N., Klinnikova M. et al. Multipotent Stromal Cell Extracellular Vesicle Distribution in Distant Organs after Introduction into a Bone Tissue Defect of a Limb. *Life (Basel)*. 2021;11(4):306. doi: 10.3390/life11040306.

20. Maiborodin I., Klinnikova M., Kuzkin S., Maiborodina V., Krasil'nikov S., Pichigina A. et al. Morphology of the Myocardium after Experimental Bone Tissue Trauma and the Use of Extracellular Vesicles Derived from Mesenchymal Multipotent Stromal Cells. *J Pers Med.* 2021;11(11):1206. doi: 10.3390/jpm11111206.
21. Coipeau P., Rosset P., Langonne A., Gaillard J., Delorme B., Rico A. et al. Impaired differentiation potential of human trabecular bone mesenchymal stromal cells from elderly patients. *Cytotherapy.* 2009;11(5):584-594. doi: 10.1080/14653240903079385.
22. Martins A.A., Paiva A., Morgado J.M., Gomes A., Pais M.L. Quantification and immunophenotypic characterization of bone marrow and umbilical cord blood mesenchymal stem cells by multicolor flow cytometry. *Transplant Proc.* 2009;41(3):943-946. doi: 10.1016/j.transproceed.2009.01.059.
23. Berner A., Siebenlist S., Reichert J.C., Hendrich C., Nöth U. Reconstruction of osteochondral defects with a stem cell-based cartilage-polymer construct in a small animal model. *Z Orthop Unfall.* 2010;148(1):31-38. (In German). doi: 10.1055/s-0029-1240753.
24. Zhao J., Xu J.J. Experimental study on application of polypropylene hernia of fat stem cells in rats. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018;22(18):6156-6161. doi: 10.26355/eurrev_201809_15957.
25. Blazquez R., Sanchez-Margallo F.M., de la Rosa O., Dalemans W., Alvarez V., Tarazona R. et al. Immunomodulatory potential of human adipose mesenchymal stem cells derived exosomes on in vitro stimulated T cells. *Front Immunol.* 2014;5:556. doi: 10.3389/fimmu.2014.00556.
26. Oshchepkova A., Neumestova A., Matveeva V., Artemyeva L., Morozova K., Kiseleva E. et al. Cytochalasin-B-inducible nanovesicle mimics of natural extracellular vesicles that are capable of nucleic acid transfer. *Micromachines (Basel).* 2019;10(11):750. doi: 10.3390/mi10110750.
27. Lin Y., Zhang F., Lian X.F., Peng W.Q., Yin C.Y. Mesenchymal stem cell-derived exosomes improve diabetes mellitus-induced myocardial injury and fibrosis via inhibition of TGF- β 1/Smad2 signaling pathway. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2019;65(7):123-126.
28. Liang P., Ye F., Hou C.C., Pi L., Chen F. Mesenchymal stem cell therapy for patients with ischemic heart failure – past, present, and future. *Curr Stem Cell Res Ther.* 2021;16(5):608-621. doi: 10.2174/1574888X15666200309144906.
29. Sadallah S., Eken C., Schifferli J.A. Ectosomes as modulators of inflammation and immunity. *Clin Exp Immunol.* 2011;163(1):26-32. doi: 10.1111/j.1365-2249.2010.04271.x.
30. Silachev D.N., Goryunov K.V., Shpilyuk M.A., Beznoschenko O.S., Morozova N.Y., Kraevaya E.E. et al. Effect of MSCs and MSC-derived extracellular vesicles on human blood coagulation. *Cells.* 2019;8(3):258. doi: 10.3390/cells8030258.
31. Tang X.D., Shi L., Monsel A., Li X.Y., Zhu H.L., Zhu Y.G. et al. Mesenchymal stem cell microvesicles attenuate acute lung injury in mice partly mediated by Ang-1 mRNA. *Stem Cells.* 2017;35(7):1849-1859. doi: 10.1002/stem.2619.
32. Haga H., Yan I.K., Borrelli D.A., Matsuda A., Parasramka M., Shukla N. et al. Extracellular vesicles from bone marrow-derived mesenchymal stem cells protect against murine hepatic ischemia/reperfusion injury. *Liver Transpl.* 2017;23(6):791-803. doi: 10.1002/lt.24770.
33. Toh W.S., Lai R.C., Hui J.H.P., Lim S.K. MSC exosome as a cell-free MSC therapy for cartilage regeneration: Implications for osteoarthritis treatment. *Semin. Cell Dev Biol.* 2017;67:56-64. doi: 10.1016/j.semcd.2016.11.008.

Сведения об авторах

✉ **Maiborodin Igor' Valentinovich** — д-р мед. наук, профессор

Адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-8182-5084>
e-mail: imai@mail.ru

Рягузов Максим Евгеньевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5279-3650>
e-mail: rymax@mail.ru

Кузькин Сергей Александрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9046-0099>
e-mail: acutus@mail.ru

Шевела Александр Андреевич — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9235-9384>
e-mail: mdshevela@gmail.com

Шеплев Борис Валентинович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0009-0008-4140-3531>
e-mail: shepa@icloud.com

Маринкин Игорь Олегович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-9409-4823>
e-mail: rector@ngmu.ru

Maiborodina Vitalina Игоревна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5169-6373>
e-mail: mai_@mail.ru

Лушников Елена Леонидовна — д-р биол. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-3269-2465>
e-mail: pathol@inbox.ru

Authors' information

✉ **Igor V. Maiborodin** — Dr. Sci (Med.), Professor
Address: 8, Akad. Lavrentiev avenue, Novosibirsk, 630090,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-8182-5084>
e-mail: imai@mail.ru

Maksim E. Ryaguzov — Cand. Sci (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5279-3650>
e-mail: rymax@mail.ru

Sergey A. Kuzkin — Cand. Sci (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9046-0099>
e-mail: acutus@mail.ru

Aleksandr A. Shevela — Dr. Sci (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9235-9384>
e-mail: mdshevela@gmail.com

Boris V. Sheplev — Dr. Sci (Med.)
<https://orcid.org/0009-0008-4140-3531>
e-mail: shepa@icloud.com

Igor O. Marinkin — Dr. Sci (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-9409-4823>
e-mail: rector@ngmu.ru

Vitalina I. Maiborodina — Dr. Sci (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5169-6373>
e-mail: mai_@mail.ru

Elena L. Lushnikova — Dr. Sci (Biol.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-3269-2465>
e-mail: pathol@inbox.ru



Модифицированный способ пластики передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата ВТВ

И.Ю. Ходжанов, Б.С. Убайдуллаев

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии
Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат

Актуальность. Центральная треть связки надколенника широко используется в качестве трансплантата для реконструкции передней крестообразной связки (ПКС). Однако ее использование может быть затруднено в случае длинной связки надколенника, что приводит к несоответствию длины трансплантата.

Цель исследования — оценка результатов артроскопической реконструкции передней крестообразной связки с применением оригинального способа забора и подготовки трансплантата из связки надколенника.

Материал и методы. В исследование вошли 26 мужчин, прооперированных по поводу разрыва ПКС с применением связки надколенника с прилежащими костными блоками (ВТВ) в качестве ауто трансплантата. На предоперационных сагиттальных срезах МРТ, проходящих в плоскости межмышечкового пространства, определяли предполагаемую длину поврежденной ПКС, длину костного тоннеля в большеберцовой кости, длину сухожильной части собственной связки надколенника, длину блока большеберцовой кости. На основании проведенных измерений выполняли распил блока большеберцовой кости таким образом, чтобы вся его часть располагалась в костном тоннеле большеберцовой кости.

Результаты. Измерения по данным МРТ соответствовали интраоперационным, что позволило добиться соответствия длины трансплантата сумме длин костных тоннелей и ПКС. На 12-й нед. после операции средний балл по тесту «шаг и удержание» составил $23,8 \pm 1,1$, по тесту приседаний на одной ноге — $6,7 \pm 0,9$, по тесту Y-баланса — $83,2 \pm 1,4$, что соответствует критериям восстановления профессиональных атлетов после пластики ПКС. Средний балл по шкале IKDC составил $64,9 \pm 5,7$.

Заключение. Предложенный способ подготовки ауто трансплантата ВТВ позволяет в полной мере добиться соответствия длины трансплантата длине костных тоннелей при пластике передней крестообразной связки, не отражаясь на процессе реабилитации пациента.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, артроскопическая реконструкция, ауто трансплантат ВТВ, предоперационное планирование, трансплантат «кость – связка – кость».

Для цитирования: Ходжанов И.Ю., Убайдуллаев Б.С. Модифицированный способ пластики передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата ВТВ. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2): 143-150. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17503>.

Убайдуллаев Бобур Сабирович; e-mail: ubobur@gmail.com

Рукопись получена: 17.03.2024. Рукопись одобрена: 07.06.2024. Статья опубликована онлайн: 13.06.2024.

© Ходжанов И.Ю., Убайдуллаев Б.С., 2024



A Modified Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with BTB Autograft

Iskandar Yu. Khodjanov, Bobur S. Ubaydullaev

*Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Traumatology and Orthopedics,
Tashkent, Uzbekistan*

Abstract

Background. Central third of the patellar tendon is a well know graft for anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. However, it's usage can be difficult in case of long patella tendon, which causes graft length discrepancy.

The aim of this article is to evaluate the results of arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with a help of original method of bone patella tendon bone graft preparation.

Methods. 26 males operated for ACL tear have been included in the study. On the preoperative MRI scans the approximate length of ACL, tibial tunnel, patella tendon length and tibial bone plug length have been measured. The technique of tibial bone plug cut was optimized based on preoperative MRI assessment.

Results. In all cases, MRI-based assessments were consistent with intraoperative measurements, hence there was possible to avoid graft length discrepancy. In a period of 12 weeks the average score on the step-and-holds test was 23.8 ± 1.1 , the single-leg squat test was 6.7 ± 0.9 and the Y-balance test was 83.2 ± 1.4 . The average IKDS score was 64.9 ± 5.7 .

Conclusion. The proposed method is appropriate for anterior cruciate ligament reconstruction in patients with long patella tendon.

Key words: knee joint, anterior cruciate ligament, surgical treatment, bone-tendon-bone graft, BTB.

Cite as: Khodjanov I.Yu., Ubaydullaev B.S. A Modified Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with BTB Autograft. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):143-150. (In Russian).
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17503>.

✉ Bobur S. Ubaydullaev; e-mail: ubobur@gmail.com

Submitted: 17.03.2024. Accepted: 17.03.2024. Published Online: 13.06.2024.

© Khodjanov I.Yu., Ubaydullaev B.S., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) с использованием различных аутотрансплантатов признается большинством ортопедов золотым стандартом хирургического лечения при передней нестабильности коленного сустава [1, 2, 3]. При этом, несмотря на широкое применение сухожилий полусухожильной и нежной мышц (StG), использование средней трети связки надколенника с прилегающими костными блоками (ВТВ) в качестве аутотрансплантата ПКС сохраняет свою актуальность ввиду обеспечения плотной связи между костным блоком трансплантата и окружающей костью. Это позволяет начать реабилитационные мероприятия в раннем послеоперационном периоде и добиться полного восстановления функции сустава с возвращением пациентов в спорт в ранние сроки после операции [4]. В последнее десятилетие произошла смена парадигмы от транстибиальной методики рассверливания бедренного канала к рассверливанию последнего через переднемедиальный артроскопический порт. Такой подход позволяет добиться более анатомического расположения трансплантата и тем самым лучше обеспечить ротационную стабильность сустава [5, 6, 7]. В то же время использование данного трансплантата может быть сопряжено с избыточной длиной связки надколенника. Так, при средней длине ПКС 35,0 мм длина собственной связки надколенника варьирует от 40,0 до 60,0 мм (рис. 1).

В результате при использовании длинной связки надколенника стандартный способ приготовления трансплантата неминуемо приведет к несоответствию длины трансплантата сумме длин ПКС и костных тоннелей бедренной и большеберцовой костей [8, 9, 10].

Цель — оценка результатов артроскопической реконструкции передней крестообразной связки с применением оригинального способа забора и подготовки трансплантата связки надколенника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Группу исследования составили 26 мужчин в возрасте от 18 до 37 лет ($26,0 \pm 5,4$), прооперированных по поводу разрыва ПКС с применением связки надколенника с прилежащими костными блоками в качестве аутотрансплантата в период с 2021 по 2022 г.

Критерии включения:

- пациенты с длиной связки надколенника 45,0 мм и более.
- пациенты с изолированными разрывами ПКС, полученными не более 12 нед. после травмы.

Техника операции

Предложенный нами способ пластики ПКС включает артроскопию коленного сустава, мобилизацию связки надколенника, продольное рассечение перитенона и получение трансплантата из средней трети связки надколенника с двумя прилежащими костными блоками, обработку трансплантата с целью получения необходимого размера, рассверливание каналов в латеральной мышечке бедренной и медиальной мышечке большеберцовой костей в местах анатомического прикрепления ПКС под артроскопическим контролем, проведение в каналы и фиксацию аутотрансплантата интерферентными титановыми винтами, ушивание перитенона. Расположение и фиксация проксимального костного блока в мышечке бедра производится таким образом, чтобы основание костного блока и основание интерферентного винта находились в одной плоскости с медиальной стенкой латеральной мышечки бедренной кости (рис. 2). Рассверливание канала в наружной мышечке бедренной кости выполнялось через переднемедиальный артроскопический порт при сгибании коленного сустава под углом 120° . Рассверливание канала в медиальной мышечке большеберцовой кости проводилось при помощи стереотаксического направителя, установленного под углом 55° .



Рис. 1. Различные варианты длины связки надколенника:

- a — 44,6 мм;
- b — 60,7 мм

Fig. 1. The patella tendon length variation:

- a — 44.6 mm;
- b — 60.7 mm

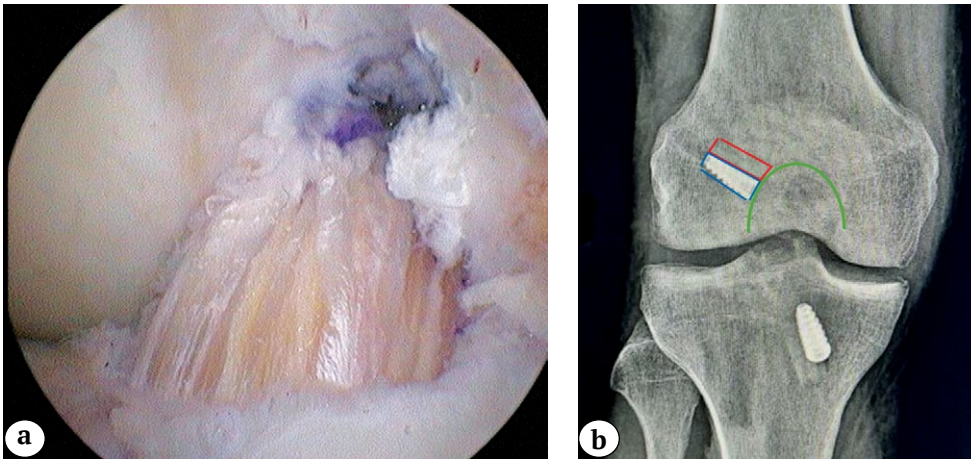


Рис. 2. Расположение трансплантата и интерферентного винта по отношению к наружному мыщелку бедра: а — артроскопическая картина; б — рентгенологическая картина

Fig. 2. The graft and interferential screw positioning with respect to lateral femoral condyle: а — arthroscopic view; б — x-ray view

При этом на предоперационных сагиттальных срезах МРТ, проходящих в плоскости межмышечкового пространства, определяют предполагаемую длину поврежденной ПКС путем измерения расстояния между точками ее анатомического прикрепления на латеральном мыщелке бедренной и медиальном мыщелке большеберцовой костей, предполагаемую длину костного тоннеля в большеберцовой кости, длину сухожильной части связки надколенника, длину дистальной части блока большеберцовой кости, которая является продолжением связки надколенника, а также потенциальную длину проксимальной части

костного блока большеберцовой кости (рис. 3). Возможности МРТ в качестве инструмента измерений анатомических структур коленного сустава изложены в работе S. Sundar с соавторами [11].

Таким образом, сумма длин а и б будет равняться сумме длин с и d ($a+b = c+d$). В то же время сумма длин d и e должна составлять не менее 25,0 мм, что соответствует длине интерферентного винта.

После проведенных измерений выполняют распил костного блока большеберцовой кости таким образом, чтобы вся его часть располагалась в костном тоннеле большеберцовой кости. При этом интраоперационно определялось начало зоны прикрепления связки надколенника, от которой в проксимальном направлении выполнялся распил большеберцового блока в соответствии с предоперационными измерениями. Аналогично выполнялся распил в дистальном направлении. Например, при предполагаемой длине ПКС 30 мм, канала большеберцовой кости — 35 мм и длине собственной связки надколенника — 50 мм распил большеберцовой кости будет выполнен таким образом, чтобы его дистальная часть составляла не менее 15 мм, а проксимальная — не менее 10 мм (рис. 4).



Рис. 3. МРТ-измерения: предполагаемая длина поврежденной передней крестообразной связки (а), предполагаемая длина костного тоннеля в большеберцовой кости (б), длина сухожильной части связки надколенника (с), длина дистальной части блока большеберцовой кости (д), длина проксимальной части костного блока большеберцовой кости (е)

Fig. 3. MRI-measurments: the approximate ACL length (а), the approximate tibial tunnel length (б), patella tendon length (с), distal tibial bone block length (д), proximal tibial bone block length (е)

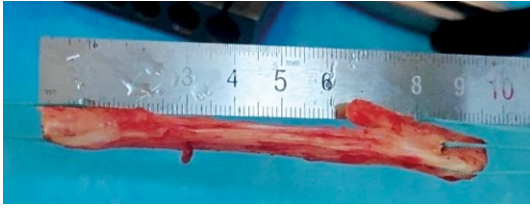


Рис. 4. Вид аутографтата ВТВ, подготовленного на основании предоперационных измерений

Fig. 4. Bone-tendon-bone graft view after preoperative measurements

Интраоперационно эффективность методики оценивалась на основании соответствия длины трансплантата сумме длин костных тоннелей и ПКС, о чем свидетельствовало полное погружение костного блока большеберцовой кости в большеберцовый тоннель.

Послеоперационный период

Реабилитация пациентов проводилась в соответствии с протоколом University of Pittsburgh Medical Center for Sports Medicine (UMPC) [12]. С первых суток после операции начинались реабилитационные мероприятия, направленные на активацию четырехглавой мышцы бедра (изометрические сокращения) и восстановление амплитуды сгибания в коленном суставе (активное сгибание). Разрешалась дозированная ходьба с опорой на оперированную конечность при помощи костылей. Через 2 нед. после операции определяли объем сгибания в коленном суставе и визуально оценивали баланс походки. На 12-й нед. после операции функцию коленного сустава объективно оценивали по следующим критериям: количество шагов и удержаний без дисбаланса, количество приседаний на одной ноге до 45° без вальгусной деформации коленного сустава, тест Y-баланса (процент в сравнении с противоположной стороной), тесты Лахмана и pivot-shift.

Для субъективной оценки функции коленного сустава применялась шкала IKDC 2000.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ данных показал, что измерения, проведенные по данным МРТ, соответствовали интраоперационным измерениям, что имело статистическую значимость (табл. 1). Во всех случаях

был выполнен распил костного блока большеберцовой кости в соответствии с проведенными измерениями, что позволило добиться соответствия длины трансплантата сумме длин костных тоннелей и ПКС.

В течение первых 2 нед. после операции у 23 (88,5%) пациентов отмечалось восстановление сгибания в коленном суставе до 90° градусов с полным восстановлением сбалансированной походки. У 3 (11,5%) пациентов сгибание до 90° восстановилось к концу 3-й нед.

На 12-й нед. после операции средний балл по тесту «шаг и удержание» составил 23,8±1,1, по тесту приседаний на одной ноге — 6,7±0,9, а по тесту Y-баланса — 83,2±1,4), что соответствует критериям восстановления профессиональных атлетов после пластики ПКС [12]. У всех пациентов определялись отрицательные тесты Лахмана и pivot-shift. Средний балл по шкале IKDC составил 64,9±5,7.

У 2 (7,7%) пациентов к концу 12-й нед. реабилитации определялся дискомфорт в области забора трансплантата при подъеме по лестнице и спуске с нее. Стоит отметить, что у этих же пациентов отмечалась гипотрофия четырехглавой мышцы бедра. У 4 (15,4%) пациентов определялись сенсорные нарушения в виде снижения тактильной чувствительности по передненаружной поверхности верхней трети голени, что, видимо, связано с пересечением веточек *n. saphenous* в ходе забора аутографтата. У одного (3,8%) пациента произошло формирование безболезненного келоидного рубца в зоне забора трансплантата.

Полученные результаты соответствуют ранее выполненным исследованиям с применением аутографтата связки надколенника [5, 8, 13].

Таблица 1

Сравнение измерений по МР-томограммам и интраоперационным данным, мм

Средняя длина	Измерения по данным МРТ	Интраоперационные измерения	Значение критерия Стьюдента для $p = 0,95$
Передняя крестообразная связка	32±0,8	32±0,9	1,09
Костный тоннель в большеберцовой кости	36±0,9	35±0,9	1,73
Сухожильная часть связки надколенника	51±2,3	52±2,5	0,80

ОБСУЖДЕНИЕ

Подробное описание метода реконструкции ПКС с применением трансплантата ВТВ изложено в статье R.M. Frank с соавторами. Авторы используют различные виды интерферентных винтов для фиксации трансплантата с целью обеспечения прочной фиксации и возможности немедленной реабилитации. При этом авторами отмечается проблема анатомической вариации длины трансплантата [14].

Попытка решить проблему избыточной длины трансплантата ВТВ была предпринята С.К. Voddu с соавторами [8]. Было предложено сократить длину феморального костного блока, за счет чего сокращалась общая длина трансплантата. При этом авторы не учитывали необходимость расположения основания костного блока в плоскости мышечка бедра.

Известно, что место входа трансплантата в мышечку бедра является точкой ротации, на которую приходится основное напряжение при циклических движениях в коленном суставе — возможно, именно поэтому в большинстве случаев разрыв ПКС происходит у места ее фиксации к мышечку бедра. Данное обстоятельство диктует необходимость такого расположения трансплантата, при котором основание костного блока находится в одной плоскости с внутренним краем канала бедренной кости во избежание трения сухожильной части трансплантата о стенку бедра. Описываемая нами методика позволяет подбирать необходимую длину трансплантата благодаря различным вариантам распила костного блока большеберцовой кости без изменения расположения проксимального костного блока в наружном мышечке бедренной кости.

M.D. Miller с соавторами предложили формулу $N+7$, где угол стереотаксического направителя для подготовки тибиального канала рассчитывается исходя из длины сухожильной части трансплантата. Методика легко воспроизводима, однако при чрезмерной длине трансплантата угол атаки направителя может оказаться слишком большим. Увеличение угла позволит увеличить длину канала в большеберцовой кости [15]. Однако это может потребовать увеличения доступа (разреза кожи) в дистальном направлении, а также изменения направления трансплантата на выходе из большеберцового канала, что гипотетически может привести к вертикализации последнего. В предлагаемом нами методе угол стереотаксического направителя всегда составлял 55° , что соответствует среднему углу наклона ПКС.

С целью сокращения длины трансплантата N. Verma с соавторами предложили ротировать трансплантат вокруг своей оси, что позволяет сократить его общую длину [16]. Так, подобное

вращение на 540° сокращает длину более чем на 5,0 мм. Однако такой прием может привести к повышению ригидности и без того жесткого трансплантата. Преимуществом предлагаемого нами метода является сохранение естественной жесткости трансплантата.

Заворот одного из концов трансплантата, по мнению F.A. Barber, позволяет сократить длину трансплантата до 30,0 мм [17]. Однако в таком случае значительно увеличивается диаметр данного участка трансплантата за счет суммирования толщины костного блока и сухожильной части, что, в свою очередь, требует рассверливания тоннелей большего диаметра. Описанный нами метод позволяет обеспечить необходимую длину трансплантата без увеличения его диаметра.

C.S.R. Wilding с соавторами предложили забор трансплантата связки без костного блока части надколенника с фиксацией трансплантата в феморальном канале посредством биокомпозитного винта [18]. Такой способ позволит сократить общую длину трансплантата. Но в то же время теряется эффект инкорпорации однородных тканей, а именно костного блока надколенника со стенками феморального канала. Отличительной чертой предлагаемого нами метода является сохранение максимально возможного контакта костных блоков со стенками тоннелей.

Предлагаемая нами методика наиболее схожа с методикой, описанной в статье G. Janani с соавторами [19]. Авторы также предлагают выполнять распил большеберцовой кости в проксимальном направлении от места прикрепления связки надколенника. При этом предлагается определить длину так называемой внутрисуставной порции трансплантата, которая представляет собой отрезок, соединяющий нижний полюс надколенника и перпендикуляр, опущенный на связку надколенника от точки на 5 мм ниже плато большеберцовой кости. По мнению авторов, такой расчет внутрисуставной порции трансплантата соответствует средней (!) длине ПКС. На основании такого расчета производится распил проксимального конца блока большеберцовой кости. Наша методика похожа на описанную G. Janani с соавторами. Однако наш подход к определению размера трансплантата опирается на индивидуальную вариацию длины ПКС, что позволяет более точно рассчитать величину распила большеберцового компонента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный нами способ подготовки ауто трансплантата ВТВ позволяет в полной мере добиться соответствия длины трансплантата длине костных тоннелей при пластике передней крестообразной связки, не отражаясь при этом на процессе реабилитации пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра травматологии и ортопедии Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, протокол № 3 от 16.01.2021 г.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The conduct of the study was approved by the local ethics committee of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Traumatology and Orthopedics (Tashkent, Uzbekistan), protocol No. 3, 16.01.2021.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Borque K.A., Laughlin M.S., Pinheiro V.H., Jones M., Williams A. Rebranding the 'anatomic' ACL reconstruction: Current concepts. *J ISAKOS*. 2023;8(1):23-28. doi:10.1016/j.jisako.2022.11.001.
- Ирисметов М.Э., Усмонов Ф.М., Шамшиметов Д.Ф., Холиков А.М., Ражабов К.Н., Таджиназаров М.Б. Исходы восстановления передней крестообразной связки. *Гений ортопедии*. 2019;25(3):285-289. doi:10.18019/1028-4427-2019-25-3-285-289.
- Irismetov M.Je., Usmonov F.M., Shamshimetov D.F., Holikov A.M., Razhabov K.N., Tadzhinazarov M.B. Outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction. *Genij ortopedii*. 2019;25(3):285-289. (In Russian). doi:10.18019/1028-4427-2019-25-3-285-289.
- Musahl V., Engler I.D., Nazzal E.M., Dalton J.F., Lucidi G.A., Hughes J.D. et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part II: evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(1):34-51. doi:10.1007/s00167-021-06825-z.
- Malige A., Baghdadi S., Hast M.W., Schmidt E.C., Shea K.G., Ganley T.J. Biomechanical properties of common graft choices for anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2022;95:105636. doi:10.1016/j.clinbiomech.2022.105636.
- Сучилин И.А., Маланин Д.А., Жуликов А.Л., Демешенко М.В. Клинические результаты анатомической пластики передней крестообразной связки аутоотрансплантатом «кость-сухожилие-кость». *Вестник ВолГМУ*. 2019;3(71):120-123. doi:10.19163/1994-9480-2019-3(71)-120-123.
- Suchilin I.A., Malanin D.A., Zhulikov A.L., Demeshhenko M.V. Clinical results of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with «bone-tendon-bone» autograft. *Vestnik VolGMU*. 2019;3(71):120-123. (In Russian). doi:10.19163/1994-9480-2019-3(71)-120-123.
- Fox M.A., Engler I.D., Zsidai B.T., Hughes J.D., Musahl V. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: Freddie Fu's paradigm. *J ISAKOS*. 2023;8(1):15-22. doi:10.1016/j.jisako.2022.08.003.
- Bergerson E., Persson K., Svantesson E., Horvath A., Olsson Wällgren J., Karlsson J. et al. Superior Outcome of Early ACL Reconstruction versus Initial Non-reconstructive Treatment With Late Crossover to Surgery: A Study From the Swedish National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med*. 2022;50(4):896-903. doi:10.1177/03635465211069995.
- Boddu C.K., Arif S.K., Hussain M.M., Sankaranarayanan S., Hameed S., Sujir P.R. Prevention of graft-tunnel mismatch during anatomical anterior cruciate ligament reconstruction using a bone-patellar tendon-bone graft. *Bone Joint J*. 2015;97-B(3):324-328. doi:10.1302/0301-620X.97B3.34653
- Eskew J.R., Miles D., Davis F. Graft Tunnel Mismatch in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Bone-Patellar Tendon-Bone Grafts. *J Orthop Surg Tech*. 2020;3(1):123-129. doi:10.36959/453/534.
- Ko D., Kim H.J., Oh S.H., Kim B.J., Kim S.J. How to Avoid Graft-Tunnel Length Mismatch in Modified Transtibial Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Bone-Patellar Tendon-Bone Graft. *Clin Orthop Surg*. 2018;10(4):407-412. doi:10.4055/cios.2018.10.4.407.
- Sundar S., Patnaik S., Ubaydullaev B., Kolandavelu V., Rajan D. Tibial plateau slopes in Indian patients with or without anterior cruciate ligament injury: a magnetic resonance imaging study. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2016;24(3):289-293. doi:10.1177/1602400303.
- Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction: An Evidence-Based Medicine Approach. Eds.: Nakamura N., Zaffagnini S., Marx R., Musahl V. Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 513-524. doi:10.1007/978-3-662-52742-9.
- Hannon J.P., Wang-Price S., Goto S., Singleton S., Dietrich L., Bothwell J. et al. Twelve-Week Quadriceps Strength as A Predictor of Quadriceps Strength At Time Of Return To Sport Testing Following Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Phys Ther*. 2021;16(3):681-688. doi:10.26603/001c.23421.
- Frank R.M., Higgins J., Bernardoni E., Cvetanovich G., Bush-Joseph C.A., Verma N.N. et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Basics: Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft Harvest. *Arthrosc Tech*. 2017;6(4):e1189-e1194. doi:10.1016/j.eats.2017.04.006.

15. Miller M.D., Hinkin D.T. The «N + 7 rule» for tibial tunnel placement in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 1996;12(1):124-126. doi: 10.1016/s0749-8063(96)90234-0.
16. Verma N., Noerdlinger M.A., Hallab N., Bush-Joseph C.A., Bach B.R. Jr. Effects of graft rotation on initial biomechanical failure characteristics of bone-patellar tendon-bone constructs. *Am J Sports Med*. 2003; 31(5):708-713. doi: 10.1177/03635465030310051201.
17. Barber F.A. Flipped patellar tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2000;16(5):483-490. doi: 10.1053/jars.2000.4384.
18. Wilding C.S.R., Cruz C.C.A., Mannino L.B.J., Deal C.J.B., Wake C.J., Bottoni C.R. Bone-Tendon-Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A New Anterior Cruciate Ligament Graft Option. *Arthrosc Tech*. 2020;9(10): e1525-e1530. doi: 10.1016/j.eats.2020.06.021.
19. Janani G., Lakshmi S., Prakash A., Suresh P., Parthiban J., Thiagarajan A. et al. Preoperative Templating of Bone-Patellar Tendon-Bone Graft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Morphometry-Based Graft Harvest Method. *Clin Orthop Surg*. 2023;15(3):410-417. doi: 10.4055/cios21167.

Сведения об авторах

✉ *Убайдуллаев Бобур Сабирович*
 Адрес: Республика Узбекистан, 100047, г. Ташкент,
 ул. Махтумкули, д. 78
<http://orcid.org/0009-0003-5008-6738>
 e-mail: ubobur@gmail.com
Ходжанов Искандар Юнусович — д-р мед. наук, профессор
<http://orcid.org/0000-0001-9420-3623>
 e-mail: prof.khodjanov@mail.ru

Authors' information

✉ *Bobur S. Ubaydullaev*
 Address: 78, Tashkent, Makhtumkuli st., 100047,
 Uzbekistan
<http://orcid.org/0009-0003-5008-6738>
 e-mail: ubobur@gmail.com
Iskandar Yu. Khodjanov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<http://orcid.org/0000-0001-9420-3623>
 e-mail: prof.khodjanov@mail.ru

Dead or Alive – Use of Indocyanine Green Angiography for Intraoperative Assessment of Bone Vitality in Nonunion Fractures: A Controlled Case Series of Four Patients

Emiliano Malagoli^{1,2}, Filippo Vandenbulcke², Mosheer Ziadi³, Giovanni Lucchesi⁴, Stefania Zini⁵, Alexander Kirienko^{1,2}

¹ *Humanitas Clinical and Research Center – IRCCS, Rozzano (MI), Italy*

² *Humanitas University, Department of Biomedical Sciences, Pieve Emanuele (MI), Italy*

³ *King Abdullah Medical City, Makkah, Saudi Arabia*

⁴ *Ortopediatria Center for Education, Research and Patient Care in Paediatric Orthopedics, Bologna (BO), Italy*

⁵ *Policlinico San Pietro, Ponte San Pietro (BG), Italy*

Abstract

Background. Indocyanine green (ICG) fluorescence imaging is a surgical tool with increasing applications in various surgical disciplines. During nonunion resection, the assessment of bone vascularization is currently based only on the surgeon's experience. We introduced the use of indocyanine green (ICG) angiography in orthopedics.


The aims of the study: 1) to use ICG fluorescence angiography to evaluate the bone perfusion in patients with atrophic nonunion, where poor or absent ICG flow reveals avascular tissue associated with bone necrosis requiring surgical resections; 2) to describe our case series of patients operated with this technique.


Methods. We used ICG angiography in patients operated for tibial nonunion resection. We administered 0.5 mg/kg of ICG powder dissolved in sterile saline at 2.5 mg/ml concentration. The time from the injection to the beginning of appreciation of the green dye was measured. Non-viable bone was resected accordingly. Patient underwent routine follow-up. We enrolled all the suitable patients operated from April 2019 to June 2021 and matched three control patients for each of them. We reviewed their medical records and noted any relevant data.

Results. We enrolled 4 cases and 12 controls, all male. The mean age was 30.8±6.9 years. The mean duration from trauma to surgery was 10.5 (0.7-25.0) months. The mean duration of surgery was 190.8±40.3 min. The defect size was 4.89±2.03 cm. ICG allowed rapid visualization of bone vascularization after 25-45 sec. No adverse events were observed. The mean external fixation time was 11.8±5.0 months. The mean external fixation index was 2.69±1.10. Seven patients needed a surgical revision during treatment. Three patients underwent reintervention after frame removal. There are no statistically significant differences between cases and controls.

Conclusions. The research findings of this study are limited by the small number of observations. However, this technique is safe, easy, and rapid and may contribute to intraoperative decision of how much to resect. Using ICG could objectively demonstrate bone perfusion to help surgeons to avoid massive bone defects.

Keywords: indocyanine green, fracture nonunion, bone resection, vascularization assessment.

 **Для цитирования:** Malagoli E., Vandenbulcke F., Ziadi M., Lucchesi G., Zini S., Kirienko A. Dead or Alive – Use of Indocyanine Green Angiography for Intraoperative Assessment of Bone Vitality in Nonunion Fractures: A Controlled Case Series of Four Patients. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):151-157. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17494>.

 *Filippo Vandenbulcke*; e-mail: filippo@vandenbulcke.org

Рукопись получена: 13.03.2024. Рукопись одобрена: 20.05.2024. Статья опубликована: 20.06.2024.

© Malagoli E., Vandenbulcke F., Ziadi M., Lucchesi G., Zini S., Kirienko A., 2024



Живая или мертвая — использование ангиографии с индоцианином зеленым для интраоперационной оценки жизнеспособности костной ткани при несращениях переломов: контролируемое исследование серии из четырех клинических случаев

Э. Малаголи^{1,2}, Ф. Ванденбулке², М. Зиади³, Д. Луккези⁴, С. Зини⁵, А. Кириенко^{1,2}

¹ *Humanitas Clinical and Research Center – IRCCS, Rozzano (MI), Italy*

² *Humanitas University, Department of Biomedical Sciences, Pieve Emanuele (MI), Italy*

³ *King Abdullah Medical City, Makkah, Saudi Arabia*

⁴ *Ortopediatria Center for Education, Research and Patient Care in Paediatric Orthopedics, Bologna (BO), Italy*

⁵ *Policlinico San Pietro, Ponte San Pietro (BG), Italy*

Реферат

Введение. Флуоресцентная визуализация индоцианином зеленым (ICG) — это хирургический метод исследования, который находит все более широкое применение в различных хирургических специальностях. В настоящее время оценка жизнеспособности костной ткани в ходе резекции по поводу несращения перелома основывается только на опыте хирурга. Мы апробировали ангиографию с индоцианином зеленым при ортопедических вмешательствах.

Материал и методы. ICG-ангиография проводилась пациентам, которым выполняли резекцию большеберцовой кости по поводу несращения. Мы вводили 0,5 мг/кг порошка с ICG, растворенного в стерильном физрастворе в концентрации 2,5 мг/мл. Измеряли время от инъекции до обнаружения зеленого красителя в зоне несращения. На основании полученного результата нежизнеспособная костная ткань резецировалась. Пациент проходил плановое наблюдение. В исследование вошли все пациенты, удовлетворяющие критериям включения и прооперированные с апреля 2019 по июнь 2021 г. Для каждого пациента были подобраны по три контрольных пациента. Мы изучили их медицинские документы и зафиксировали все клинически значимые данные.

Результаты. В исследование были включены 4 исследуемых пациента и 12 контрольных, все мужчины. Средний возраст составил 30,8±6,9 года, среднее время от травмы до операции — 10,5 (0,7–25,0) мес., средняя длительность операции — 190,8±40,3 мин. Средний размер дефекта был равен 4,89±2,03 см. ICG-ангиография позволяла оценить степень васкуляризации костной ткани через 25–45 сек. с момента введения красителя. Нежелательных явлений не наблюдалось. Средняя продолжительность внешней фиксации составила 11,8±5,0 мес., средний индекс внешней фиксации — 2,69±1,10. В ходе лечения семи пациентам потребовалась хирургическая ревизия. Трем пациентам было проведено повторное вмешательство после демонтажа аппарата. Статистически значимых различий между группой исследования и контрольной группой выявлено не было.

Заключение. Результаты данного исследования ограничены небольшим количеством наблюдений. Тем не менее описанный метод исследования безопасен и прост, при необходимости позволяет во время операции быстро принять решение об объеме резекции. ICG-ангиография является объективным методом визуализации перфузии кости, помогая хирургам избежать массивных костных дефектов.

Ключевые слова: индоцианин зеленый, несращение перелома, резекция костной ткани, оценка васкуляризации.

Cite as: Малаголи Э., Ванденбулке Ф., Зиади М., Луккези Д., Зини С., Кириенко А. Живая или мертвая — использование ангиографии с индоцианином зеленым для интраоперационной оценки жизнеспособности костной ткани при несращениях переломов: контролируемое исследование серии из четырех клинических случаев. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):151-157. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17494>.

✉ Филиппо Ванденбулке; e-mail: filippo@vandenbulcke.org

Submitted: 13.03.2024. Accepted: 20.05.2024. Published: 20.06.2024.

© Малаголи Э., Ванденбулке Ф., Зиади М., Луккези Д., Зини С., Кириенко А., 2024

INTRODUCTION

Neoplastic pathology, congenital deformity, and post-traumatic conditions could result in large bone defects. The management of such bone defects, including maintaining bone length and achieving bone union, remains a challenge to orthopedic surgeons [1, 2, 3]. Many reconstructive techniques are available to reach these objectives. All these procedures include meticulous debridement of all necrotic tissues and stabilization of the skeleton [4, 5]. Assessment of arterial perfusion and venous drainage are important prognostic criteria [6, 7].

Nonetheless, intraoperative assessment is based predominantly on the subjective characteristics, such as tissue color, capillary reperfusion, and the presence of “paprika sign”, a punctuate bleeding from osseous vessels [8, 9, 10, 11]. Therefore, the success of bone defect treatment is strongly dependent on the experience of the operating surgeon. None of these measures have been applied systematically because they are not reliable and repeatable [11].

Fluorescent imaging with indocyanine green (ICG) is a useful technology currently used in several surgical fields, such as reconstructive flap in plastic surgery, colorectal resection and anastomosis, to determine tissue perfusion [12, 13, 14, 15, 16, 17]. ICG binds to plasma lipoproteins and emits a fluorescent signal when excited by near-infrared light, providing anatomic information about organ vascularization and tissue perfusion [12, 13, 18]. The benefits of fluorescent imaging with ICG include high contrast (all tissues are enhanced except for necrotic one), high sensitivity (extremely small concentrations can often be made visible), low cost and ease of use. Furthermore, ICG fluorescence is safe because it is nontoxic and nonionizing, and adverse reactions related to its clinical use are rare; it has a short lifetime in blood circulation allowing repeated applications [5, 13, 19]. During our literature search, we found no documentation of the ICG use in orthopedic trauma [20].

The aims of the study: 1) to use ICG fluorescence angiography to evaluate the bone perfusion in patients with atrophic nonunion, where poor or absent ICG flow reveals avascular tissue associated with bone necrosis requiring surgical resections; 2) to describe our case series of patients operated with this technique.

METHODS

Preoperative assessment

Our preoperative assessment protocol includes:

- interview for a history of iodine allergy or previous anaphylactic reaction to contrast media or dye injection;
- limb examination for neurovascular status and skin condition;

- evaluation of clinical and biochemical evidence of active infection (draining sinus, local inflammation, pain, tenderness, swelling);

- X-ray and CT scan for radiographic assessment of the level and size of bone defect, bone quality, and signs of infection (cavities, sequestered and sclerotic bone);

- PET/CT or MRI as a second-level investigation to better establish the limits of bone necrosis.

Patients

Due to the explorative nature of this study, it enrolled all the suitable patients from April 2019 to June 2021 and matched three control patients for each of them coupled for age (± 5 years), sex, and bone defect size (± 3.5 cm). We estimated four patients in the ICG group, a control cohort composed by 12 patients, so the final sample size accounted for 16 patients.

Angiography technique

Among several fluorescent angiography systems available we use Stryker Platform (ENV, Stryker Endoscopy, USA), which has already been available in our institute. The fluorescent dye ICG is intravenously administered, and the tissue in the region of interest is illuminated using near-infrared light at a wavelength of 830 nm; the total output is 80 mW in a field of view of 10 cm in diameter, operating at a distance of approximately 30 cm above the tissue [18]. ICG in powder form (25 mg/vial) is water-soluble and albumin-bound. Its plasma half-life is 3-5 min., and its biliary excretion is completed in 15-20 min. [14]. The blood and ICG suspension under a tissue absorbs the excitation wavelengths and emits a fluorescent band. The emitted light is detected by an infrared-sensitive charge-coupled device camera system through a low-pass filter.

Operative technique

After anesthesia, the patient is placed on the operating table in the supine position. A tourniquet is applied on the upper thigh. The skin incision is made on the nonunion site. Implants are removed where present and tissue samples are obtained for microbiological analysis. The circular external fixator (the Ilizarov frame manufactured by Sintea Plustek s.r.l.) is placed. After the preliminary soft tissue debridement is completed, the tourniquet is deflated. The ICG angiography device is draped and brought into the field. The ICG powder is dissolved in sterile saline at 2.5 mg/ml concentration. The ICG dye solution is injected intravenously as a bolus at a dose of 0.2-0.5 mg/kg body weight (e.g., 8 ml of ICG for a patient weighing 80 kg). The time from the injection and the beginning of an appreciation of the green area is measured. The area of the tissue examined is centered within the screen, including also a tissue with normal perfusion using it as an internal reference.

Observation is made at a distance of 30-50 cm from the tissue of interest. ICG becomes fluorescent once excited by near-infrared light at wavelengths of 830 nm. The fluorescence intensity reaches its maximum within the first 60 sec after injection, and then slowly decreases, depending on the perfusion conditions and hepatic elimination. After resection of necrotic bone, angiography might be repeated waiting approximately 3-5 min. after the initial run to obtain a wash out of the dye from the tissues. If the dye still shows evidence of an avascular bone, further resection is necessary.

After resection, we use bone transport to treat defects >3-5 cm. The osteotomy is performed and the segment is transported gradually (0.25 mm four times per day) to the other side of the defect to regenerate the bone by distraction osteogenesis. In these patients, partial weight-bearing is allowed. To treat bone defects <3-5 cm, we use acute compression at the nonunion level and osteotomy for progressive lengthening (Fig. 1). In these cases, patients are allowed to fully weight-bear immediately. After the procedure is completed, the subcutaneous tissue and skin are sutured, and 2 g of prophylactic cefazolin is administered.

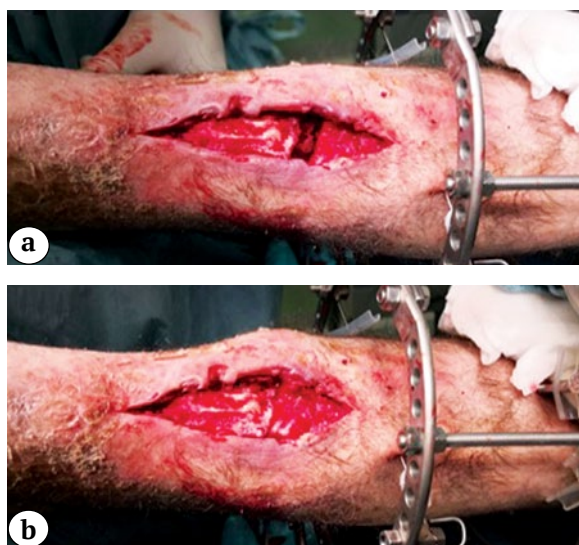


Fig. 1. Nonunion before (a) and after (b) acute compression during surgery

Statistical analysis

Data were described as frequencies and percentages for qualitative variables, or as median, minimum and maximum value (range). Differences between groups were explored using the chi-square test and Fisher correction, for categorical variables, or with the Mann-Whitney U test for continuous variables. P-values lower than 0.05 were considered as statistically significant. All analyses were made with Stata

(StataCorp. 2023. Stata Statistical Software: Release 18. College Station, TX: StataCorp LLC).

RESULTS

Cohort description

We enrolled 16 patients undergone bone resection for septic nonunion of the tibia and reconstruction with the Ilizarov method: 4 cases and 12 controls. All surgical procedures were performed by the same surgeon. The mean age was 30.8 ± 6.9 years. All patients were male. The mean duration from trauma to surgery was 10.5 (0.7-25) months. The mean duration of surgery was 190.8 ± 40.3 min. The defect size was 4.89 ± 2.03 cm. The affected bone segment was the proximal tibia in 2 patients (12.50%), the tibial shaft in 9 patients (56.25%) and the distal tibia in 5 patients (31.25%). There are no statistically significant differences between cases and controls (Table 1).

Surgical procedure

During the surgery, ICG analysis guided the identification of bone perfusion and supplied information about the surrounding vascular anatomy. In 25-45 sec after the dye solution was injected, the visual effects were observed on the surface of the resecting bone (Fig. 2). ICG fluorescence imaging under near-infrared light was obvious and distinguishable in all patients. In addition, during bone resection, the visual effect of ICG fluorescence continued. We confirmed the bone boundary by observing ICG fluorescence on the cut surface of the resecting side. As indicated in Supplemental Video 1, the appearance of the bone changed from a faint or absent area on the necrotic bone to a clear bright area after debridement and osteotomy. During all procedures, we compared the area of interest with tissues with normal perfusion for use as an internal reference. The ICG angiography was repeated after 10 ± 15 min. to confirm complete resection of necrotic bone (Fig. 3). A minimal residual fluorescence was visible before the new ICG injection that did not negatively affect the image quality of the new ICG angiography.

Outcomes and complications

The average external fixation time was 11.8 ± 5.0 months. The average external fixation index was 2.69 ± 1.10 . After ICG was injected, the oxygen level was reduced due to a bias in the pulse oximeter reading without any clinical relevance. However, no other local or systemic complications were noted during or after surgery. Seven patients needed a surgical revision surgery during external fixation time. Three patients underwent a reintervention after frame removal. There are no statistically significant differences between cases and controls (Table 1).

Table 1

Characteristics, outcome and complications of patients undergone bone resection for septic nonunion of the tibia and reconstruction with the Ilizarov method

Parameter	All	Cases	Controls	p
Number of patients	16	4	12	
Age, years	30.8±6.9	30.3±6.8	31.0±7.2	0.789
Duration from trauma to surgery, mons	10.5 (0.7-25)	18.5 (10-25)	8.5 (0.7-20)	0.070
Defect size, cm	4.89±2.02	4.50±2.35	5.03±2.00	0.720
District				0.769
Proximal tibia	2 (12.50%)	0	2 (16.67%)	
Tibial shaft	9 (56.25%)	2 (50.00%)	7 (58.33%)	
Distal tibia	5 (31.25%)	2 (50.00%)	3 (25.00%)	
Surgery duration, min	190.8±40.3	185.8±34.5	192.4±43.4	0.770
TEF	11.8±5.0	14.0±6.5	11.0±4.5	0.578
EFI	2.69±1.10	3.25±0.56	2.51±1.19	0.204
Revision	7 (43.75%)	2 (50.00%)	5 (41.67%)	1.000
Re-surgery	3 (18.75%)	2 (50.00%)	1 (8.33%)	0.136
Re-surgery, n		1	3	
Revision or re-surgery, n	1 (0-3)	1 (0-2)	0.5 (0-3)	0.515

*p<0.05.

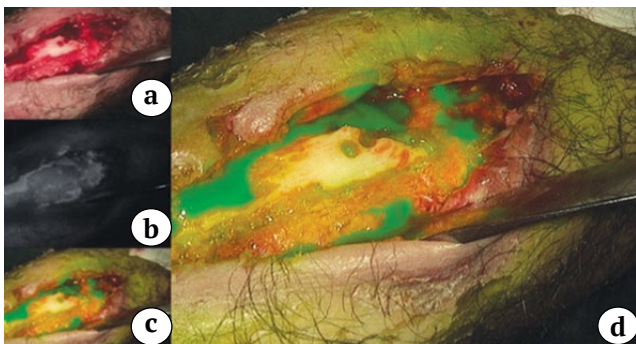


Fig. 2. Nonunion site before bone resection. Pictures show the normal view (a), lights off (b), and monitor view with lights off and the infrared lamp on (c, d)

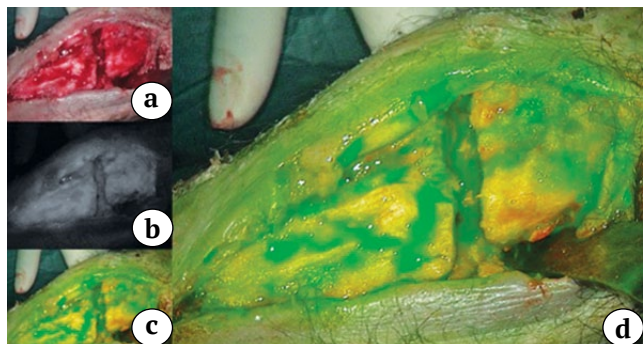


Fig. 3. Nonunion site after bone resection. Pictures show the normal view (a), lights off (b), and monitor view with lights off with the infrared lamp on (c, d)

DISCUSSION

In the treatment of nonunion fractures, surgeons often deal with necrotic tissues resection. Despite technical advances, the surgeons continue to assess bone viability without any instrument. Therefore, the success of the surgical procedures depends on the surgeon’s experience. However, large bone defects may sometimes occur because of the surgeon’s decision to resect the affected bone in a completely subjective manner. In our study, we explored the potential of indocyanine green (ICG) fluorescence angiography as a novel technique for assessing bone perfusion in patients with atrophic nonunion. Our findings show the feasibility and utility of ICG fluorescence imaging in guiding surgical decision-making. ICG fluorescence imaging helps the surgeon to establish limits of resection basing on objective parameters in addition to preoperative planning on PET/CT or MRI. Thus, one can avoid over- or underestimation of tissue to resect.

The same technique is routinely applied in different fields such as colorectal [14], plastic and

gynecological surgery [15, 16, 17]. A recent review by S.S. Streeter et al. comprehensively reports current and future applications of fluorescence guidance in orthopedics [21]. Regarding traumatology, an ICG-based dynamic contrast-enhanced fluorescence imaging (DCE-FI) was developed to objectively assess and quantify endosteal and periosteal perfusion in a porcine trauma model [22, 23].

Our results were confirmed by a clinical study on 42 patients with high-energy open fractures. Moreover, ICG-based DCE-FI compared to intraoperative DCE-magnetic resonance imaging (MRI), demonstrated higher sensitivity to perfusion changes, while DCE-MRI provided superior depth-related perfusion information [24]. Furthermore, an automated motion artifact correction approach was developed to reduce motion artifacts due to the patient’s involuntary respiration during data acquisition and to improve the accuracy of bone perfusion assessment [25].

The use of ICG angiography was described also for perfusion assessment of scaphoid nonunions and it

showed promising results to improve intraoperative decision-making [26]. ICG fluorescence imaging offers several advantages over conventional subjective intraoperative assessment methods. Firstly, it provides real-time visualization of tissue perfusion, allowing surgeons to accurately identify areas of compromised vascularity and necrotic bone. This capability is particularly crucial in cases of atrophic nonunion, where impaired blood supply can impede successful bone healing. By precisely delineating viable tissue, ICG angiography helps to guide the extent of debridement, ensuring thorough removal of necrotic material while preserving a healthy bone.

Secondly, ICG fluorescence imaging enhances intraoperative decision-making by providing objective, quantifiable data on tissue perfusion. Unlike subjective assessments based on visual cues such as tissue color and capillary refill, ICG angiography offers a standardized method for evaluating vascular integrity.

Furthermore, the safety profile of ICG makes it a viable option for routine use in orthopedic trauma surgery. Its low toxicity and minimal risk of adverse reactions ensure patient safety, while its short half-life and rapid excretion minimize the duration of exposure. This makes ICG angiography a practical and cost-effective intraoperative imaging modality, with the potential to improve outcomes and reduce healthcare costs associated with nonunion management.

DISCLAIMERS

Acknowledgements. We extend our gratitude to E.M., MA for her support in study design and statistical analysis.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the Comitato Etico Territoriale Lombardia 5 (protocol N 1, 22.02.2024).

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

REFERENCES

1. Mumford J.E., Simpson A.H.R.W. Management of Bone Defects. A Review of Available Techniques. *Iowa Orthop J.* 1992;12:42-49.
2. Nauth A., McKee M.D., Einhorn T.A., Watson J.T., Li R., Schemitsch E.H. Managing Bone Defects. *J Orthop Trauma.* 2011;25(8):462-466. doi: 10.1097/BOT.0b013e318224caf0.
3. Mauffrey C., Barlow B.T., Smith W. Management of Segmental Bone Defects. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015;23(3):143-153. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00018.
4. El-Rosasy M., Mahmoud A., El-Gebaly O., Lashin A., Rodriguez-Collazo E. Debridement technique and dead space management for infected non-union of the tibia. *Int J Orthoplast Surg.* 2019;2(1):29-36. doi: 10.29337/IJOPS.34.

Our paper opens new perspectives that can help surgeons in performing bone resections to preserve vital tissues where antibiotic and immune cells might be delivered. The use of ICG fluorescence imaging in surgery continues to evolve. Concerning nonunions treatment, it can assist surgeons in intraoperative decision-making to establish the resection levels avoiding massive bone defects.

While our study demonstrates promising results, several limitations warrant consideration. The sample size was small limiting the generalizability of our findings. Larger multicenter studies are needed to further validate the efficacy of ICG fluorescence imaging in nonunion management and to explore its applicability across different patient populations and clinical scenarios.

Conclusions

Our study highlights the potential of ICG fluorescence angiography as a valuable tool in the management of atrophic nonunion. By providing real-time assessment of tissue perfusion and guiding surgical decision-making, ICG imaging enhances the precision and effectiveness of reconstructive procedures, ultimately improving outcomes for patients with complex bone defects. Further research is warranted to validate these findings and optimize the integration of ICG angiography into routine orthopedic practice.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарность. Мы выражаем благодарность Е.М. за помощь в разработке дизайна исследования и выполнении статистического анализа.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Ломбардии 5 (выписка из протокола № 1 от 22.02.2024).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

5. Chaudhary M.M. Infected nonunion of tibia. *Indian J Orthop.* 2017;51(3):256-268. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho.199.16.
6. Ghareeb P.A., Neustein T.M., Fang R.C., Payne D.E. Indocyanine Green Angiography: A Helpful Tool for Intraoperative Assessment of Upper Extremity Perfusion. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2017;21(3):101-106. doi: 10.1097/BTH.000000000000162.
7. Mothes H., Dönicke T., Friedel R., Simon M., Markgraf E., Bach O. Indocyanine-Green Fluorescence Video Angiography Used Clinically to Evaluate Tissue Perfusion in Microsurgery. *J Trauma.* 2004;57(5):1018-1024. doi: 10.1097/01.TA.0000123041.47008.70.
8. Hannan C.M., Attinger C.E. Special Considerations in the Management of Osteomyelitis Defects (Diabetes, the

- Ischemic or Dysvascular Bed, and Irradiation). *Semin Plast Surg.* 2009;23(2):132-140. doi: 10.1055/s-0029-1214165.
9. Parsons B., Strauss E. Surgical management of chronic osteomyelitis. *Am J Surg.* 2004;188(1A Suppl): 57S-66S. doi: 10.1016/S0002-9610(03)00292-7.
 10. Cierny G. 3rd, Mader J.T., Penninck J.J. A Clinical Staging System for Adult Osteomyelitis. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;414:7-24. doi: 10.1097/01.blo.0000088564.81746.62.
 11. Tetsworth K., Cierny G. 3rd. Osteomyelitis Debridement Techniques. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(360):87-96. doi: 10.1097/00003086-199903000-00011.
 12. Doi N., Izaki T., Miyake S., Shibata T., Ishimatsu T., Shibata Y. et al. Intraoperative evaluation of blood flow for soft tissues in orthopaedic surgery using indocyanine green fluorescence angiography: A pilot study. *Bone Joint Res.* 2019;8(3):118-125. doi: 10.1302/2046-3758.83.BJR-2018-0151.R1.
 13. Alander J.T., Kaartinen I., Laakso A., Pättilä T., Spillmann T., Tuchin V.V. et al. A Review of Indocyanine Green Fluorescent Imaging in Surgery. *Int J Biomed Imaging.* 2012;2012: 940585. doi: 10.1155/2012/940585.
 14. Keller D.S., Ishizawa T., Cohen R., Chand M. Indocyanine green fluorescence imaging in colorectal surgery: overview, applications, and future directions. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2017;2(10):757-766. doi: 10.1016/S2468-1253(17)30216-9.
 15. Capozzi V.A., Monfardini L., Sozzi G., Armano G., Rosati A., Gueli Alletti S. et al. Subcutaneous Vulvar Flap Viability Evaluation With Near-Infrared Probe and Indocyanine Green for Vulvar Cancer Reconstructive Surgery : A Feasible Technique. *Front Surg.* 2021;8:1-5. doi: 10.3389/fsurg.2021.721770.
 16. Capozzi V.A., Ceni V., Sozzi G., Cianciolo A., Gambino G., Pugliese M. et al. Endoscopic near infrared and indocyanine green to verify the viability of the subcutaneous flap for vulvar cancer. *Gynecol Oncol.* 2019;154(3):653-654. doi: 10.1016/j.ygyno.2019.06.018.
 17. Holm C., Tegeler J., Mayr M., Becker A., Pfeiffer U.J., Muhlbauer W. Monitoring free flaps using laser-induced fluorescence of indocyanine green: a preliminary experience. *Microsurgery.* 2002;22:278-287. doi: 10.1002/micr.10052.
 18. Duprée A., Rieß H., Detter C., Debus E.S., Wipper S.H. Utilization of indocyanine green fluorescent imaging (ICG-FI) for the assessment of microperfusion in vascular medicine. *Innov Surg Sci.* 2018;3(3):193-201. doi: 10.1515/iss-2018-0014.
 19. Miwa M., Shikayama T. ICG fluorescence imaging and its medical applications. In: 2008 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Applications. 2009;7160:1-9. doi: 10.1117/12.817856.
 20. Kim S.H., Cho W.S., Joung H.Y., Choi Y.E., Jung M. Perfusion of the Rotator Cuff Tendon According to the Repair Configuration Using an Indocyanine Green Fluorescence Arthroscope. A Preliminary Report. *Am J Sports Med.* 2016;45(3):659-665. doi: 10.1177/0363546516669778.
 21. Streeter S.S., Hebert K.A., Bateman L.M., Ray G.S., Dean R.E., Geffken K.T. et al. Current and Future Applications of Fluorescence Guidance in Orthopaedic Surgery. *Mol Imaging Biol.* 2023;25(1):46-57. doi: 10.1007/s11307-022-01789-z.
 22. Jiang S., Elliott J.T., Gunn J.R., Xu C., Ruiz A.J., Henderson E.R. et al. Endosteal and periosteal blood flow quantified with dynamic contrast-enhanced fluorescence to guide open orthopaedic surgery. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2020;11222:112220F. doi: 10.1117/12.2546173.
 23. Gitajn I.L., Elliott J.T., Gunn J.R., Ruiz A.J., Henderson E.R., Pogue B.W. et al. Evaluation of bone perfusion during open orthopedic surgery using quantitative dynamic contrast-enhanced fluorescence imaging. *Biomed Opt Express.* 2020;11(11):6458-6469. doi: 10.1364/BOE.399587.
 24. Tang Y., Sin J.M., Gitajn I.L., Cao X., Han X., Elliott J.T., et al. Dynamic contrast-enhanced fluorescence imaging compared with MR imaging in evaluating bone perfusion during open orthopedic surgery. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2022;11943:119430C. doi: 10.1117/12.2608382.
 25. Tang Y., Gitajn I.L., Cao X., Han X., Elliott J.T., Yu X. et al. Automated motion artifact correction for dynamic contrast-enhanced fluorescence imaging during open orthopedic surgery. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2023;12361:1236104. doi: 10.1117/12.2650028.
 26. Mulica M., Horch R., Arkudas A., Cai A., Müller-Seubert W., Hauck T. et al. Does indocyanine green fluorescence angiography impact the intraoperative choice of procedure in free vascularized medial femoral condyle grafting for scaphoid nonunions? *Front Surg.* 2022;9:962450. doi: 10.3389/fsurg.2022.962450.

Authors' information

✉ *Emiliano Malagoli*

Address: Via Rita Levi Montalcini 4, 20090, Pieve Emanuele (MI), Italy

<http://orcid.org/0000-0003-0239-080X>

e-mail: emiliano.malagoli@gmail.com

Filippo Vandenbulcke

<http://orcid.org/0000-0002-4603-659X>

e-mail: filippo.vandenbulcke@humanitas.it

Mosheer Ziadi

<http://orcid.org/0000-0002-9720-862X>

e-mail: science66@gmail.com

Giovanni Lucchesi

<http://orcid.org/0000-0002-5262-8073>

e-mail: lucchesigiovanni@gmail.com

Stefania Zini

e-mail: stefaniazini@hotmail.it

Alexander Kirienko

<http://orcid.org/0000-0003-0107-3423>

e-mail: alexander@kirienko.com

Сведения об авторах

✉ *Эмилиано Малаголи*

Адрес: Via Rita Levi Montalcini 4, 20090, Pieve Emanuele (MI), Italy

<http://orcid.org/0000-0003-0239-080X>

e-mail: emiliano.malagoli@gmail.com

Филиппо Ванденбулке

<http://orcid.org/0000-0002-4603-659X>

e-mail: filippo.vandenbulcke@humanitas.it

Мошир Зиади

<http://orcid.org/0000-0002-9720-862X>

e-mail: science66@gmail.com

Джованни Луккези

<http://orcid.org/0000-0002-5262-8073>

e-mail: lucchesigiovanni@gmail.com

Стефания Зини

e-mail: stefaniazini@hotmail.it

Александр Кириенко

<http://orcid.org/0000-0003-0107-3423>

e-mail: alexander@kirienko.com



Импрессионный перелом латерального мыщелка плато большеберцовой кости, осложнившийся острой периимплантной инфекцией: клинический случай

Б.А. Майоров^{1,2}, И.Г. Беленький^{1,2}, В.С. Ильин³, Г.Д. Сергеев^{1,2}

¹ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФБГОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

³ ГБУЗЛО «Всеволожская клиническая межрайонная больница», г. Всеволожск, Россия

Реферат

Введение. Глубокая инфекция после операций открытого остеосинтеза переломов плато большеберцовой кости встречается в 9,9%. Этот показатель значительно выше, чем при хирургическом лечении закрытых травм других локализаций. Многие авторы считают необходимым усовершенствование протоколов ведения пострадавших со сложными переломами плато с целью минимизировать или предотвратить развитие инфекционных осложнений.

Цели исследования: 1) на клиническом примере обсудить тактику лечения пациента с внутрисуставным переломом плато большеберцовой кости после операции остеосинтеза, осложнившейся развитием ранней глубокой инфекции в области операции; 2) провести анализ дефектов оказания помощи.

Описание клинического случая. Пациентке 71 года с отягощенным соматическим статусом на 12-е сут. после внутрисуставного перелома плато большеберцовой кости был выполнен остеосинтез опорной пластиной с заполнением метафизарного дефекта аллокостью. Через 7 сут. после появления признаков инфекции выполнена ревизионная операция. В дальнейшем выполнялся ряд последовательных ревизий в связи с рецидивами инфекционного процесса. В комплекс мероприятий по лечению инфекции в ране входило использование систем вакуумного дренирования и антибактериальных спейсеров. Достигнуто заживление ран. Через 2 года после травмы у пациентки отмечен хороший функциональный результат.

Заключение. Представленный клинический случай показал, что при принципиально верном подходе к лечению ранней инфекции после остеосинтеза в рутинной практике допускается ряд дефектов. В первую очередь, это некорректный забор материалов для бактериологического исследования и неадекватная по длительности антибактериальная терапия. Для успешного лечения инфекционных осложнений остеосинтеза необходима команда специалистов-единомышленников, в которую, кроме травматолога, должны входить терапевты, микробиологи, клинические фармакологи. Принципиальными моментами являются ранняя радикальная ревизия послеоперационной раны, этиотропная антибактериальная терапия, сохранение стабильности фиксации после первичного остеосинтеза. При соблюдении этих принципов результат хирургического лечения в целом может быть удовлетворительным даже при развитии такого грозного осложнения, как инфекция в зоне остеосинтеза. В то же время необходимы дальнейшие исследования в этой области, направленные на совершенствование тактики и алгоритмов хирургического лечения инфекционных осложнений остеосинтеза.

Ключевые слова: перелом плато большеберцовой кости, остеосинтез, периимплантная инфекция, инфекция области хирургического вмешательства, подтверждающие признаки инфекции, вероятные признаки инфекции.

Для цитирования: Майоров Б.А., Беленький И.Г., Ильин В.С., Сергеев Г.Д. Импрессионный перелом латерального мыщелка плато большеберцовой кости, осложнившийся острой периимплантной инфекцией: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):158-167. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17491>.

Беленький Игорь Григорьевич; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Рукопись получена: 07.03.2024. Рукопись одобрена: 03.05.2024. Статья опубликована онлайн: 23.05.2024.

© Майоров Б.А., Беленький И.Г., Ильин В.С., Сергеев Г.Д., 2024



Impression Fracture of the Lateral Condyle of Tibial Plateau Complicated by Acute Peri-Implant Infection: A Case Report

Boris A. Maiorov^{1,2}, Igor' G. Belen'kiy^{1,2}, Vadim S. Il'in³, Gennadii D. Sergeev^{1,2}

¹ St. Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Interdistrict Clinical Hospital of Vsevolozhsk, Vsevolozhsk, Russia

Abstract

Introduction. Deep infection after open osteosynthesis of tibial plateau fractures occurs in 9.9%. This rate is significantly higher than in surgical treatment of closed injuries of other localizations. Many authors consider it necessary to improve management protocols for patients with complex plateau fractures in order to minimize or prevent the development of infectious complications.

Aims of the study: 1) to discuss the treatment tactics of a patient with an intraarticular fracture of the tibial plateau after osteosynthesis complicated by the development of early deep surgical site infection (SSI), using clinical case as an example; 2) to carry out the analysis of medical care defects.

Case description. A 71-year-old patient with compromised somatic status underwent osteosynthesis with a buttress plate and allogeneic bone grafting of the metaphyseal defect on the 12th day after injury. In 7 days after the occurrence of signs of infection, a revision surgery was performed. Later, a number of consecutive revisions were performed due to recurrences of the infectious process. The complex of measures against SSI included the use of vacuum drainage systems and antibacterial spacers. As a result, the wounds had healed. Two years after the injury, the patient had a good functional result.

Conclusion. The presented clinical case has shown that even if the treatment tactic for early peri-implant infection is chosen correctly, there are several defects in our routine practice. First of all, inaccurate sampling of material for bacteriological study and inadequate duration of antibacterial therapy are to be mentioned. To successfully treat infectious complications of osteosynthesis, a team of like-minded specialists including traumatologists as well as physicians, microbiologists and clinical pharmacologists is needed. Undoubtedly, surgical treatment of fractures might develop into infectious complications. Their diagnosis and treatment are often accompanied by a number of various mistakes. The most important points are early radical revision of the postoperative wound, etiotropic antibacterial therapy, maintaining stability of fixation after primary osteosynthesis. If these standards are complied with, the outcome of surgical treatment might be satisfying even with such a severe complication as peri-implant infection. At the same time, we are planning further researches aimed at improving algorithms and tactics for surgical treatment of infectious complications, reducing surgery trauma level and upgrading quality of primary osteosynthesis.

Keywords: tibial plateau fracture, osteosynthesis, peri-implant infection, surgical site infection, fracture-related infection (FRI), confirmatory criteria for FRI, suggestive criteria for FRI.

Cite as: Mayorov B.A., Belen'kiy I.G., Il'in V.S., Sergeev G.D. Impression Fracture of the Lateral Condyle of Tibial Plateau Complicated by Acute Peri-Implant Infection: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):158-167. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17491>.

✉ Igor' G. Belen'kiy; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Submitted: 07.03.2024. Accepted: 03.05.2024. Published Online: 23.05.2024.

© Mayorov B.A., Belen'kiy I.G., Il'in V.S., Sergeev G.D., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Одной из нерешенных проблем лечения переломов плато большеберцовой кости (ББК) является высокий риск инфекционных осложнений. По данным литературы, доля глубокой инфекции после операций открытой репозиции с выполнением внутреннего остеосинтеза переломов плато ББК составляет 9,9% [1]. Этот показатель не может считаться удовлетворительным, так как частота инфекции, ассоциированной с закрытыми переломами других локализаций, не превышает 1–2% [2]. Среди факторов риска инфекции изучаемой локализации специалисты единодушно отмечают открытые переломы, наличие компартмент-синдрома, особенно после открытой фасциотомии, большую длительность операции остеосинтеза, применение аппарата внешней фиксации (АВФ) для первичной иммобилизации, курение, наличие сопутствующей патологии, такой как ожирение и сахарный диабет [1, 3]. В научных публикациях встречаются данные о более высокой частоте инфекции при сложных многоколонных двухмышечковых переломах. J.E. Nogueira Forni с соавторами приводят данные о 25% инфекционных осложнений при переломах типов IV–VI по классификации Schatzker, акцентируя внимание на особенностях наложения АВФ и важности соблюдения расстояния от чрескостных элементов АВФ до области перелома [4]. В то же время M. Colman с соавторами не говорят о статистически значимом различии в частоте инфекционных осложнений при двухмышечковых переломах, оперированных через один или два хирургических доступа [5].

Другие авторы считают, что высокий риск инфекции при сложном переломе плато ББК скорее можно связать с большей длительностью операции, большей частотой открытых переломов и тяжелыми повреждениями мягких тканей, а следовательно, и более частым применением АВФ при сложных переломах [3].

Все вышеупомянутые авторы сходятся во мнении о необходимости усовершенствования специальных протоколов ведения пострадавших со сложными переломами плато ББК с целью минимизировать или предотвратить развитие инфекционных осложнений [2, 3, 4].

Высокая частота инфекции наблюдается и при простом одномышечковом переломе, особенно у пациентов с плохим качеством кости, у которых технически сложно обеспечить стабильную фиксацию костных отломков. Также существенно повышают риск инфекции травматичная оперативная техника, излишняя деваскуляризация

костных отломков и грубое обращение с мягкими тканями [3, 6].

Лечение инфекционных осложнений вызывает большое количество споров в травматологическом сообществе. Распространенная ранее тактика борьбы с глубокой инфекцией, развившейся после остеосинтеза плато ББК, заключающаяся в удалении всех имплантатов и переходе на наружную фиксацию, неизбежно приводила к потере репозиции костных отломков, их вторичному смещению и в последующем к выраженным посттравматическим деформациям и артрозам. При этом вынужденная длительная фиксация в АВФ усложняла жизнь пациенту и ухудшала окончательный функциональный результат, снижая возможности реабилитации даже после купирования инфекции [3]. Выходом из этой ситуации нельзя считать и последующее эндопротезирование коленного сустава, так как наличие инфекции в анамнезе существенно повышает риск инфекционного осложнения этой ортопедической операции, что нельзя не учитывать [7].

В настоящее время многие специалисты придерживаются тактики раннего радикального дебридмента, супрессивной этиотропной антибактериальной терапии, сохранения стабильных имплантатов до сращения перелома с последующим их удалением [8, 9]. Пример подобной тактики в клинической практике мы хотим продемонстрировать в настоящей работе с обсуждением ошибок, которые были нами допущены как в ходе первичной операции, так и при последующем лечении развившегося осложнения.

Цели исследования: 1) на клиническом примере обсудить тактику лечения пациента с внутрисуставным переломом плато большеберцовой кости после операции остеосинтеза, осложнившейся развитием ранней глубокой инфекцией в области операции; 2) провести анализ дефектов оказания помощи.

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Пациентка 71 года получила травму в результате падения со стремянки. При поступлении у пациентки диагностирован многооскольчатый импрессионный перелом латерального мыщелка правой ББК 41В.3.1 по классификации АО и перелом головки малоберцовой кости (рис. 1).

В приемном отделении выполнены пункция правого коленного сустава с эвакуацией 40 мл геморрагического выпота из полости коленного сустава и гипсовая иммобилизация двумя боковыми лонгетами от голеностопного сустава до средней трети бедра. Пациентка госпитализирована для оперативного лечения.

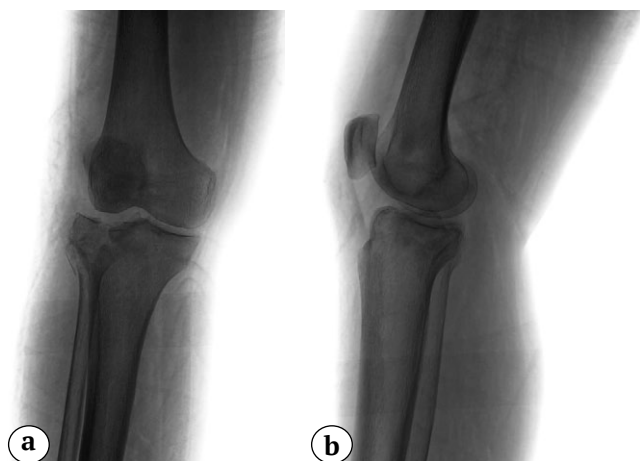


Рис. 1. Рентгенограммы правого коленного сустава пациентки при поступлении в стационар:

a — прямая проекция; b — боковая проекция

Fig. 1. X-rays of the right knee at the time of admission:
a — AP view, b — lateral view

В предоперационном периоде выполнена спиральная компьютерная томография поврежденного коленного сустава для уточнения типа перелома и планирования операции. По данным исследования было установлено, что имеется сагиттальный раскол латеральной части латерального мыщелка, распространяющийся на его переднелатеральный и заднелатеральный отделы, с импрессией в центральной части суставной поверхности. Было отмечено, что линия перелома (линия перерыва суставного кольца) в аксиальной проекции проецируется на переднелатеральный квадрант, что удобно для подхода к зоне импрессии через линию перелома по стандартной технике «открытое окно» из переднелатерального хирургического доступа.

Было запланировано оперативное лечение в объеме открытой репозиции, внутренней фиксации плато правой ББК из переднелатерального хирургического доступа с устранением импрессии суставной поверхности и замещением дефекта аллокостью с остеосинтезом анатомичной предызогнутой опорной пластиной. Однако мы отметили значительный отек мягких тканей в области проксимального отдела голени и эпидермальные пузыри с серозным и геморрагическим содержи-

мым (фликтены) в области переднелатеральной поверхности коленного сустава (близко к запланированному доступу). До заживления и эпителизации фликтен проводились перевязки, что послужило причиной отсрочки операции остеосинтеза.

При подготовке к операции в результате осмотров смежных специалистов установлены следующие сопутствующие диагнозы: ИБС; атеросклеротический кардиосклероз; гипертоническая болезнь II, риск сердечно-сосудистых осложнений — 4; сахарный диабет 2-го типа; компенсация; состояние после мастэктомии в 2014 г. по поводу рака, состояние после гистерэктомии в 2015 г. по поводу рака, состояние после гемиколонэктомии в 2018 г. по поводу рака; коагулопатия; эпизоды носовых кровотечений на фоне антикоагулянтной терапии; цереброваскулярная болезнь; дисциркуляторная энцефалопатия 2 ст.

Получены следующие данные лабораторных исследований: уровень глюкозы крови 7,87 ммоль/л; эритроциты $2,88 \times 10^{12}/л$, гемоглобин 83,00 г/л, гематокрит 25,20%, лейкоциты $1,37 \times 10^9/л$. С целью коррекции анемии выполнена трансфузия одной дозы эритроцитарной массы и одной дозы свежемороженой плазмы.

Операция выполнена на 12-е сут. после травмы по запланированной технике. Под спинномозговой анестезией на фоне периоперационной антибиотикопрофилактики цефуроксимом 1,0 г внутривенно, из положения на спине с согнутым коленным суставом на треугольном валике-подставке переднелатеральным доступом обнажено место перелома латерального мыщелка левой ББК. После отведения фрагмента латерального мыщелка выявлена центральная импрессия фрагментов суставной поверхности. Произведены реимпакция суставной поверхности и заполнение дефекта аллокостью. После фиксации латерального мыщелка костодержателем субхондрально установлено четыре стягивающих винта диаметром 4,0 мм. Установлена опорная мыщелковая пластина с проксимальной фиксацией пятью и дистальной фиксацией тремя винтами с угловой стабильностью диаметром 3,5 мм, после чего рана ушита послойно наглухо без дренирования (рис. 2). Время операции составило 180 мин., турникет не использовался.

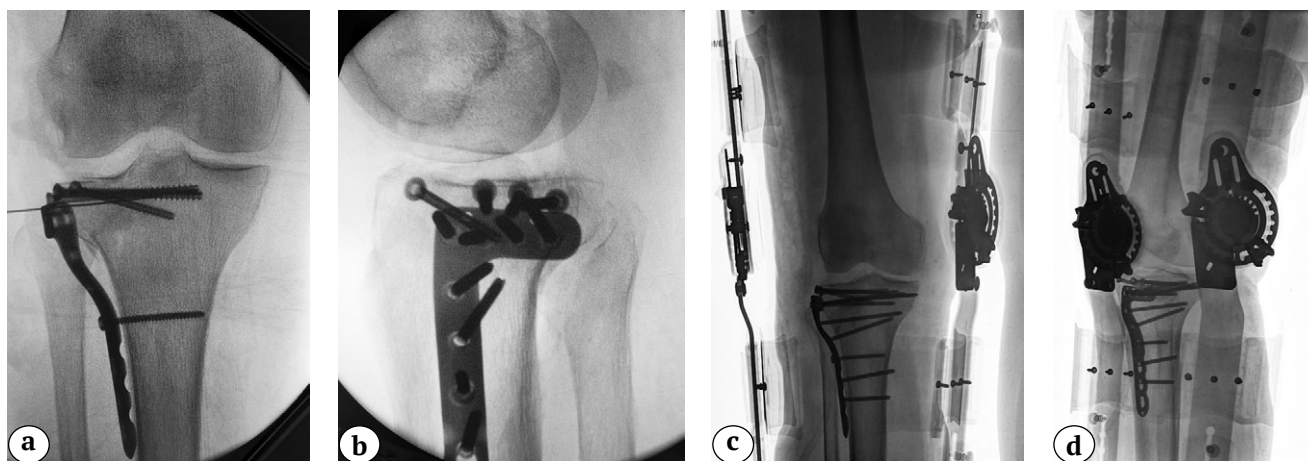


Рис. 2. Рентгенограммы правого коленного сустава, отмечается удовлетворительная репозиция фрагментов плато ББК: а — интраоперационная рентгенограмма в прямой проекции; б — интраоперационная рентгенограмма в боковой проекции; с — послеоперационная рентгенограмма в прямой проекции; д — послеоперационная рентгенограмма в боковой проекции

Fig. 2. X-rays of the right knee; satisfactory reduction of the tibial plateau fragments is observed: a — intraoperative X-ray in AP view; b — intraoperative X-ray in lateral view; c — postoperative X-ray in AP view; d — postoperative X-ray in lateral view

В послеоперационном периоде проводились перевязки, терапия анальгетиками. Продленную антибиотикопрофилактику не проводили. На 7-е сут. после операции у пациентки остро выросла фебрильная лихорадка до 39°, обнаружили явления местного воспаления в виде отека и гиперемии кожи верхней трети голени, серозно-гнойное отделяемое из послеоперационной раны. Пациентка переведена в экстренную операционную, где ей была выполнена операция ревизии послеоперационной раны голени. После снятия швов из раны эвакуировано около 100 мл серозно-гнойного экссудата. При ревизии обнаружено распространение процесса к имплантату по латеральной поверхности и дистально по ходу ББК. Взят посев отделяемого из раны. Рана промыта большим объемом антисептиков. Нежизнеспособные ткани иссечены. Контроль качества остеосинтеза не выявил признаков нестабильности имплантата. Полость коленного сустава не вскрывалась, так как отсутствовало баллотирование надколенника. Рана осушена. Выполнен гемостаз. По ходу затеков введено 3 фрагмента адсорбирующей губки. Несмотря на осуществление качественной ревизии, стабильность имплантата, отсутствие в ране нежизнеспособных тканей, не было полной уверенности в ее радикальной санации и ликвидации всех полостей при условии ушивания раны. Исходя из этого, рана герметизирована пленкой RENASY™ GO (Smith & Nephew, США) с установкой гибкого шланга и подключением к насосу VAC (Vacuum Assisted Closure) системы с созданием отрицательного давления 150 мм рт. ст. На 3-и сут. после ревизии выполнена повторная хирургическая обработка раны со

сменой VAC-системы в условиях общей анестезии. Удалены нежизнеспособные ткани, отмыто скудное геморрагическое отделяемое, выполнен контроль стабильности имплантатов. Следующая ревизионная операция выполнена через 5 сут. В ходе нее после удаления VAC-системы констатировано очищение раны и заполнение ее грануляциями, что позволило укрыть рану с наложением вторичных швов (рис. 3). Рана зажила.



Рис. 3. Вид раны после хирургической обработки и VAC-терапии

Fig. 3. Wound appearance after surgical debridement and VAC therapy

На 13-е сут. после повторной ревизии, дебридмента и ушивания раны сняты швы, пациентка выписана на амбулаторное лечение под наблюдение травматолога поликлиники с рекомендациями по ограничению осевой нагрузки на правую нижнюю конечность и ношению ортеза правого коленного сустава. На контрольных рентгенограммах, выполненных в это время, признаки нестабильности имплантатов отсутствовали (рис. 4). Пациентка получала антибактериальную терапию широкого спектра (Цефтриаксон 1,0 г 2 раза в день), которая была начата в день первичной ревизии раны. Посев отделяемого из раны выявил рост *S. aureus*, устойчивого к бензилпенициллину, но чувствительного к большинству антибиотиков широкого спектра, в том числе цефалоспоринов III поколения. Однако, учитывая положительную динамику в ране и купирование воспалительного процесса, продленная этиотропная антибактериальная терапия не назначалась.

Через 2 нед. после выписки из стационара пациентка вновь поступила в отделение по экстренным показаниям с рецидивом лихорадки и местных признаков воспаления. Выполнены ревизия и дебридмент раны, постановка VAC-системы. Пациентка получала антибактериальную терапию с учетом результатов первичного посева: Цефтриаксон 1,0 г 2 раза в день. На фоне гипохромной анемии с уровнем гемоглобина 76 г/л проведена эффективная гемотрансфузия эритроцитарной взвеси, в результате чего уровень гемоглобина повысился

до 96 г/л. На 5-е сут. выполнены повторная ревизия и дебридмент раны с заполнением подкожных дефектов мягких тканей цементными спейсерами с клиндамицином и гентамицином в виде бус, после чего рана ушита, конечность иммобилизована гипсовой повязкой (рис. 5). Антибактериальная терапия продолжена левофлоксацином перорально 500 мг 2 раза в день. Рана зажила. На 11-й день после операции пациентка выписана на амбулаторное лечение с рекомендациями продолжения антибактериальной терапии до 8 нед. и гипсовой иммобилизации до 4 мес.

В последующем пациентка находилась под наблюдением врача-травматолога амбулаторной службы. Цементный спейсер удален в срок 5 мес. после травмы, через 3,5 мес. после его постановки (рис. 6). После снятия гипсовой иммобилизации пациентка занималась лечебной физкультурой, постепенно расширяла двигательный режим. Эпизодов обострения инфекции не было.

Пациентка осмотрена в срок 2 года после операции. Она не предъявляет жалоб на боль и отеки, ощущение нестабильности в области коленного сустава, пользуется тростью только при ходьбе на длительные расстояния, самостоятельно поднимается и спускается по лестнице. Объем движений в коленном суставе ограничен незначительно. Сгибание в коленном суставе до 80°, разгибание — 175°. Функциональная оценка по шкале Lysholm составила 79 баллов, по шкале KSS — 80 баллов (рис. 7).

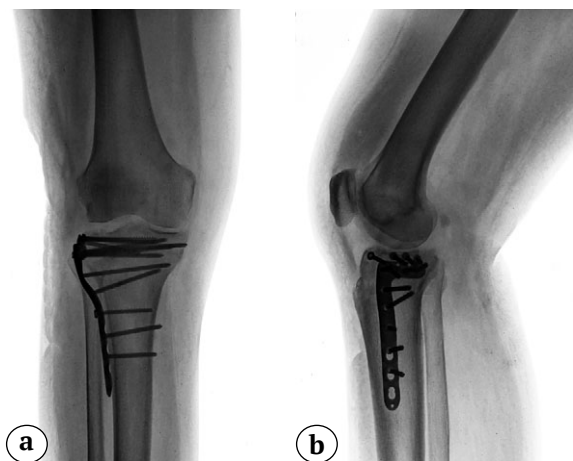


Рис. 4. Отсутствие признаков нестабильности имплантатов на контрольных рентгенограммах после купирования первичного инфекционного процесса, перед выпиской: а — прямая проекция; б — боковая проекция

Fig. 4. Absence of implant instability signs in control x-rays after resolution of primary infectious process, before discharge: а — AP view; б — lateral view

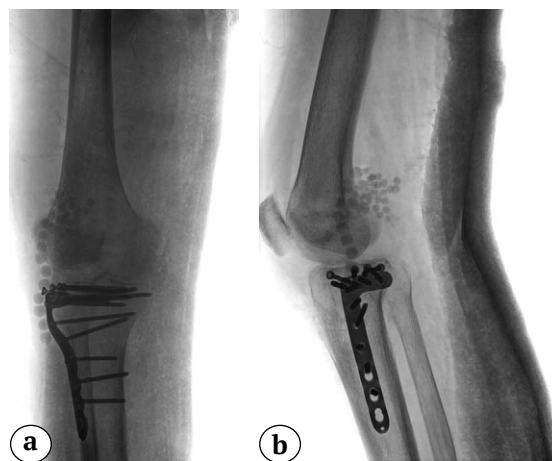


Рис. 5. Рентгенограммы после проведения операции повторного дебридмента раны с заполнением дефекта мягких тканей цементным спейсером с антибиотиками: а — прямая проекция; б — боковая проекция

Fig. 5. X-rays after redebridement of the wound with insertion of an antibiotic-impregnated cement spacer into the soft tissue defect: а — AP view; б — lateral view



Рис. 6. Рентгенограммы правого коленного сустава через 5 мес. после травмы, снятия гипсовой иммобилизации и удаления цементного спейсера: а — прямая проекция; б — боковая проекция

Fig. 6. X-rays of the right knee 5 months after injury, removal of the cast and cement spacer: а — AP view; б — lateral view

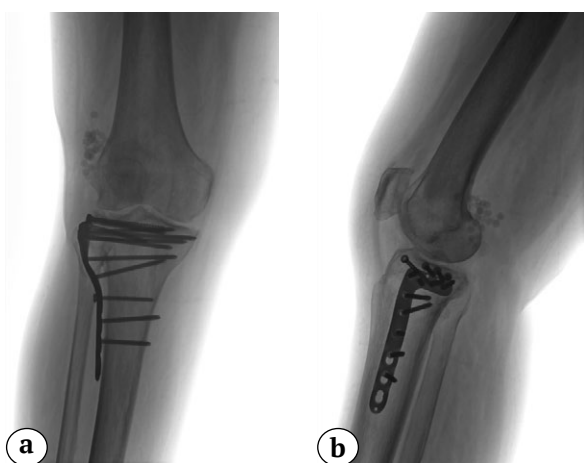


Рис. 7. Рентгенологический результат лечения через 2 года после операции:

а — прямая проекция;
б — боковая проекция

Fig. 7. X-rays outcome of the treatment, 2 years after surgery:

а — AP view;
б — lateral view

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы в травматологии проведена работа по оптимизации тактики ведения пациентов, перенесших остеосинтез, осложнившийся глубокой инфекцией. Изменения, принятые травматологическим сообществом, коснулись как вопросов диагностики инфекции в области переломов различных костей конечностей, в том числе и внутрисуставных переломов плато ББК, так и тактики лечения этого осложнения.

Консенсус в определении понятия «инфекция после остеосинтеза» на сегодняшний день заключается в выявлении подтверждающих и вероятных признаков инфекции. К подтверждающим признакам относят свищ или расхождение краев раны, сообщающееся с костью или имплантатом, а также гнойное отделяемое из раны или присутствие гноя во время ревизионной операции. Наличие микроорганизмов при гистологическом исследовании тканей области раны, а также фенотипическая идентификация культуры возбудителя как минимум в двух отдельных образцах тканей или посевах после сонификации имплантатов при микробиологическом исследовании также свидетельствуют о наличии инфекции. Все остальные клинические, рентгенологические и лабораторные симптомы являются лишь вероятными и не свидетельствуют о наличии инфекции, а только могут позволить предположить это осложнение остеосинтеза [6]. О развитии инфекции свидетельствует выявление подтверждающих критериев. Тем не менее при наличии вероятных клинических признаков, таких как повышение температуры, отделяемое из раны, местная гипертермия и гиперемия, получена специфичность как минимум 95% [10]. Это свидетельствует о необходимости комплексной оценки всех клинических и лабораторных данных при подозрении на развитие ранней инфекции после остеосинтеза.

Различие между перипротезной инфекцией и инфекцией после остеосинтеза состоит в том, что перелом сопровождается повреждением мягких тканей и кости с нарушением кровообращения в зоне предполагаемого оперативного вмешательства. При этом стабильность фиксации перелома важна не только для профилактики, но и для лечения инфекции после остеосинтеза [6, 10, 11]. При нестабильности возникает порочный круг, при котором за счет продолжающейся травматизации тканей развиваются воспаление, местная иммуносупрессия и гематома. Происходящая при этом резорбция кости приводит к расшатыванию имплантата. Совокупность этих факторов создает благоприятные условия для развития бактерий. Присоединение инфекции, в свою очередь, усугубляет остеолит и нестабильность [12].

Тем не менее перелом может консолидироваться на фоне развившейся инфекции при условии стабильной внутренней фиксации и жизнеспособности тканей в зоне перелома в условиях как интрамедуллярного, так и накостного остеосинтеза. Следовательно, немедленная эрадикация инфекции не всегда является первичной целью. При адекватном уровне стабильности и отсутствии нежизнеспособных тканей в ране после хирургической обработки по поводу инфекции имплантат может быть оставлен до сращения перелома на

фоне проведения супрессивной антибактериальной терапии [8, 9, 12].

Исходя из этого, существует ряд подходов к лечению инфекции после остеосинтеза: обработка раны и сохранение имплантата, замена одного имплантата на другой и удаление имплантата с переходом на наружную фиксацию. Исследование М. McNally с соавторами, базирующееся на результатах лечения 443 пациентов, у 140 из которых имплантат был сохранен, показало, что хирургическая обработка с сохранением стабильного имплантата несостоятельна в 21,4% случаев, замена одного имплантата на другой несостоятельна в 12,5% случаев, конверсия на наружную фиксацию — в 10,3% случаев. При этом не найдено зависимости между временем, прошедшим после травмы, и исходом в случаях сохранения имплантата [13].

Итак, в нашем случае наличие инфекции в области остеосинтеза не вызывало сомнений. Безусловно, ее развитию могла способствовать сопутствующая соматическая патология. Имелись подтверждающий фактор инфекции — серозно-гнойное отделяемое из раны — и ряд вероятных признаков: фебрильная лихорадка, локальная гипертермия, лабораторные данные. Таким образом, ревизионная операция была однозначно показана в экстренном порядке. В ходе ревизии имплантат оказался стабильным. Выполнено удаление всех нежизнеспособных тканей, однако посев взят только из раневого отделяемого, что могло уменьшить вероятность верификации возбудителя и последующего назначения адекватной патогенетической антибактериальной терапии. Одни авторы рекомендуют полную герметизацию раны с ее активным дренированием после ревизионной операции [1]. Другие исследователи предпочитают герметизацию при помощи VAC-систем с последующей этапной ревизией [14]. В нашем случае уверенности в радикальности санационной операции не было, поэтому ревизионная операция была завершена установкой VAC-системы. Остается открытым вопрос о том, сколько последовательных ревизий при условии сохранения стабильности фиксации необходимо выполнять до закрытия раны или перехода на открытое ее ведение. Авторы сообщают о возможности выполнения нескольких ревизий. Так, например, для санации очагов инфекции после осложнений остеосинтеза переломов лодыжек М. Herrera-Pérez с соавторами говорят о том, что количество ревизионных вмешательств у каждого пациента варьировало от 3 до 7 при среднем количестве 5 операций [15]. В нашем случае было выполнено три последовательных ревизии, и только последняя из них была завершена полным укрытием раны. Обсуждая длительность антибактериальной терапии, следует сказать, что

она должна продолжаться до 2 мес. после ревизионной операции [16, 17]. В нашем случае антибактериальная терапия продолжалась всего 13 дней после последней ревизии, что могло явиться одной из причин рецидива инфекционного процесса.

При очередной ревизии нами были использованы антибактериальные спейсеры. Несмотря на то, что эта техника достаточно широко применяется как в травматологии, так и в ортопедии, она имеет ряд недостатков. Спейсеры из полиметилметакрилата с антибиотиками не заменяют хирургическую санацию. Только после того как скомпрометированные и инфицированные ткани удалены, а рана достаточно хорошо промыта, можно имплантировать спейсеры [18].

Спейсеры должны быть удалены через 2–4 нед., так как концентрация выделяющегося антибиотика уменьшается и может стать недостаточной для ингибирования микрофлоры. Это может привести к развитию резистентности и колонизации микроорганизмов на спейсерах [19]. Однако использование локальной антибактериальной терапии в виде антибактериальных спейсеров снижает частоту рецидивов инфекции с 18,7% случаев без их применения до 10% случаев при их использовании [13].

Нами спейсеры были применены при повторном рецидиве инфекции. Однако их удаление выполнено только через 5 мес., при этом небольшое их количество не было найдено в тканях и осталось неудаленным. Тем не менее отсутствие рецидива инфекции в срок 2 года после операции, сращение перелома, относительно удовлетворительный функциональный результат лечения свидетельствуют о полной эрадикации инфекции.

Инфекция после остеосинтеза является наиболее серьезным местным осложнением операции по поводу переломов. Это осложнение встречается даже при соблюдении всех канонов остеосинтеза, бережном отношении к мягким тканям и кости, стабильной фиксации отломков в правильном положении. При этом скомпрометированный соматический статус, сахарный диабет, локальные сосудистые расстройства повышают риск развития инфекции. Главным принципом лечения этих осложнений является ранняя радикальная санация очага инфекции. Не менее важным является верификация возбудителя, а также адекватная по характеру и длительности антибактериальная терапия. Однако четкие критерии и алгоритмы выбора способа лечения (сохранение, замена имплантата или переход на наружную фиксацию), количества последовательных ревизионных операций при рецидивах инфекции, применения антибактериальных спейсеров отсутствуют. Кроме того, при констатации важности сохранения кровообращения в тканях зоны операции, необходимого для эрадикации инфекции, недостаточно внимания уделяет-

ся методикам и технике выполнения остеосинтеза. Из-за этого в ряде случаев происходит значительная дополнительная травматизация тканей и их деваскуляризация, что значительно усложняет лечение в случае присоединения инфекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный случай показал, что при принципиально верном подходе к лечению ранней инфекции после остеосинтеза в нашей рутинной практике есть ряд дефектов. В первую очередь, это некорректный забор материалов для бактериологического исследования и неадекватная по длительности антибактериальная терапия. Для успешного лечения инфекционных осложнений остеосинтеза необходима команда специалистов-единомышленников, в которую, кроме травматолога, должны входить терапевты, микробиологи, клинические фармакологи. Безусловно, развитие

инфекционных осложнений при оперативном лечении пациентов с переломами может произойти. Их диагностика и лечение нередко сопровождаются различного рода ошибками. Принципиальными моментами являются ранняя радикальная ревизия послеоперационной раны, этиотропная антибактериальная терапия, сохранение стабильности фиксации после первичного остеосинтеза. При соблюдении этих принципов результат хирургического лечения в целом может быть удовлетворительным даже при развитии такого грозного осложнения как инфекция в зоне остеосинтеза. В то же время дальнейшие исследования в этой области, направленные на совершенствование тактики и алгоритмов хирургического лечения инфекционных осложнений, а также снижение травматичности и повышение качества первичного остеосинтеза необходимы и будут являться целью нашей дальнейшей работы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Shao J., Chang H., Zhu Y., Chen W., Zheng Z., Zhang H. et al. Incidence and risk factors for surgical site infection after open reduction and internal fixation of tibial plateau fracture: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2017;41:176-182. doi: 10.1016/j.ijssu.2017.03.085.
- Puetzler J., Zalavras C., Moriarty T.F., Verhofstad M.H.J., Kates S.L., Raschke M.J. et al. Clinical practice in prevention of fracture-related infection: an international survey among 1197 orthopaedic trauma surgeons. *Injury.* 2019;50(6):1208-1215. doi: 10.1016/j.injury.2019.04.013.
- Court-Brown Ch.M., Heckman J.D., McQueen M.M., Ricci W.M., Tornetta P. (III), McKee M.D. Rockwood and Green's fractures in adults. 8th ed. Philadelphia : Wolters Kluwer Health; 2015. 2769 p.
- Nogueira Forni J.E., Tardivo Fraga S.E., Jalikj W. Risk Factors for Infection in Patients Undergoing Osteosynthesis for Tibial Plateau Fracture in a University Hospital. *Cureus.* 2022;14(4):e24587. doi: 10.7759/cureus.24587.
- Colman M., Wright A., Gruen G., Siska P., Pape H.C., Tarkin I. Prolonged operative time increases infection rate in tibial plateau fractures. *Injury.* 2013;44(2):249-252. doi: 10.1016/j.injury.2012.10.032.
- Metsemakers W.J., Morgenstern M., McNally M.A., Moriarty T.F., McFadyen I., Scarborough M. et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group. *Injury.* 2018;49(3):505-510. doi: 10.1016/j.injury.2017.08.040.
- Kester B.S., Minhas S.V., Vigdorich J.M., Schwarzkopf R. Total Knee Arthroplasty for Posttraumatic Osteoarthritis: Is it Time for a New Classification? *J Arthroplasty.* 2016;31(8):1649-1653.e1. doi: 10.1016/j.arth.2016.02.001.
- Govaert G.A.M., Kuehl R., Atkins B.L., Trampuz A., Morgenstern M., Obremesky W.T. et al. Fracture-Related Infection (FRI) Consensus Group. Diagnosing Fracture-Related Infection: Current Concepts and Recommendations. *J Orthop Trauma.* 2020;34(1):8-17. doi: 10.1097/BOT.0000000000001614.
- Metsemakers W.J., Morgenstern M., Senneville E., Borens O., Govaert G.A.M., Onsea J. et al. Fracture-Related Infection (FRI) group. General treatment principles for fracture-related infection: recommendations from an international expert group. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(8):1013-1027. doi: 10.1007/s00402-019-03287-4.

10. Onsea J., Van Lieshout E.M.M., Zalavras C., Sliepen J., Depypere M., Noppe N. et al. Validation of the diagnostic criteria of the consensus definition of fracture-related infection. *Injury*. 2022;53(6):1867-1879. doi: 10.1016/j.injury.2022.03.024.
11. Metsemakers W.J., Kortram K., Morgenstern M., Moriarty T.F., Meex I., Kuehl R. et al. Definition of infection after fracture fixation: A systematic review of randomized controlled trials to evaluate current practice. *Injury*. 2018;49(3):497-504. doi: 10.1016/j.injury.2017.02.010.
12. Foster A.L., Moriarty T.F., Zalavras C., Morgenstern M., Jaiprakash A., Crawford R. et al. The influence of biomechanical stability on bone healing and fracture-related infection: the legacy of Stephan Perren. *Injury*. 2021;52(1):43-52. doi: 10.1016/j.injury.2020.06.044.
13. McNally M., Corrigan R., Sliepen J., Dudareva M., Rentenaar R., Ijpma F. et al. What Factors Affect Outcome in the Treatment of Fracture-Related Infection? *Antibiotics*. 2022;11(7):946. doi: 10.3390/antibiotics11070946.
14. Diefenbeck M., Mennenga U., Gückel P., Tiemann A.H., Mückley T., Hofmann G.O. Vacuum-assisted closure therapy for the treatment of acute postoperative osteomyelitis. *Z Orthop Unfall*. 2011;149(3):336-341. (In German). doi: 10.1055/s-0030-1270952.
15. Herrera-Pérez M., Díaz-Fernández R., Rendón-Díaz D., Boluda-Mengod J., Pais-Brito J.L., Tejero S. Tibiotalocalcaneal Fusion With Antibiotic Cement-Coated Nails for Refractory Deep Infection After Ankle ORIF. *Foot Ankle Int*. 2020;41(11):1391-1397. doi: 10.1177/1071100720939884.
16. Chan J.K.K., Ferguson J.Y., Scarborough M., McNally M.A., Ramsden A.J. Management of Post-Traumatic Osteomyelitis in the Lower Limb: Current State of the Art. *Indian J Plast Surg*. 2019;52(01):62-72. doi: 10.1055/s-0039-1687920.
17. Li H.K., Rombach I., Zambellas R., Walker A.S., McNally M.A., Atkins B.L. et al. OVIVA Trial Collaborators. Oral versus Intravenous Antibiotics for Bone and Joint Infection. *N Engl J Med*. 2019;380(5):425-436. doi: 10.1056/NEJMoa1710926.
18. Schnettler R. Surgical treatment of osteomyelitis. Acute and chronic post-traumatic osteomyelitis. In: *Septic bone and joint surgery*. New York : Thieme; 2010. p. 94-125.
19. Diefenbeck M., Mückley T., Hofmann G.O. Prophylaxis and treatment of implant-related infections by local application of antibiotics. *Injury*. 2006;37(2):95-104. doi: 10.1016/j.injury.2006.04.015.

Сведения об авторах

✉ **Беленький Игорь Григорьевич** — д-р мед. наук
Адрес: Россия, 192242, г. Санкт-Петербург,
Будапештская ул., д. 3

<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Майоров Борис Александрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>
e-mail: bmayorov@mail.ru

Ильин Вадим Сергеевич
<https://orcid.org/0009-0008-4010-7300>
e-mail: 3104339@gmail.com

Сергеев Геннадий Дмитриевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>
e-mail: gdsergeev@gmail.com

Authors' information

✉ **Igor' G. Belen'kiy** — Dr. Sci. (Med.)
Address: 3, Budapeshtskaya str., St. Petersburg, 192242,
Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Boris A. Maiorov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>
e-mail: bmayorov@mail.ru

Vadim S. Il'in
<https://orcid.org/0009-0008-4010-7300>
e-mail: 3104339@gmail.com

Gennadii D. Sergeev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>
e-mail: gdsergeev@gmail.com



Хронический неспецифический спондилит у пациентов с подагрическим спондилоартритом: анализ клинической серии и обзор литературы

А.А. Вишнеvский¹, Д.Г. Наумов^{1,2}, М.М. Щелкунов¹, Т.А. Новицкая¹

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России,
г. Санкт-Петербург, Россия

² ФБГОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Подагрический спондилоартрит — редкая и малоизученная группа неинфекционных воспалительных поражений позвоночника, характеризующаяся отложением кристаллов моноурата натрия в эпидуральном пространстве, паравертебральных мягких тканях и поражением дугоотростчатых суставов. Систематизированные данные о течении инфекционного спондилита у пациентов с подагрическим спондилоартритом в литературе отсутствуют.

Цель исследования — представить отдаленные результаты хирургического лечения хронического инфекционного спондилита у пациентов с подагрой и систематизировать данные литературы по рассматриваемому вопросу.

Материал и методы. В клиническую часть исследования включены 6 пациентов последовательно оперированных в период с 2018 по 2021 г. Диагноз подагрического спондилоартрита и хронического остеомиелита верифицирован по результатам гистологического и бактериологического исследований операционного материала. Катамнез — не менее 12 мес. Изучены особенности клинико-лабораторных, лучевых и гистологических проявлений заболевания. Систематизация литературы проведена с использованием крупнейших баз данных медицинской литературы PubMed, Google Scholar, eLIBRARY. Глубина поиска — с 2013 по 2023 г. Критерии включения: уровень доказательности исследований IIb-IV, катамнез 6 и более месяцев, указание о характере диагностических и лечебных манипуляций.

Результаты. Средний возраст пациентов составил 55±9 лет. Длительность подагры 8,0±5 лет, диагностической паузы хронического неспецифического спондилита 6,2±2,9 мес. В исследовании преобладали полисегментарные поражения поясничного отдела позвоночника. Согласно классификации E. Pola с соавторами (2017) выявляли следующие типы спондилитов: B.3 (n = 1), C.1 (n = 1), C.3 (n = 2) и C.4 (n = 2). В клинической картине преобладал хронический вертеброгенный болевой синдром интенсивностью 6,1±1,4 баллов по ВАШ. Неврологические расстройства по шкале ASIA соответствовали типам B (n = 1) и C (n = 4). Объем хирургического лечения соответствовал трехколонной реконструкции из комбинированного доступа в 2 случаях и изолированной реконструкции передней колонны — в 2 случаях, трехколонной реконструкции из дорсального доступа — в 1 случае и санации эпидурального пространства и передней колонны из дорсального доступа — в 1 случае. Отдаленные результаты свидетельствуют об отсутствии рецидива хронического неспецифического спондилита в 4 случаях, у 2 пациентов отмечены послеоперационные осложнения, потребовавшие ревизионных вмешательств, после выполнения которых рецидивов неспецифических спондилитов не отмечено.

Заключение. Сочетание хронического неспецифического спондилита и подагры является редкой и мало описанной в литературе патологией. Длительная терапевтическая пауза, хронический характер вертеброгенного болевого синдрома в сочетании с повышением уровня мочевой кислоты и образованием тофусов вертебральной локализации — отличительные особенности заболевания, выявленные в ходе анализа собственного клинического материала. Неврологические нарушения при сочетании спондилита и подагры возникают вследствие стеноза позвоночного канала по причине двух факторов — эпидуральных абсцессов и тофусов. Достижение локального контроля сочетанной патологии возможно при комбинации хирургического вмешательства и длительного приема гипоурикемических препаратов.

Ключевые слова: подагрический спондилоартрит, подагра, спондилит, тофусы, гиперурикемия.

Для цитирования: Вишнеvский А.А., Наумов Д.Г., Щелкунов М.М., Новицкая Т.А. Хронический неспецифический спондилит у пациентов с подагрическим спондилоартритом: анализ клинической серии и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):168-180. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17479>.

Наумов Денис Георгиевич; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Рукопись получена: 25.02.2024. Рукопись одобрена: 27.04.2024. Статья опубликована онлайн: 20.05.2024.

© Вишнеvский А.А., Наумов Д.Г., Щелкунов М.М., Новицкая Т.А., 2024



Chronic Pyogenic Spondylitis in Patients with Spinal Gout: A Case Series and Literature Review

Arkadiy A. Vishnevskiy¹, Denis G. Naumov^{1,2}, Mikhail M. Shchelkunov¹,
Tatiana A. Novitskaya¹

¹ St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Spinal gout is a rare and poorly described group of noninfectious inflammatory spinal lesions characterized by the deposition of monosodium urate crystals in the epidural space, paravertebral soft tissues, and by facet joints damage. There is no systematized data on the course of infectious spondylitis and spinal gout in the literature.

The aim of the study — to present long-term outcomes of surgical treatment of chronic pyogenic spondylitis in patients with spinal gout and systematize the literature data on the issue.

Methods. The clinical part of the study included 6 consecutively operated patients in the period from 2018 to 2021. The diagnosis of spinal gout and chronic pyogenic spondylitis was verified according to the results of histologic and bacteriologic studies of surgical material. Catamnesis accounted for at least 12 months. We studied the peculiarities of clinical and laboratory, radiological and histologic manifestations of the disease. Literature data systematization was carried out in the databases PubMed, Google Scholar, eLIBRARY from 2013 to 2023. Inclusion criteria: level of evidence II B-IV, catamnesis more or equal to 6 months, information on diagnostic and treatment measures.

Results. The average age of the patients was 55±9 years. The duration of the diagnostic pause was 8±5 years. Multisegmented lesions of the lumbar (n = 6) spine prevailed. According to the classification of Pola E. et al. (2017) the following types of spondylitis were identified: B.3 (n = 1), C.1 (n = 1), C.3 (n = 2) and C.4 (n = 2). The clinical manifestation was dominated by chronic back pain with an intensity of 6,1±1,4 VAS scores. Neurologic disorders of the lower extremities and pelvic (ASIA scale) corresponded to types B (n = 1) and C (n = 4). The type of surgery: three-column reconstruction through combined approach in 2 cases and isolated anterior column reconstruction in 2 cases, 360° fusion in 1 case, and debridement of the epidural space and anterior column through posterior approach in 1 case. The follow-up results show the absence of recurrence of spondylitis in 4 cases, in 2 patients there were postoperative complications that required revision, after which no recurrence of spondylitis was noted. We selected 17 publications for literature review.

Conclusion. The combination of chronic pyogenic spondylitis and spinal gout is a rare and poorly described pathology in the literature. Long therapeutic pause, chronic character of vertebrogenic pain syndrome in combination with increased uric acid level and formation of tophi of vertebral localization are distinctive features of the disease. Neurologic disorders with the combination of spondylitis and gout result from stenosis of the spinal canal due to two factors — epidural abscesses and tophi. Achieving local control of the combined pathology is possible with a combination of surgical intervention and long-term administration of hypouricemic drugs.

Keywords: spinal gout, spondylarthritis, gout, spondylitis, tophi, hyperuricemia.

Cite as: Vishnevskiy A.A., Naumov D.G., Shchelkunov M.M., Novitskaya T.A. Chronic Pyogenic Spondylitis in Patients with Spinal Gout: A Case Series and Literature Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):168-180. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17479>.

✉ Denis G. Naumov; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Submitted: 25.02.2024. Accepted: 27.04.2024. Published Online: 20.05.2024.

© Vishnevskiy A.A., Naumov D.G., Shchelkunov M.M., Novitskaya T.A., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Спондилоартриты — обширная группа заболеваний, объединяющая этиологически разнородные варианты неинфекционных воспалительных поражений позвоночника [1]. По данным американского ревматологического регистра, распространенность подагры в США достигает 37,6 случаев на 1000 взрослого населения [2]. Анализ отечественной статистики демонстрирует меньшие показатели распространенности, достигая 31 случай на 1000 взрослого населения [3, 4]. По этиологии принято выделять следующие виды спондилоартритов: анкилозирующий (болезнь Бехтерева), псориатический и подагрический [5, 6].

Подагра — системное рецидивирующее заболевание, характеризующееся нарушением метаболизма мочевой кислоты, отложением в различных тканях кристаллов моноурата натрия (МУН) и развивающимся в связи с этим хроническим воспалением у лиц с гиперурикемией, обусловленной внешнесредовыми и/или генетическими факторами. В результате накопления кристаллов МУН в синовиальной жидкости и мягких тканях образуются тофусы, локализующиеся преимущественно интра- или параартикулярно [7].

Наряду с тофусным поражением суставов конечностей, описаны подагрические спондилоартриты, которые могут имитировать инфекционное поражение позвоночника, экстра- и интрадуральные опухоли [8, 9, 10, 11, 12]. Течение заболевания с отложением кристаллов МУН в эпидуральном пространстве влечет за собой развитие неврологического дефицита [13, 14]. По локализации чаще встречаются подагрические поражения поясничного, реже — грудного и шейного отделов позвоночника [15, 16].

Для установления диагноза ПС, наряду с клиническими проявлениями и гиперурикемией (повышение мочевой кислоты выше 360 мкмоль/л), требуется проведение трепанобиопсии и/или исследования синовиальной жидкости в поляризованном свете, при котором выявляются типичные кристаллы МУН [17, 18].

Первичное упоминание о подагрическом спондилоартрите принадлежит G.D. Kersley с соавторами. Авторы описали клинический случай с поражением субокципитального отдела позвоночника, сопровождающийся развитием тетрапареза у пациента в возрасте 21 года [19].

Клиническая картина заболевания неспецифична, характеризуется вертеброгенным болевым синдромом в сочетании с болями по корешковому типу. Неспецифичный характер клинических проявлений обуславливает трудность дифференциальной диагностики заболевания и неудовлетворительные результаты изолированной антибактериальной терапии в случаях первичной трактовки заболевания как хронического инфекционного спондилита.

Динамика неврологических расстройств имеет прогрессирующее течение, зависит от локализации поражения и степени вовлеченности в патологический процесс интраканальных невралгических структур [20, 21, 22].

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных подагрическим поражениям суставов, информация, касающаяся подагрических спондилоартритов ограничена. В литературе представлены описания единичных наблюдений и малых клинических серий, крупнейшая из которых включает 2 случая [3]. А упоминание о сочетании инфекционного спондилита и подагрического спондилоартрита отсутствуют, так же как и систематизированные данные по этому вопросу.

Цель исследования — представить отдаленные результаты хирургического лечения хронического инфекционного спондилита у пациентов с подагрой и систематизировать данные литературы по рассматриваемому вопросу.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн — малая клиническая серия и обзор литературы. В исследование включены 6 пациентов последовательно оперированных с хроническим инфекционным спондилитом на фоне подагры в период с 2018 по 2021 г. Катамнез прослежен в сроки не менее 1 года ($M \pm m = 4$ года 1 мес. ± 1 год 11 мес.; min — 1 год, max — 6 лет).

Характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в таблице 1. С учетом гендерного распределения проанализированы результаты хирургического лечения 5 мужчин и 1 женщины. Диагностическая трепанобиопсия из очага вертебральной деструкции выполнена на дооперационном этапе во всех случаях, однако этиологическая верификация диагноза достигнута только по результатам исследования операционного материала.

Таблица 1

Характеристика пациентов, включенных в исследование

Возраст/пол	Клинические проявления	Лабораторные показатели	Метод верификации	Бактериологическое исследование на вторичную флору	Вариант лечения	Катамнез
56 лет М	ДП* — 15 лет, ВАШ (спина/ноги) — 6/4, ODI — 68, ASIA 92/104, Локализация L4-S1	МК** — 456 мкмоль/л СРБ — 10,5 мг/л	Полярizuющая микроскопия, операционный материал	Положительно, MRSE	Реконструкция 360° из дорсального доступа: медиальная фасетэктомия L4-5, L5-S1, ревизия и санация эпидурального пространства, трансформинальная резекция L5-S1, спондиллоз титановым кейджем с аутокостью, задняя транспедикулярная фиксация L4-S1 + гипоурикемическая, антибактериальная (6 нед.) терапия	6 лет 4 мес., признаки рецидива отсутствуют
59 лет М	ДП — 12 лет, ВАШ — 4/2, ODI — 48, ASIA 98/108, Локализация L3-5	МК — 511 мкмоль/л СРБ — 26,2 мг/л	Полярizuющая микроскопия, операционный материал	Отрицательно	Санация эпидурального пространства и передней колонны из дорсального доступа: медиальная фасетэктомия, санация L4-5, L5-S1, дренирование + гипоурикемическая терапия	5 лет 4 мес., признаки рецидива отсутствуют
41 год М	ДП — 10 лет, ВАШ — 5/6, ODI — 82, ASIA 68/102, Локализация L3-5 Синдром Lesch-Nyhan	МК — 560 мкмоль/л СРБ — 32,1 мг/л	Полярizuющая микроскопия, операционный материал	Положительно, MRSA	Реконструкция 180° (передняя колонна) из левостороннего ретроперитонеального доступа: резекция L3-5, передний спондиллоз титановой блок-решеткой с аутокостью + гипоурикемическая, антибактериальная (6 нед.) терапия	4 года 10 мес., признаки рецидива отсутствуют
48 лет М	ДП — 1 год, ВАШ — 8/6, ODI — 74, ASIA 92/102, Локализация L2-4	МК — 542 мкмоль/л СРБ — 21,8 мг/л	Полярizuющая микроскопия, операционный материал	Положительно, <i>S. aureus</i>	Реконструкция 360° из комбинированного доступа: резекция L2-4 из ретроперитонеального доступа, передний спондиллоз титановой блок-решеткой с аутокостью, задняя транспедикулярная фиксация на уровне Th12-S2 + гипоурикемическая, антибактериальная (6 нед.) терапия	1 год 2 мес. — перимплантная резорбция костной ткани на уровне L5-S2, демонтаж задней инструментальной фиксации на фоне сформированного переднего спондиллоза; 2 года 1 мес. — признаки рецидива отсутствуют
65 лет М	ДП — 5 лет, ВАШ — 7/5, ODI — 62, ASIA 98/108, Локализация L2-4	МК — 487 мкмоль/л СРБ — 11,2 мг/л	Полярizuющая микроскопия, операционный материал	Положительно, MRSA	Реконструкция 360° из комбинированного доступа: резекция L3-4 из ретроперитонеального доступа, передний спондиллоз титановой блок-решеткой с аутокостью, задняя фиксация ламинарной системой L2-5 + гипоурикемическая, антибактериальная (6 нед.) терапия	10 дней после операции — поверхностная ИОХВ, санация, NPWT***, вторичное ушивание раны на 14-е сут. от начала NPWT, 2 года 3 мес. — признаки рецидива отсутствуют

* — диагностическая пауза от момента появления первых симптомов податрического спондилоартрита до диагностики инфекционного спондилита; ** — моченая кислота; *** — negative pressure wound therapy (система отрицательного дренирования раны).

Тактика хирургического лечения базировалась на ведущем клиническом синдроме (вертеброгенная нестабильность, неврологический дефицит, системный воспалительный ответ или их сочетание) и лучевых характеристиках поражений (распространенность, вовлечение паравертебральных тканей, эпидурального пространства, задней колонны). Тип вертебральной деструкции соотносили с классификацией E. Pola с соавторами [23]. С учетом вариантов хирургического лечения выделяли 4 группы: 1 — реконструкция 360° из комбинированного доступа, 2 — реконструкция 360° из изолированного дорсального доступа, 3 — реконструкция 180° из переднего ретроперитонеального доступа, 4 — санирующее вмешательство из дорсального доступа.

Во всех случаях поражение локализовалось в поясничном отделе позвоночника с преимущественным полисегментарным (2 и более позвоночно-двигательных сегмента) разрушением (5 пациентов: 83,3%). Согласно классификации E. Pola с соавторами отмечены спондилиты следующих типов: В.3 ($n = 1$), С.1 ($n = 1$), С.3 ($n = 2$) и С.4 ($n = 2$).

В структуре анализируемых параметров изучали:

- длительность диагностической паузы — время от момента появления первых симптомов заболевания до верификации диагноза;
- биохимические показатели крови — уровень мочевой кислоты (МК) и С-реактивного белка (СРБ);
- результаты бактериологического и гистологического исследований биопсийного (получен в ходе предоперационной трепано биопсии под флюороскопическим контролем из очага вертебральной деструкции) и операционного материала;
- отдаленные результаты — характер и срок развития осложнений, динамику качества жизни с использованием опросника Oswestry Disability Index (ODI) [24].

Гистологическое исследование материала из очага вертебральной деструкции выполняли с применением метода световой и поляризующей микроскопии. В качестве лучевой диагностики на дооперационном этапе всем пациентам проведены спиральная компьютерная томография (СКТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Контрольные точки послеоперационного контроля: 3, 6, 12 мес. (СКТ). Характер и срок развития послеоперационных осложнений оценивали по классификации V. Prinz с соавторами [25].

Для систематизации данных по вопросам лечения серонегативных подагрических спондилоартритов выполнен поиск и анализ литературы в базах данных PubMed, Google Scholar, eLIBRARY.

Глубина поиска — с 2013 по 2023 г. включительно. Ключевые слова: подагра, подагрический спондилоартрит, тофусное поражение позвоночника, spinal gout, tophaceous spinal gout. Критерии включения публикаций в анализ: 1) уровень доказательности исследований ПИВ–IV; 2) казначеиз, прослеженный в сроки не менее 6 мес.; 3) четкое указание на характер использованных диагностических и лечебных манипуляций.

На первичном этапе отобрано 25 статей, 17 из которых в полной мере соответствовали критериям включения в исследование. Итоговому анализу подвергли 18 клинических наблюдений. Распределение случаев по локализации: С (1 / 5,5%), С/Th (1 / 5,5%), Th (6 / 33,3%), L (9 / 50%), С+L (1 / 5,5%).

Систематизация данных литературы выполнена по следующим разделам: клиническая картина; методы диагностики / дифференциальной диагностики; лечение, в т.ч. хирургическое; отдаленные результаты. Результаты представлены после клинической части настоящего исследования.

Статистический анализ

Статистический анализ выполнен в программе Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), версия 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) с применением описательных методов (среднее значение, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения). Оценка значимости различий в показателе качества жизни пациентов до и после операции выполнена с применением Т-критерия Уилкоксона (ненормальное распределение малочисленной выборки).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст пациентов, включенных в клиническую часть исследования, составил 55 ± 9 лет ($\min - 41$; $\max - 65$). Длительность диагностической паузы хронического неспецифического спондилита составила 8 ± 5 лет ($\min - 1$; $\max - 15$). В клинической картине преобладали вертеброгенный болевой синдром с интенсивностью $6,1 \pm 1,4$ баллов ($\min - 4$; $\max - 8$) и корешковый с интенсивностью $4,6 \pm 1,5$ балла ($\min - 2$; $\max - 6$). Биохимическое исследование уровня мочевой кислоты свидетельствовало о значимом превышении показателя, в среднем составившего $523,5 \pm 47,9$ мкмоль/л ($\min - 456$; $\max - 585$ мкмоль/л). Средний уровень СРБ — $21,15 \pm 8,6$ мг/л ($\min - 10,5$; $\max - 106,3$ мг/л).

Динамика показателей качества жизни до / после операции: $66,3 \pm 11,5$ и $37 \pm 16,4$ баллов ($p = 0,27$). С учетом локализации преобладали поли- (5 наблюдений) и моносегментарные (1 наблюдение) поражения поясничного отдела позвоночника.

Верификация подагрической этиологии спондилоартрита во всех наблюдениях достигнута путем гистологического исследования операционного материала с применением поляризующей микроскопии и визуализацией кристаллов МУН. Морфологическая картина гистологических препаратов в исследуемой серии представлена на рисунке 1. Окраска гематоксилином и эозином, просмотр стекол при поляризующем свете. Диагностическое значение имеет обнаружение игольчатых кристаллов (МУН), расположенных вне- или внутриклеточно и обладающих двойным лучепреломлением.

Гистологическое заключение описывает костно-хрящевую ткань с дистрофическими изменениями, фрагменты фиброзной ткани с очаговыми отложениями слабо эозинофильных гомогенных масс с очаговой слабо выраженной лимфо-плазмочитарной инфильтрацией, что соответствует подагре.

Выделение вторичной флоры путем бактериологического исследования операционного материала достигнуто в 5 (83,3%) наблюдениях, 3 из которых обладали мультирезистентностью к антибактериальным препаратам. Во всех случаях получены бактерии семейства *Staphylococcus* нескольких видов: *S. aureus* — 2, MRSA (метициллинрезистентный золотистый стафилококк) — 2, MRSE (метициллинрезистентный эпидермальный стафилококк) — 1.

Объем хирургического лечения соответствовал трехколонной реконструкции из комбинирован-

ного доступа в 2 случаях (поражения типа С.4), изолированной реконструкции передней колонны в 2 случаях (поражения типа В.3 и С.3), трехколонной реконструкции из дорсального доступа в 1 случае (поражение типа С.3) и санации эпидурального пространства и передней колонны из дорсального доступа в 1 случае (поражение типа С.1).

В послеоперационном периоде все пациенты получали антибактериальную терапию в соответствии с результатами бактериологического исследования операционного материала. В 5 (83,7%) случаях выявлены штаммы *Staphylococcus* spp., три из которых обладали полирезистентностью. В комплексную терапию включены гипоурикемические препараты (колхицин 0,5 мг 2 раза в сут., аллопуринол, аденурик) под контролем уровня МК (менее 320 мкмоль/л) и СРБ.

Результаты хирургического лечения при подагрическом спондилоартрите типа С.3 по Е. Pola с соавторами представлены на рисунке 2.

В отдаленном периоде выявлены один случай развития ранней (10-е сут.) поверхностной инфекции области хирургического вмешательства лечение которой проведено с применением системы отрицательного дренирования раны, и один случай поздней (1 год 2 мес.) периимплантной резорбции костной ткани на уровне L5-S2, потребовавшей удаления задней фиксации. Отсутствие рецидива заболевания и осложнений отмечено у 4 пациентов после первичной операции на позвоночнике.

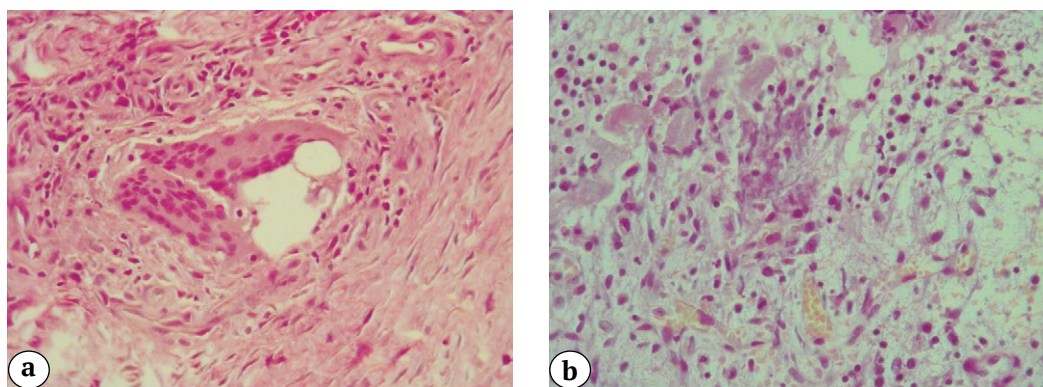


Рис. 1. Морфологическая картина гистологических препаратов, световая микроскопия: а — гигантоклеточная воспалительная реакция в участках отложения солей мочевиной кислоты. б — мелкие игольчатые кристаллы в синовиальной оболочке. Окраска гематоксилином и эозином. Ув.: а — $\times 200$; б — $\times 400$

Fig. 1. Morphologic structure of histological material, optical microscopy: а — giantocellular inflammatory reaction in the areas of uric acid salt deposition; б — small needle-like crystals in the synovial membrane. Stained with hematoxylin and eosin. Mag.: — $\times 200$; б — $\times 400$

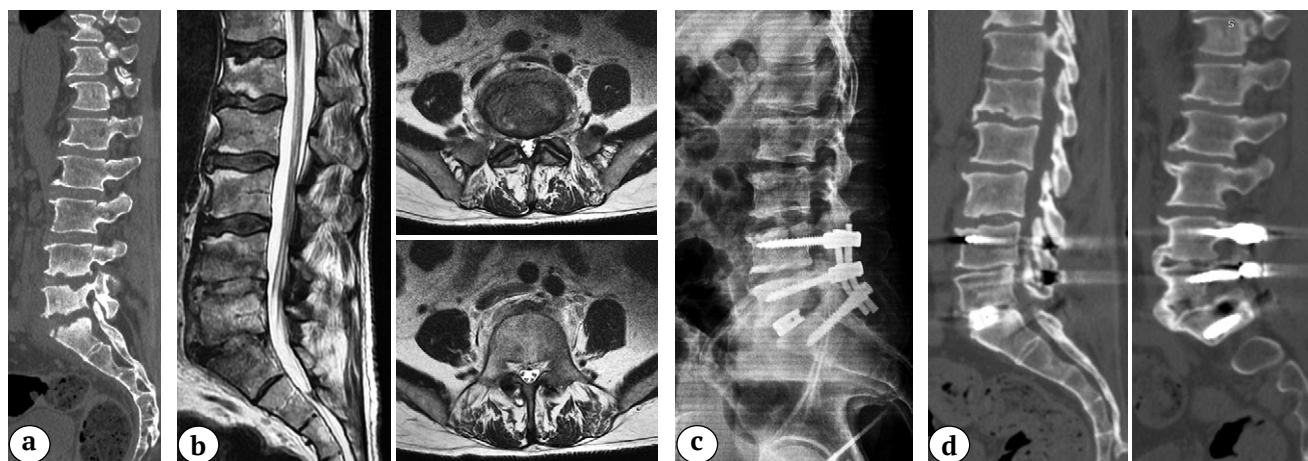


Рис. 2. Результаты хирургического лечения при подагрическом спондилоартрите типа С.3 по E. Pola с соавторами:

- а — боковая проекция СКТ, визуализируется деструкция замыкательных пластин тел L4, L5, S1;
- б — T2 импульсной последовательности боковая проекция МРТ, визуализируются признаки спондилодисцита L4-S1, тофусные массы в проекции остистых отростков L4-5 позвонков;
- с — рентгенограмма поясничного отдела позвоночника в боковой проекции после операции, стабильное положение опорных элементов транспедикулярной металлоконструкции и межтелового титанового кейджа;
- д — боковая проекция СКТ, 3 года 6 мес. после выполнения реконструктивной операции, определяется стабильное положение опорных элементов металлоконструкции, сформированный костный блок, отсутствие признаков рецидива неспецифического спондилита

Fig. 2. Results of surgical treatment of pyogenic spondylitis type C.3 according to E. Pola et al. (2017) in spinal gout:
 a — sagittal scan of CT, visualized destruction of the L4, L5, S1 end plates;
 b — sagittal scan of T2 weighted image MRI, signs of spondylodiscitis are visualized L4-S1, tophus masses in the projection of spinous processes of L4-5 vertebrae;
 c — sagittal X-Ray scan after surgery, correct position of the instrumentation;
 d — sagittal scan of CT, 3 years 6 months after reconstructive surgery, correct position of the instrumentation, anterior and posterior fusion formation, no signs of recurrence of nonspecific spondylitis

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ 17 источников литературы по рассматриваемой проблеме позволил выделить следующие особенности течения подагрических спондилоартритов, описанные ниже:

- в клинической картине заболевания преобладал вертеброгенный (18 наблюдений), реже корешковый (4 наблюдения) болевой синдром;

- неврологический дефицит соответствовал нижней параплегии в 2 наблюдениях (поражении Th8-10 и L3-5), тетрапарезу — в 2 наблюдениях (поражения С.2, С.4-6) и преимущественно нижнему парапарезу — в 8 случаях;

- снижение силы мышц нижних конечностей в большинстве наблюдений достигало 4 из 5 баллов (7 случаев),

- стойкое повышение уровня мочевой кислоты (в среднем $601,7 \pm 66,6$ мкмоль/л), СРБ ($59,5 \pm 23,6$ мг/л) и лейкоцитов (до $15,7 \pm 6,4 \times 10^9$ /л).

- важным аспектом дифференциальной диагностики хронического неспецифического спондилита на фоне подагры являлась низкая информативность дооперационной трепанобиопсии из очага вертебральной деструкции, ко-

торая ни в одном случае (как по данным нашей клинической серии, так и по данным литературы) не позволила установить этиологический диагноз. Характеристика работ представлена в таблице 2.

Многообразие клинических форм поражения позвоночника при подагре подразумевает различные изменения, выявляемые при спондилографии, МРТ и СКТ [8, 9, 26, 27, 28]. Лучевая картина подагрического спондилоартрита неспецифична, схожа с проявлениями неспецифического спондилодисцита и эпидурита, однако в большинстве случаев отмечали многоуровневые интраканальные экстрадуральные образования с формированием стеноза позвоночного канала и мягкотканые компоненты (тофусы) в проекции остистых отростков [13]. Особенности МР-диагностики сводятся к визуализации признаков уплотнения и неоднородности параартикулярных мягких тканей и эрозии фасеточных суставов с сопутствующим выпотом. МРТ позволяет обнаружить поражение межпозвоночных суставов, степень компрессии спинного мозга и его элементов, а также контролировать эффективность терапии подагры благодаря возможности оценивать размеры и количество тофусов в динамике [18].

Таблица 2

Характеристика работ, включенных в систематический обзор

Автор	Случаи	Уровень	Клиника, тактика лечения	Исход
Yoon J.W. et al., 2013 [13]	1	Th5-7	64 года, ДП — 8 лет, нижний парапарез (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль, лейкоцитоз, мочевая кислота — 612 мкмоль/л. СКТ, МРТ — интраканальное экстрадуральное образование Th6-7, очаговая деструкция дугоотростчатого сустава Th6-7 слева. Ламинэктомия Th5-7, фасэктомия слева Th6-7, ревизия эпидурального пространства, резекция образования, транспедикулярная фиксация Th5-7. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого синдрома, положительная неврологическая динамика
Елисеев М.С. с соавт., 2013 [3]	2	L3-5; L4-5	1) 28 лет, ДП — 3 года, корешковый болевой синдром в правой ноге, вертеброгенная боль, мочевая кислота — 547 мкмоль/л. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование L3-5. Аллопуринол 300 мг/сут., безбромарон 50 мг/сут. Гистологическая верификация (синовиальная жидкость, пястно-фаланговый сустав) — кристаллы МУН. 2) 30 лет, ДП — 7 лет, корешковый болевой синдром в правой ноге, вертеброгенная боль, мочевая кислота 626 мкмоль/л. КТ, МРТ — литическая деструкция задней колонны L3-5, преимущественно в правых отделах. Гистологическая верификация (биопсия задней колонны) — кристаллы МУН. Аллопуринол 200 мг/сут.	В обоих наблюдениях — купирование вертеброгенного и корешкового болевых синдромов
Zheng Z.F. et al., 2015 [26]	1	Th1-5	56 лет, ДП — 12 лет, нижний парапарез (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль, СРБ — 12,9 мг/л. СКТ, МРТ — интраканальное экстрадуральное образование Th3-4. Ламинэктомия Th1-5, ревизия эпидурального пространства, резекция образования. Аллопуринол. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого синдрома, положительная неврологическая динамика.
Kim T. et al., 2017 [10]	1	L5	35 лет, ДП — 8 мес., корешковый и вертеброгенный болевой синдром. СКТ — деструкция корня дуги L5 слева, МРТ — интраканальное экстрадуральное образование фораминального отверстия L5-S1 слева. Гемиламинэктомия L5 слева, радикулолиз, удаление объемного образования. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование вертеброгенного и корешкового болевых синдромов
Ding Y. et al., 2017 [27]	1	Th9-11	36 лет, ДП — 2 года, нижний парапарез (3 из 5 баллов), вертеброгенная боль, мочевая кислота — 667 мкмоль/л. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование Th9-10. Ламинэктомия Th9-10, ревизия эпидурального пространства, резекция образования. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого синдрома, в неврологическом статусе — без динамики
Lu H. et al., 2017 [17]	1	L2-4	68 лет, ДП — 10 лет, нижний монопарез справа (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль, мочевая кислота — 544,9 мкмоль/л, СРБ — 1,59 мг/л. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование в проекции фораминального отверстия L4-5 справа. Трансфораменальная резекция межпозвонковых дисков L2-5, ревизия, санация эпидурального пространства, межтеловой спондилолиз, транспедикулярная фиксация L2-5. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование вертеброгенного болевого синдрома, положительная неврологическая динамика

Окончание таблицы 2

Автор	Случаи	Уровень	Клиника, тактика лечения	Исход
Ribeiro da Cunha P. et al., 2018 [20]	1	L3-4	77 лет, ДП — 6 мес, нижний парапарез (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование L3-4. Ламинэктомия L3-4, ревизия эпидурального пространства, резекция образования. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование вертеброгенного болевого синдрома, положительная неврологическая динамика
Cheng C.W. et al., 2018 [6]	1	C4-Th3	23 года, ДП — 6 лет, нижний парапарез тип В ASIA, вертеброгенная боль, полиартрит, лейкоцитоз — $12,7 \times 10^9/\text{л}$, СРБ — 122,5 мг/л. МРТ — эпидурит C4-Th11. Многоуровневая ламинотомия, санация эпидурального пространства, парентеральная антибактериальная терапия (ванкомицин) 6 нед., преднизолон. Верификация — поляризирующая микроскопия операционного материала, бактериологическая верификация <i>S. warneri</i>	Купирование болевого синдрома, положительная неврологическая динамика (усиление мышечной силы в нижних конечностях, вертиказация с использованием опоры)
Dwarki K. et al., 2018 [28]	1	L3-5	26 лет, ДП — 4 месяца, нижняя параллелия тип А ASIA с нарушением функции тазовых органов, вертеброгенная боль. МРТ — эпидурит L3-5, абсолютный стеноз позвоночного канала L4-5, очаговая миелопатия Th8-9. Трепанобиопсия L4 и биопсия паравerteбральных тканей под КТ-навигацией. Бактериологическое исследование отрицательно. Гистологическая верификация — кристаллы МУН. Эмпирическая антибактериальная терапия (ванкомицин, цефепим) 6 нед., колхицин 0,6 мг/сут., аллопуринол 100 мг/сут., преднизолон	Купирование болевого синдрома, в неврологическом статусе — без положительной динамики. Разрешение эпидурита на фоне эмпирической антибактериальной терапии
Kao Y. et al., 2020 [15]	1	Th11-12	38 лет, ДП — 10 лет, вертеброгенная боль, парез межреберных мышц слева (вовлечение дерматомов Th10-12), мочевая кислота — 701 мкмоль/л, СРБ — 11 мг/л. СКТ, МРТ — стеноз позвоночного канала, дегенерация диска Th11-12. Ламинэктомия, фасетэктомия Th11-12, транспедикулярная фиксация. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого синдрома, сохранение пареза межреберных мышц слева.
Mishra R. et al., 2020 [11]	1	Th10-11	33 года, нижний парапарез (3 из 5 баллов справа, 4 из 5 баллов слева), вертеброгенная боль, лейкоцитоз — $22,2 \times 10^9/\text{л}$, моченая кислота — 11,4 мкмоль/л. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование Th10-11 с правосторонним расположением. Ламинэктомия Th9-11, ревизия эпидурального пространства, резекция образования. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого синдрома, нижний парапарез 4 из 5 баллов
Romero A.B. et al., 2021 [31]	1	C2	82 года, ДП — 40 лет, тетрапарез тип С ASIA, вертеброгенная боль, проводимая движением. СКТ — деструкция зуба C2, эпидуральный компонент, стеноз позвоночного канала. Противопоказания к хирургическому вмешательству со стороны сердечно-сосудистой системы. Иммунизация, колхицин 0,6 мг/сут., аллопуринол 300 мг/сут.	Купирование болевого синдрома, тетрапарез тип С ASIA, летальный исход через 2 мес. после верификации диагноза в связи с сопутствующей патологией

Thompson J.W. et al., 2021 [33]	1	S4-6, L4-5	71 год, ДП — 10 лет, синдром перемежающейся хромоты, вертеброгенный болевой синдром, тетрапарез с преимущественным снижением силы верхних конечностей (4 из 5 баллов), множественные периферические тофусы, лейкоцитоз — $9,8 \times 10^9/\text{л}$, СРБ — $11,4 \text{ мг/л}$, мочевая кислота ($>600 \text{ мкмоль/л}$). СКТ — интраканальное экстрадуральное образование С4-6. Биопсия акромиально-ключичного сочленения под ультразвуковой навигацией. Гистологическая верификация — кристаллы МУН. Колхицин 0,5 мг 2 раза в сут., аллопуринол 100 мг/сут., преднизолон	Купирование болевого синдрома, в неврологическом статусе — восстановление силы мышц конечностей. Нормализация уровня мочевой кислоты
Koro L. et al., 2021 [35]	1	Th8-10	35 лет, нижняя параплегия тип A ASIA с нарушением функций тазовых органов, вертеброгенная боль, СРБ — 11 мг/л . МРТ — интраканальное экстрадуральное образование на уровне Th8-10. Ламинэктомия Th9-10, ревизия и санация эпидурального пространства. Гистологическая верификация — кристаллы МУН. Эмпирическая антибактериальная терапия (ванкомицин, цефепим) 6 нед.	Купирование болевого синдрома, положительная неврологическая динамика, восстановление двигательной функции нижних конечностей и тазовых органов спустя 3 мес.
Chang P. et al., 2023 [35]	1	L4-5	47 лет, корешковый болевой синдром в правой ноге, вертеброгенная боль. МРТ — интраканальное экстрадуральное образование на уровне L4-5. Ламинэктомия L4-5, ревизия и санация эпидурального пространства, трансстедиккулярная фиксация L4-5. Гистологическая верификация — кристаллы МУН. Колхицин	Купирование болевого и неврологического синдромов
Xian E.T.W. et al., 2023 [14]	1	L2-4	60 лет, нижний парапарез (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль, лейкоцитоз — $23,02 \times 10^9/\text{л}$, мочевая кислота — 526 мкмоль/л , СРБ — 144 мг/л . МРТ — эпидурит L2-S1, интраканальное экстрадуральное образование на уровне L2-4. Ламинэктомия L2-S1, ревизия и санация эпидурального пространства. Колхицин 0,5 мг/сут., фебуксостат 80 мг/сут. Гистологическая верификация — кристаллы МУН	Купирование болевого и неврологического синдромов
Jazaib Ali M.U. et al., 2023 [21]	1	L4-5	67 лет, ДП — 20 лет, нижний парапарез (4 из 5 баллов), вертеброгенная боль. МРТ — стеноз позвоночного канала L4-5, гиперинтенсивный мягкотканый компонент в проекции остистых отростков на уровне L3-5 (парапинальное расположение). Ламинэктомия L3-5, ревизия и санация эпидурального пространства, резекция тофусов параспинальной локализации	Купирование болевого и неврологического синдромов

* — диагностическая пауза от момента появления первых симптомов подгипрического спондилоартрита до диагностики инфекционного спондилита; ** — нарушение функций тазовых органов.

Компьютерная томография (в сравнении с УЗИ и МРТ) позволяет более точно дифференцировать тофусные массы и оценить степень разрушения позвонков. Одну из первых работ по изучению лучевой картины тофусного поражения позвоночника провели R.M. Konatalapalli с соавторами [29]. В последующих работах было показано, что чувствительность СКТ при подагре составляет 87–90%, а его специфичность — 83–84% [30, 31]. В представленной нами клинической серии при СКТ и МРТ выявлены типичные признаки подагрического аксиального поражения позвоночника: эрозии субхондральных пластин позвонков и суставов, признаки депозитов уратов в виде тофусов, локализующиеся как внутрикостно, так и в области дугоотростчатых суставов и параартикулярных тканей.

Современные подходы к хирургическому лечению подагрических спондилоартритов заключаются в выполнении декомпрессивной ламинэктомии с одновременной ревизией позвоночного канала и удалением параартикулярных и эпидуральных тофусов [32, 33, 34, 35]. При наличии вертеброгенной нестабильности операция дополнялась транспедикулярной стабилизацией [13, 15, 17].

Избранная нами тактика ведения пациентов с инфекционными спондилитами на фоне подагры, включающая комбинацию хирургического лечения и консервативной гипоурикемической и этиотропной антибактериальной терапии согласуется с современными принципами лечения данной группы пациентов [4, 14, 27, 31]. При этом мы отдавали предпочтение 360° (в случаях наличия трехколонной деструкции) и 180° (в условиях изолированного поражения передней колонны) реконструкциям, что согласуется с опытом, накопленным в клинике и данными литературы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Эрдес Ш.Ф., Ребров А.П., Дубинина Т.В., Бадочкин В.В., Бочкова А.Г., Бугрова О.В. и др. Спондилоартриты: современная терминология и определения. *Терапевтический архив*. 2019;91(5): 84–88. doi: 10.26442/00403660.2019.05.000208.

В свою очередь тактика применения антибактериальной терапии, по данным литературы, базируется на эмпирическом подходе ввиду крайне низкой частоты верификации возбудителя, препаратами выбора являются трициклические гликопептиды (ванкомицин) и цефалоспорины 3–4-го поколения [6, 28, 34]. Необходимо отметить, что в отличие от данных литературы в исследуемой нами клинической серии бактериологическое исследование операционного послеоперационного материала позволило выявить различные штаммы золотистого и эпидермального стафилококка (в том числе 3 случая нозокомиальной инфекции: MRSA, MRSE) и назначить этиотропную антибактериальную терапию с учетом лекарственной чувствительности возбудителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание хронического неспецифического спондилита и подагры является редкой и мало описанной в литературе патологией. Длительная терапевтическая пауза, хронический характер вертеброгенного болевого синдрома в сочетании с повышением уровня мочевой кислоты и образованием тофусов вертебральной локализации — отличительные особенности заболевания, выявленные в ходе анализа собственного клинического материала. Неврологические нарушения при сочетании спондилита и подагры возникают вследствие стеноза позвоночного канала по причине двух факторов — эпидуральных абсцессов и тофусов. Достижение локального контроля сочетанной патологии возможно при комбинации хирургического вмешательства и длительного приема гипоурикемических препаратов.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

Erdes Sh.F., Rebrov A.P., Dubinina T.V., Badochkin V.V., Bochkova A.G., Bugrova O.V. et al. Spondyloarthritis: modern terminology and definitions. *Therapeutic Archive*. 2019;91(5):84–88. doi: 10.26442/00403660.2019.05.000208. (In Russian).

2. Roddy E., Choi H.K. Epidemiology of gout. *Rheum Dis Clin North Am*. 2014;40(2):155–175. doi: 10.1016/j.rdc.2014.01.001.

3. Елисеев М.С., Мукагова М.В., Смирнов А.Н., Раденска-Лоповок С.Г., Божьева Л.А., Барскова В.Г. Атипичная подагра: тофусное поражение позвоночника. *Научно-практическая ревматология*. 2013;51(5):586-589. doi: 10.14412/1995-4484-2013-1553. Eliseev M.S., Mukagova M.V., Smirnov A.V., Radenska-Lopovok S.G., Bozhyeva L.A., Barskova V.G. Atypical gout: spinal tophaceous injury. *Rheumatology Science and Practice*. 2013;51(5):586-589. (In Russian).
4. Громова М.А., Цурко В.В. Новые рекомендации Американской коллегии ревматологов по ведению больных подагрой (2020). Комментарии к некоторым позициям. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2021; 5(2):89-95. doi: 10.32364/2587-6821-2021-5-2-89-95. Gromova M.A., Tsurko V.V. New recommendations of the American College of Rheumatology for the patient management with gout (2020). Review on some points. *Russian Medical Inquiry*. 2021;5(2):89-95. (In Russian).
5. Вишневецкий А., Кучинский К. Неспецифический остеомиелит позвоночника (НОП) у пациента с первичной подагрой на фоне синдрома Леша–Найхана (СЛН): описание клинического случая и обзор литературы. *Гений ортопедии*. 2020;26(1):103-107. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-103-107. Vishnevskii A., Kuchinskii K. Nonspecific osteomyelitis of the spine (NOS) in a patient with primary gout due to Lesch–Nyhan syndrome (LNS): case description and literature review. *Genij Ortopedii*. 2020;26(1): 103-107. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-103-107. (In Russian).
6. Cheng C.W., Nguyen Q.T., Zhou H. Tophaceous gout of the cervical and thoracic spine with concomitant epidural infection. *AME Case Rep*. 2018;10(2):35. doi: 10.21037/acr.2018.07.01.
7. Jegapragasan M., Calniquer A., Hwang W.D., Nguyen Q.T., Child Z. A case of tophaceous gout in the lumbar spine: a review of the literature and treatment recommendations. *Evid Based Spine Care J*. 2014;5(1): 52-56. doi: 10.1055/s-0034-1366979.
8. Elgafy H., Liu X., Herron J. Spinal gout: A review with case illustration. *World J Orthop*. 2016;18(7):766-775. doi: 10.5312/wjo.v7.i11.766.
9. Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Мушкин А.Ю., Макогнонова М.Е. Хронические инфекционные поражения шейного отдела позвоночника у взрослых: анализ моноцентровой когорты и данных литературы. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(3):68-76. doi: 10.14531/ss2021.3.68-76. Naumov D.G., Tkach S.G., Mushkin A.Yu., Makogonova M.E. Chronic infectious lesions of the cervical spine in adults: monocentric cohort analysis and literature review. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2021;18(3):68-76. doi: 10.14531/ss2021.3.68-76. (In Russian).
10. Kim T., Kim B.J., Kim S.H., Lee S.H. Tophaceous gout in the lumbar spinal canal mimicking epidural spinal tumor. *Korean J Spine*. 2017;14(2):50-52. doi: 10.14245/kjs.2017.14.2.50.
11. Mishra R., Panigrahi V.P., Adsul N., Jain S., Chahal R.S., Kalra K.L. et al. Tophaceous gout in thoracic spine mimicking meningioma: A case report and literature review. *Surg Neurol Int*. 2020;29(11):364. doi: 10.25259/SNI_515_2020.
12. Наумов Д.Г., Вишневецкий А.А., Ткач С.Г., Аветисян А.О. Эхинококковое поражение шейно-грудного отдела позвоночника у беременной: клинический случай и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):102-110. doi: 10.21823/2311-2905-1668. Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O. Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(4):102-110. doi: 10.21823/2311-2905-1668. (In Russian).
13. Yoon J.W., Park K.B., Park H., Kang D.H., Lee C.H., Hwang S.H. et al. Tophaceous gout of the spine causing neural compression. *Korean J Spine*. 2013;10(3):185-188. doi: 10.14245/kjs.2013.10.3.185.
14. Xian E.T.W., Xian S.K.S., Ming Y.P. A unique presentation of acute tophaceous gout in the lumbar spine causing cauda equina syndrome. *Radiol Case Rep*. 2023;14;18(9):3341-3345. doi: 10.1016/j.radcr.2023.06.070.
15. Kao Y., Wang Z., Leng J., Qu Z., Zhuang X., Ma H. et al. Thoracic gout tophus with abdominal wall protrusion: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(10):e19348. doi: 10.1097/MD.00000000000019348.
16. Kuo C.-F., Grainge M.J., Mallen C., Zhang W., Doherty M. Rising burden of gout in the UK but continuing suboptimal management: A nationwide population study. *Ann Rheum Dis*. 2015;74(4):661-667. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204463.
17. Lu H., Sheng J., Dai J., Hu X. Tophaceous gout causing lumbar stenosis: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(32):e7670. doi: 10.1097/MD.0000000000007670.
18. Toprover M., Krasnokutsky S., Pillinger M.H. Gout in the spine: imaging, diagnosis, and outcomes. *Curr Rheumatol Rep*. 2015;17(12):70. doi: 10.1007/s11926-015-0547-7.
19. Kersley G.D., Mandel L., Jeffrey M.R. Gout, an unusual case with softening and subluxation of the first cervical vertebra and splenomegaly: result of ACTH administration and eventual post-mortem findings. *Ann Rheumat Dis*. 1950;9(4):282-304. doi: 10.1136/ard.9.4.282.
20. Ribeiro da Cunha P., Peliz A.J., Barbosa M. Tophaceous gout of the lumbar spine mimicking a spinal meningioma. *Eur Spine J*. 2018;27(4):815-819. doi: 10.1007/s00586-016-4831-7.
21. Jazaib Ali M.Y., Hussain M. Case of lumbar spinal stenosis and chronic tophaceous gout. *Surg Neurol Int*. 2023;14:294. doi: 10.25259/SNI_504_2023.
22. de Mello F.M., Helito P.V., Bordalo-Rodrigues M., Fuller R., Halpern A.S. Axial gout is frequently associated with the presence of current tophi, although not with spinal symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(25): E1531-1536. doi: 10.1097/BRS.0000000000000633.
23. Pola E., Autore G., Formica V.M., Pambianco V., Colangelo D., Cauda R. et al. New classification for the treatment of pyogenic spondylodiscitis: validation study on a population of 250 patients with a follow-up of 2 years. *Eur Spine J*. 2017;26(Suppl 4):479-488. doi: 10.1007/s00586-017-5043-5.
24. Fairbank J.C., Pynsent P.B. The Oswestry Disability Index. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(22):2940-2952. doi: 10.1097/00007632-200011150-00017.
25. Prinz V., Vajkoczy P. Surgical revision strategies for postoperative spinal implant infections (PSII). *J Spine Surg*. 2020;6(4):777-784. doi: 10.21037/jss-20-514.
26. Zheng Z.F., Shi H.L., Xing Y. et al. Thoracic cord compression due to ligamentum flavum gouty tophus: a case report and literature review. *Spinal Cord*. 2015;53(12):881-886. doi: 10.1038/sc.2015.93.
27. Ding Y., Wang W., Jiang W., Zhang L., Wang T., Li Z. Tophaceous gout causing thoracic spinal cord compression: Case report and review of the literature. *Neurochirurgie*. 2018;64(3):171-176. doi: 10.1016/j.neuchi.2017.11.002.

28. Dwarki K., Dothard A., Abadie B., Miles M.C. Rogue one: a story of tophaceous gout in the spine. *BMJ Case Rep.* 2018;bcr2017221163. doi: 10.1136/bcr-2017-221163.
29. Konatalapalli R.M., Demarco P.J., Jelinek J.S., Murphey M., Gibson M., Jennings B. et al. Gout in the axial skeleton. *J Rheumatol.* 2009;36(3):609-613. doi: 10.3899/jrheum.080374.
30. Ogdie A., Taylor W.J., Weatherall M., Fransen J., Jansen T.L., Neogi T. et al. Imaging modalities for the classification of gout: Systematic literature review and metaanalysis. *Ann Rheum Dis.* 2015;74(10):1868-1874. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205431
31. Bongartz T., Glazebrook K.N., Kavros S.J., Murthy N.S., Merry S.P., Franz W.B. 3rd et al. Dual-energy CT for the diagnosis of gout: An accuracy and diagnostic yield study. *Ann Rheum Dis.* 2015;74(6):1072-1077. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-205095.
32. Romero A.B., Johnson E.P., Kirkpatrick J.S. Tophaceous gout of the atlantoaxial joint: a case report. *J Med Case Reports.* 2021;15(1):74. doi: 10.1186/s13256-020-02638-9.
33. Thompson J.W., Srinivasan S., Makkuni D. Chronic tophaceous gout mimicking widespread metastasis. *BMJ Case Rep.* 2021;14(5):e236166. doi: 10.1136/bcr-2020-236166.
34. Koro L., Khanna R., Richards D., Karahalios D.G. Gout in the thoracic spine causing acute paraplegia: illustrative case. *J Neurosurg Case Lessons.* 2021;2(9):CASE21308. doi: 10.3171/CASE21308.
35. Chang P., Rogowski B.C., Aziz K.A., Bharthi R., Valls L., Esplin N. et al. Foraminal stenosis and radiculopathy secondary to tophaceous gout: illustrative case. *J Neurosurg Case Lessons.* 2023;6(26):CASE23298. doi: 10.3171/CASE23298.

Сведения об авторах

✉ Наумов Денис Георгиевич — канд. мед. наук

Адрес: Россия, 191036, г. Санкт-Петербург,
Лиговский пр., д. 2-4

<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>

e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Вишневецкий Аркадий Анатольевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-9186-6461>

e-mail: vichnevsky@mail.ru

Щелкунов Михаил Михайлович

<https://orcid.org/0000-0002-6305-6023>

e-mail: mm.shelkunov1881@yandex.ru

Новицкая Татьяна Александровна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0001-5137-5126>

e-mail: ta.novitskaya@spbniif.ru

Authors' information

✉ Denis G. Naumov — Cand. Sci. (Med.)

Address: 2-4, Ligovsky av., St. Petersburg, 191036, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>

e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Arkadiy A. Vishnevskiy — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9186-6461>

e-mail: vichnevsky@mail.ru

Mikhail M. Shchekunov

<https://orcid.org/0000-0002-6305-6023>

e-mail: mm.shelkunov1881@yandex.ru

Tatiana A. Novitskaya — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-5137-5126>

e-mail: ta.novitskaya@spbniif.ru

Искусственный интеллект в травматологии и ортопедии. Реальность, фантазии или обман?

А.П. Серeda^{1,2}, А.А. Джавадов¹, А.А. Черный¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия

Реферат

Введение. В последние годы тема искусственного интеллекта (ИИ) в медицине весьма активно обсуждается как решение не просто перспективное, но и позволяющее улучшить какие-то результаты. Значительный рост интереса к системам ИИ в мире начался в первой половине — середине 2010-х гг., что позволило рассматривать вопрос применения таких систем на практике.


Цель исследования — провести анализ всех зарегистрированных в нашей стране как медицинское изделие программных продуктов, в том числе с технологией искусственного интеллекта, и оценить их применимость в области травматологии и ортопедии.


Материал и методы. В исследование были включены все программные продукты, имеющие регистрационное удостоверение медицинского изделия по коду ОКПД2 58.29.XX.XXX (Услуги по изданию прочего программного обеспечения). В государственном реестре медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей), осуществляющих производство и изготовление медицинских изделий, по состоянию на 14 февраля 2024 г. по критерию включения мы обнаружили 111 зарегистрированных программных продуктов.

Результаты. Все зарегистрированные программные продукты мы предложили классифицировать следующим образом: системы, работающие с изображениями стандарта DICOM (47 шт., 42%), с лабораторными данными (20 шт., 18%), с изображениями при микроскопии (7 шт., 6%), с фотоизображениями (5 шт., 5%), медицинские информационные системы (4 шт., 4%), системы анализа текстовых данных (3 шт., 3%), системы поддержки принятия врачебных решений (3 шт., 3%), анализа ЭКГ/Холтер (2 шт., 2%), иные системы (16 шт., 14%). Систем, применимых в области травматологии и ортопедии, оказалось 4 шт. (4%).

Заключение. К сожалению, реальную применимость существующих решений в области травматологии и ортопедии можно расценить как минимальную в сравнении с пульмонологией, онкологией, лабораторной диагностикой, где программы с искусственным интеллектом уже добились значительных успехов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ПО, PACS, DICOM.

 **Для цитирования:** Серeda А.П., Джавадов А.А., Черный А.А. Искусственный интеллект в травматологии и ортопедии. Реальность, фантазии или обман? *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):181-191. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17468>.

 Черный Александр Андреевич; e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Рукопись получена: 16.02.2024. Рукопись одобрена: 27.04.2024. Статья опубликована: 20.06.2024.

© Серeda А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., 2024



Artificial Intelligence in Traumatology and Orthopedics. Reality, Fantasy or False Hopes?

Andrei P. Sereda^{1,2}, Alisagib A. Dzhavadov¹, Alexander A. Cherny¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Abstract

Background. In recent years, the topic of artificial intelligence (AI) in medicine has been actively discussed not just as a promising solution but the one that can help to improve some results. A significant growth of interest in AI systems all over the world began in the early-mid 2010s, which allowed us to consider the practical application of such systems.

The aim of the study is to analyze all the software products (SP) registered in our country as a medical device, including those with AI technology, and to evaluate their applicability in traumatology and orthopedics.

Methods. The study included all the SP having a registration certificate of a medical device according to the OKPD2 code 58.29.XX.XXX (services for publishing other software). In the state register of medical devices and organizations (individual entrepreneurs), which is engaged in the production and manufacturing of medical devices, we found 111 registered SP according to the inclusion criterion, as at February 14, 2024.

Results. We proposed to categorize all registered SP as follows: systems working with the DICOM standard images (47 pcs, 42%), laboratory data (20 pcs, 18%), microscopy images (7 pcs, 6%), photographic images (5 pcs, 5%), medical information systems (4 pcs, 4%), text data mining systems (3 pcs, 3%), clinical decision support systems (3 pcs, 3%), Holter ECG analysis (2 pcs, 2%), other systems (16 pcs, 14%). Systems applicable to traumatology and orthopedics accounted for 4 pcs (4%).

Conclusions. Unfortunately, the real-world applicability of existing solutions in the field of traumatology and orthopedics can be regarded as minimal in comparison with pulmonology, oncology, and laboratory diagnostics, where AI programs have already achieved significant success.

Keywords: artificial intelligence, software, PACS, DICOM.

Cite as: Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A. Artificial intelligence in traumatology and orthopedics. Reality, fantasy or false hopes? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):181-191. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17468>.

✉ Alexander A. Cherny; e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Submitted: 16.02.2024. Accepted: 27.04.2024. Published: 20.06.2024.

© Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., 2024

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы тема искусственного интеллекта (ИИ) в медицине весьма активно обсуждается в новостной ленте, в регуляторном сообществе, и по манере подачи информации ньюсмейкерами и журналистами не просто перспективна, а уже позволяет улучшить какие-то результаты.

Значительный рост интереса к системам ИИ в мире начался в первой половине — середине 2010-х гг. За интересом последовали значительные инвестиции, которые позволили выходить на конечный продукт и рассматривать вопрос применения таких систем на практике.

В конце 2016–2019 гг. существовал некий пражообразный вакуум, который подразумевал возможность использования в медицине тех или иных компьютерных программ, реализующих технологии ИИ, без необходимости их регистрации как изделия медицинского назначения.

С 2020 г. регистрационное удостоверение медицинского изделия для программ с использованием технологий ИИ в медицине стало обязательным. В апреле 2020 г. была зарегистрирована первая программа — сервис поддержки принятия врачебных решений в области терапии, кардиологии Webiomed, разработанный резидентом «Сколково» — компанией «К-Лаб»¹, а в августе 2020 г. был зарегистрирован сервис Botkin.AI компании «Интеллоджик» для диагностики COVID-пневмоний по данным DICOM изображений. Начался бум развития программных продуктов. Инвестиции в эту отрасль поражают воображение. Например, Botkin.AI суммарно привлек более 150 млн руб.^{2,3} на разработку систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в рамках конкурса Национальной технологической инициативы AI'm Doctor было направлено 200 млн руб.⁴, телемедицинская платформа Medsender.AI резидента «Сколково» компании «АйПат» — 60 млн руб.⁵ и так далее.

При этом у того же сервиса Botkin.AI позже регистрационное удостоверение было отозвано «в связи с угрозой причинения вреда жизни и здоровью граждан», причем приостановка работы сервиса не повлияла на лечебный процесс: «специалисты призывают не рассматривать серьезно ни работу, ни приостановку работы Botkin.AI — особого значения в деятельности врачей она не имела»⁶; на сайте конкурса AI'm Doctor нам не удалось обнаружить сведения о результатах, а сведений о регистрации Medsender.AI нам не удалось найти совсем.

Тернистый путь инноваций всегда имеет стадию умирания части проектов, и это нормально. Невозможно изменить стандартные этапы внедрения: надежд, рискованных пионеров, венчурных проектов, схлопывания мыльных пузырей, выживших после первого кризиса, внедренных впоследствии и окончательно выживших.

Инвестиции в сферу ИИ в медицине продолжаются. В 2023 г. субъектам Российской Федерации разрешено закупать системы с ИИ за счет средств федерального проекта «Создание единого цифрового контура на основе ЕГИСЗ». В 2023 г. суммарный объем закупок по этому проекту составил 450 млн рублей, закупки в 2024 г. продолжаются. Наиболее крупные по финансовым показателям поставщики решений: Care Mentor AI, «Цельс», «Платформа Третье Мнение», Webiomed, Sber Med AI, «ЮСАР+», «ФтизисБиоМед», «Радлоджикс РУС». В 2024 г. ИИ-диагностику при проведении маммографии в качестве «второго мнения» разрешено оплачивать по ОМС⁷.

В любом случае животрепещущая и активно развивающаяся тема компьютерных программ и ИИ заслуживает интереса и анализа на предмет возможностей и существующих решений в области травматологии и ортопедии.

Цель — провести анализ всех зарегистрированных в нашей стране как медицинское изделие программных продуктов, в том числе с технологией искусственного интеллекта, и оценить их применимость в области травматологии и ортопедии.

¹ ИИ-система поддержки врачебных решений впервые получила регистрацию как медизделие. URL: <https://vademec.ru/news/2020/04/23/ii-sistema-podderzki-vrachebnykh-resheniy-vpervye-poluchila-registratsiyu-kak-medizdelie/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

² Зарегистрировано первое программное обеспечение с ИИ для анализа медицинских снимков. URL: <https://vademec.ru/news/%3E/news/2020/11/05/zaregistrirvano-pervoe-programmnoe-obespechenie-s-ii-dlya-analiza-meditsinskikh-snimkov/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

³ Сервис Botkin.AI за 51,8 млн рублей внедрили в «Открытую клинику». URL: <https://vademec.ru/news/2022/06/21/servis-botkin-ai-za-51-8-mln-rublej-vnedrili-v-otkrytuyu-kliniku/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

⁴ На разработку ИИ-систем для постановки диагноза направят 200 млн рублей. URL: <https://vademec.ru/news/2022/05/11/narazrabotku-ii-sistem-dlya-postanovki-diagnoza-napravyat-200-mln-rublej-/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

⁵ Медцентр «XXI век» внедрил ИИ-платформу Medsender за 60 млн рублей. URL: <https://vademec.ru/news/2023/04/20/medtsentr-xxi-vek-vnedril-ii-platformu-medsenger-za-60-mln-rublej/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

⁶ «Ъ»: Росздравнадзор приостановил применение медицинского искусственного интеллекта Botkin.AI. URL: <https://www.bfm.ru/news/538472> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

⁷ Минздрав: в 2023 году регионы приобрели 106 медизделий с ИИ на 450 млн рублей. URL: <https://vademec.ru/news/news/2024/02/08/minzdrav-v-2023-godu-regiony-priobreli-106-medizdeliy-s-ii-na-450-mln-rublej/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование были включены все программные продукты, имеющие регистрационное удостоверение медицинского изделия по коду ОКПД2 58.29.XX.XXX (Услуги по изданию прочего программно-го обеспечения).

В государственном реестре медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей), осуществляющих производство и изготовление медицинских изделий, по состоянию на 14 февраля 2024 г. по критерию включения мы обнаружили 111 зарегистрированных программных продуктов. Пик даты их регистрации пришелся на 2021–2022 гг. (рис. 1), 59,5% программ оказались отечественными, а 40,5% — зарубежными (табл. 1).

Часть программ, используемых в медицине, была зарегистрирована ранее 2017 г., когда была

возможна регистрация по коду ОКП, а не ОКПД2. В 2009–2017 гг. по кодам ОКП были зарегистрированы многие медицинские и лабораторные информационные системы, соответственно, они не попадают под наш критерий включения. Однако мы не видим в этом ограничений для нашего исследования, поскольку эра развития ИИ наступила позже.

Критерии исключения — не применялись.

После формирования группы из 111 программных продуктов для каждого из них был осуществлен последовательный поиск и изучение:

- информации на сайте производителя;
- информации в руководствах по применению;
- информации о научных публикациях на сайте производителя;
- научных публикаций в PubMed и eLIBRARY по каждому программному продукту.

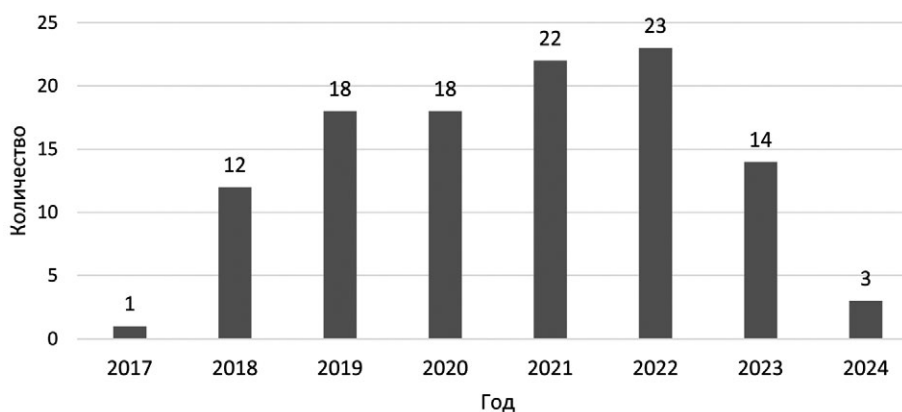


Рис. 1. Распределение программных продуктов по дате регистрации как медицинского изделия

Fig. 1. Distribution of software products by the date of their registration as a medical device

Таблица 1

Распределение зарегистрированных программных продуктов по месту нахождения организации-производителя

Локация производителя	Кол-во зарегистрированных программ	%	Локация производителя	Кол-во зарегистрированных программ	%
Россия	66	59,5	Новосибирск	1	0,9
Москва	40	36,0	Зарубежные страны	45	40,5
Санкт-Петербург	6	5,4	США	15	13,5
Калуга	3	2,7	Германия	9	8,1
Екатеринбург	2	1,8	Нидерланды	4	3,6
Петрозаводск	2	1,8	Швеция	4	3,6
Московская область	2	1,8	Франция	3	2,7
Воронеж	2	1,8	Япония	3	2,7
Якутск	1	0,9	Канада	1	0,9
Татарстан	1	0,9	Швейцария	1	0,9
Пермь	1	0,9	Норвегия	1	0,9
Красноярск	1	0,9	Италия	1	0,9
Казань	1	0,9	США/Германия	1	0,9
Ижевск	1	0,9	США/Бельгия	1	0,9
Нижний Новгород	1	0,9	Литва	1	0,9
Ставрополь	1	0,9	Итого	111	100,0

В ходе этапа поиска информации мы оценивали преимущественный программный принцип работы, предложив свою классификацию, наличие элементов ИИ, а также область клинического применения, и определяли пригодность применения для оказания медицинской помощи пациентам травматолого-ортопедического профиля.

Под элементами ИИ мы понимали возможность любого автоматического или полуавтоматического анализа медицинских данных с получением результатов измерений, описаний или рекомендаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Все зарегистрированные программные продукты мы предложили классифицировать следующим образом (табл. 2): системы, работающие с изображениями стандарта DICOM (47 шт., 42%), с лабораторными данными (20 шт., 18%), с изображениями при микроскопии (7 шт., 6%), с фотоизображениями (5 шт., 5%), медицинские информационные системы (4 шт., 4%), системы анализа текстовых данных (3 шт., 3%), СППВР (3 шт., 3%), анализа ЭКГ/Холтер (2 шт., 2%), иные системы (16 шт., 14%). Систем, применимых в области травматологии и ортопедии, оказалось 4 шт. (4%).

Таблица 2

Зарегистрированные программные продукты, в том числе имеющие признаки ИИ (отмечены *)

Преимущественный программный принцип работы / клиническое направление	Кол-во		Преимущественный программный принцип работы / клиническое направление	Кол-во	
	шт.	%		шт.	%
<i>Системы, работающие с изображениями стандарта DICOM, с указанием направленности модуля ИИ</i>	47	42%	<i>Системы, работающие с фотоизображениями</i>	5	5%
PACS без модулей ИИ	20	18%	*Эндоскопические изображения	2	2%
*PACS пульмонология	10	9%	*Дерматология	1	1%
*PACS маммография	3	3%	*Офтальмология	2	2%
*PACS стоматология	3	3%	<i>Медицинская информационная система (МИС)**</i>	4	4%
*PACS лучевая терапия	2	2%	<i>Травматология и ортопедия</i>	4	4%
*PACS онкология, таргетная биопсия	2	2%	*Ортопедия	4	4%
*УЗИ кардиология	2	2%	<i>Системы анализа текстовых данных</i>	3	3%
*PACS пульмонология, печень, почки	1	1%	*Поликлиника	3	3%
*PACS пульмонология, гинекология, онкология	1	1%	<i>Система поддержки принятия врачебных решения (СППВР)</i>	3	3%
*PACS головной мозг	1	1%	*СППВР дерматология	1	1%
*PACS кардиология	1	1%	*СППВР онкология	1	1%
*PACS онкология	1	1%	*СППВР терапия	1	1%
<i>Системы, работающие с лабораторными данными</i>	20	18%	<i>Системы анализа ЭКГ/Холтер</i>	2	2%
Лабораторная информационная система (ЛИС)**	16	14%	*ЭКГ	2	2%
*Антикоагулянтная терапия	1	1%	<i>Иные системы</i>	16	14%
*Гематология	2	2%	Анестезиология	3	3%
*Сахарный диабет	1	1%	*Дистанционная термометрия	1	1%
<i>Системы, работающие с изображениями при микроскопии</i>	7	6%	*Кардиология	2	2%
*Генетика	1	1%	Контроль лучевой нагрузки	1	1%
*Общая микроскопия	2	2%	Психофизиология	3	3%
*Микроскопия онкология	3	3%	*Стоматология	4	4%
*Спермограмма	1	1%	*Терапия	1	1%
			Хранение данных	1	1%
			Общий итог	111	100%

* Содержит элементы ИИ.

** Зарегистрированных МИС и ЛИС (лабораторная информационная система) на самом деле больше, так как они были зарегистрированы в 2009–2017 гг. до введения кодов ОКПД2.

Оказалось, что подавляющее большинство (60%) программных продуктов реализуют принцип работы с хорошо оцифровываемыми исходными данными, к которым относятся данные лабораторных исследований и снимки DICOM. Чем больше информация уходит в сторону от измеримых цифрой данных к текстовым и неструктурированным данным — тем ниже возможности программ и, что логично, таких программ меньше.

Четыре обнаруженных нами программы, пригодных к применению в области травматологии и ортопедии, оказались следующими:

- комплекс программный для воссоздания поврежденных костных элементов на базе трехмерных данных магнитно-резонансной и компьютерной томографии (АО «Наука и инновации»);
- программное обеспечение «Система нейросетевая Care Mentor AI для определения продольного плоскостопия по данным боковой рентгенографии стопы под нагрузкой» (ООО «КэреМенторЭйАй»);
- программное обеспечение компьютерного планирования хирургического вмешательства PМЕ Planner (ООО «МЕДТЭК»);
- программное обеспечение компьютерного планирования хирургического вмешательства VonaPlanner (ООО «Бонабайт»).

Применительно к первому продукту «Комплекс программный для воссоздания поврежденных костных элементов на базе трехмерных данных магнитно-резонансной и компьютерной томографии» (АО «Наука и инновации») можем отметить, что на сайте самого АО «Наука и инновации», который является научным дивизионом ГК «Росатом», нам не удалось обнаружить ни одного упоминания об этом программном комплексе, соответственно, ни на этом сайте, ни на других сайтах нам не удалось обнаружить документации или презентации с описанием принципа работы, в PubMed и в eLIBRARY научные публикации также не обнаружены. Единственное упоминание сделано в статье «3D-технологии в медицине», опубликованной в нерецензируемом журнале «Аддитивные технологии». Эта статья представляет собой пресс-релиз VII Всероссийской научно-практической конференции «3D-технологии в медицине», которая проходила 17 февраля 2023 г. в Нижнем Новгороде по инициативе Ассоциации специалистов по 3D-печати в медицине [1]. К сожалению, никаких иных материалов, пригодных для анализа, нам обнаружить не удалось.

Второй продукт — Care Mentor AI⁸ Сервис для детекции продольного плоскостопия по рентгенограммам (ООО «КэреМенторЭйАй») — был

разработан совместно с сотрудниками ПМГМУ им. И.М. Сеченова и ПСПбГМУ им. И.П. Павлова. По утверждению разработчика, нейросеть проводит анализ рентгенологического исследования стопы в боковой проекции, определяет анатомические ориентиры и по ним измеряет угол свода стопы в градусах и высоту свода стопы в миллиметрах, описывает снимок по заданному протоколу, выдает заключение. В заключении указывается наличие или отсутствие продольного плоскостопия и его степень.

При изучении презентационных материалов на сайте разработчика⁹ мы с удивлением обнаружили, что программа работает с изображениями в формате JPG/PNG, а не DICOM. Поскольку изображение в таких форматах может быть без излишних хлопот сужено или расширено на любом смартфоне с соответствующим изменением угла продольного свода стопы, то возникают сомнения в возможности применения этой программы в части формулирования заключения в принципе, тем более что продольный угол стопы используется как элемент экспертной оценки.

Нам удалось обнаружить одну научную публикацию, посвященную «Care Mentor AI Сервис для детекции продольного плоскостопия» [2]. В своей работе авторы провели анализ большого числа рентгенограмм стопы и пришли к выводу, что программа работает не хуже врача, но при этом в 6000 раз быстрее него. Это утверждение нас весьма удивило. В частности, авторы описывают, что для измерения угла продольного свода стопы врачу требуется 667±72 сек., а программе — 0,1±0,02 сек. Нам сложно представить врача, который тратит на измерение продольного свода стопы 10 мин. Возможно, что авторы закладывали в это время и написание протокола исследования, но использование в программе снимков JPG/PNG, а не DICOM, ставит под глубокое сомнение практическую применимость. Кроме того, в протоколе исследования все равно нужно проводить описание иных находок, а не только продольного угла стопы, на что программа не способна. Для работы в этой программе пользователю предлагается принцип загрузки изображения drag-and-drop. Соответственно, сначала врачу нужно открыть снимки пациента в DICOM, сохранить изображение в JPG, затем открыть программу Care Mentor AI и загрузить туда изображение рентгенограммы. Все это, очевидно, приведет к тому, что временные трудозатраты врача при использовании этой программы только вырастут. Мы провели сравнение времени, затрачиваемого на измерение угла по классическому варианту «DICOM-инструмент угол» и «измерить угол

⁸ URL: https://mosmed.ai/en/service_catalog/carementorai/ (дата обращения 15 февраля 2024 г).

⁹ URL: <https://carementor.ru/x-rayflatfoot> (дата обращения 15 февраля 2024 г).

в Care Mentor AI» на примере 5 рентгенограмм и обнаружили, что вариант Care Mentor AI увеличивает временные трудозатраты на 35 ± 6 сек., а не уменьшает их, как утверждают авторы статьи, причем работа с Care Mentor AI сопровождалась весьма раздражающими и отвлекающими внимание лишними кликами мышкой «сохранить» — «сменить программу» — «открыть» — «найти в проводнике» — «загрузить».

В целом мы весьма критично смотрим на любые попытки разработать тот или иной модуль анализа вне PACS-систем, т.е. вне той системы, в которой непосредственно врач смотрит снимки, так как это только приведет к увеличению нагрузки на врача.

Третий продукт — программное обеспечение компьютерного планирования хирургического вмешательства RME Planner (ООО «МЕДТЭК»)¹⁰. В регистрационном удостоверении в качестве производителя указано ООО «МЕДТЭК», но в других источниках производителем заявляется ООО «Полигон Медикал Инжиниринг». Имеются сведения о регистрации и окончании клинического исследования (клинического испытания медицинского изделия), однако эти результаты не были опубликованы в научной периодике и отсутствуют в открытом доступе. По всей видимости, это исследование исключительно для регистрационного досье. Из личного общения с генеральным директором ООО «Полигон Медикал Инжиниринг» Г.Е. Дженжерой стало известно, что планировщик RME Planner создавался совместно с НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, имеет направленность в области спинальной хирургии, но с 2018 г. практически не развивается, клинического применения не нашел, а основные усилия сейчас направлены на развитие следующего программного продукта — VonaPlanner (ООО «Бонабайт»). Мы смогли обнаружить одну научную публикацию по использованию RME Planner для планирования тройной остеотомии таза [3], однако в статье рассматриваются преимущественно клинические аспекты, а планировщик VonaPlanner упомянут в разделе «Материалы и методы».

Четвертый зарегистрированный программный продукт VonaPlanner (ООО «Бонабайт»)¹¹ создавался при активном участии сотрудников НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена и авторов настоящей публикации. VonaPlanner содержит модули планирования первичного и ревизионного эндопротезирования коленного сустава, корригирующих остеотомий. Эти модули создавались

в 2021–2023 гг. и в настоящее время проходят этап клинической апробации в НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, научных публикаций по этой теме пока нет.

Предварительные результаты апробации показывают, что из 40 рабочих мест положительно оценивают работу планировщика VonaPlanner 28 врачей (70%), при этом считают обязательным его использование в сложных случаях эндопротезирования 32 врача (80%), а в случае первичного эндопротезирования считают обязательным использование планировщика 9 врачей (22,3%). Среди минусов планировщика VonaPlanner мы можем отметить, что он не является полноценной PACS-системой и, соответственно, его использование представляет собой параллельное использование вместе с просмотрщиком снимков с соответствующими трудозатратами врача. Мы надеемся, что в скором времени VonaPlanner может быть интегрирован в одну из имеющихся PACS-систем, но пока этого не произошло.

Нам известны еще две системы планирования операций эндопротезирования, которые были зарегистрированы до введения кодов ОКПД2, и, соответственно, не попали согласно критериям включения в число 111 программных продуктов.

Первая из них создавалась при участии первого автора этой статьи в 2013–2014 гг. совместно с компанией «Гаммамед» и была интегрирована непосредственно в PACS-системы «Гамма Мультивокс Д1» и «Гамма Мультивокс Д2» [4], показала хорошие результаты, активно использовала технологии ИИ (автоматическое построение референтных линий и автоподбор компонентов эндопротеза) и была включена в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных Минкомсвязи РФ. Однако введение в 2020 г. требований по регистрации такой программы как медицинского изделия изменило судьбу проекта — заявка на получение регистрационного удостоверения не подавалась, и в настоящее время продукт не поставляется, приобрести его для клинического использования невозможно.

Второй планировщик операций эндопротезирования опять же создавался при непосредственном участии авторов настоящей статьи и включен в состав PACS-системы Digi-Pax (ООО «РТК-Радиология»). Регистрационное удостоверение опять же получено ранее, в 2018 г. (2018/6999 от 25.07.2018 г.), и эта программа также не попала в соответствии с критерием включения в настоящее исследование. Аналогично предыдущему проекту в модуле активно используются

¹⁰ URL: <https://medtehural.ru/reestr-meditsinskikh-izdelij/programmnoe-obespechenie-kompyuternogo-planirovaniya-khirurgicheskogo-vmeshatelstva-rme-planner-po-tu-58-29-32-001-00148027-2017> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

¹¹ URL: <https://bonabyte.net/ru/> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

элементы ИИ, но новеллы 2020 г. требуют переформирования регистрационного удостоверения, а использование планировщика возможно в ознакомительных и учебных целях — фиксация результатов планирования операции в медицинской документации будет нелегитимной.

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным зарубежной научной литературы, существующее ПО в ортопедической хирургии показало многообещающую возможность выявления неправильного положения имплантатов, предикторов асептической нестабильности, прогнозирования продолжительности пребывания в медицинском учреждении и связанных с этим материальных затрат [5]. Сообщается о точности до 98% при распознавании переломов, а также о потенциале Convolutional Neural Network (CNN) превосходить или быть не менее эффективным, чем специализированный медицинский персонал [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Также было показано, что потенциал ИИ выходит за рамки распознавания переломов. С.W. Park с соавторами показали, что CNN способна затмить клиницистов точностью обнаружения опухолей проксимального отдела бедренной кости [12]. В частности, Machine Learning (ML) может оказаться полезным для диагностики первичных опухолей костей и мягких тканей, наличие которых не является очевидным при просмотре классических рентгенограмм. Это ПО также было предложено для оценки прогноза пациентов, например, с синовиальной саркомой [13, 14, 15].

ИИ также показал многообещающие результаты в целом ряде другого специализированного диагностического ПО — от аномалий развития до травм мягких тканей коленного сустава. В исследовании, проведенном X. Xie с соавторами [16], был протестирован алгоритм на основе CNN для улучшения качества МРТ-сканирования при переломах плато большеберцовой кости с комбинированными дефектами мениска [17]. Авторы зарегистрировали чувствительность — 96,9%, специфичность — 93,2% и точность — 95,3% соответственно, когда МРТ-диагностику сравнивали с данными артроскопии. Более четкая, улучшенная визуализация, полученная с помощью модели CNN, привела к установлению диагноза, который впоследствии соответствовал интраоперационным данным. Эта работа является одной из многих, которые показывают реальные основания для проведения будущих исследований и усовершенствований современных методов визуализации [16]. Что касается врожденных аномалий, таких как дисплазия тазобедренного сустава, исследования также показали практичность быстрого и эффективного радиологического анализа [18]. Диагностика

с помощью ИИ и классификации остеоартрита по рентгенограммам продемонстрировала аналогичную точность у опытных врачей с длительной клинической практикой [13]. Кроме того, для распознавания переломов при остеопорозе также были разработаны CNN с целью прямой оценки минеральной плотности кости по рентгенограммам [19, 20].

Распознавание изображений ИИ вскоре может стать весьма востребованным направлением в ортопедии, что подтверждается исследованием S.J. Jang с соавторами, в котором сообщалось, что CNN идентифицируют ориентиры в костях и мягких тканях как объекты на рентгенограммах. Кроме того, более точные расчеты с использованием модели Deep Learning (DL) для выравнивания оси нижней конечности при оперативном лечении патологии коленного сустава может обеспечить потенциал для улучшения предоперационного планирования при тотальном эндопротезировании коленного сустава. Однако некоторые ограничения, такие как качество рентгенограммы, выравнивание или ротация, указывают на вариабельность результатов, и по существу эти методы еще практически не используются на этапе предоперационного планирования при тотальном эндопротезировании коленного сустава [21].

В обзоре, проведенном B. Gurung с соавторами, исследовалось применение ИИ при анализе послеоперационных рентгенограмм после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава и тотального эндопротезирования коленного сустава для обеспечения адекватного позиционирования имплантата, авторами сообщалось о точности свыше 90%. Хотя 12 отдельных исследований были достаточно объемными и в них использовалось до 320 000 рентгенограмм, их надежность была предметом множества споров. Авторы пришли к выводу, что в настоящее время недостаточно доказательств для использования ИИ для указанных целей в реальной клинической практике [22].

Сообщается, что автоматическое определение типа имплантатов для артропластики с использованием DL является полезным дополнением при ревизионной хирургии, позволяющим точно планировать оперативную технику и необходимое оборудование [9, 23, 24, 25].

Имеющиеся научные публикации продемонстрировали прогностическую ценность моделей ИИ для расчета показателей смертности, риска переливания крови и продолжительности пребывания в больнице после плановой артропластики [9, 23, 26, 27, 28, 29]. Это может иметь особую пользу при оптимизации путей ухода за пациентами, от предоперационной подготовки до плана восстановления и распределения ресурсов меди-

цинского учреждения [24]. Также сообщалось, что модели DL/ML могут прогнозировать на десятилетие вперед развитие остеоартрита тазобедренного сустава посредством анализа текстуры костей проксимального отдела бедренной кости и вертлужной впадины, а также клинических факторов риска с учетом приемлемой точности [23, 30, 31]. Концептуально это может действовать как инструмент стратификации риска, выявляя пациентов, нуждающихся в раннем оперативном вмешательстве [24]. В недавней работе также сравнивались традиционная модель ML, Artificial Neural Network (ANN) с традиционной логистической регрессией 28742 пациентов из Национального центра качества хирургии (США), где программа Improvement Program (США) продемонстрировала аналогичную предсказуемость клинически важных факторов для безопасной выписки в день оперативного вмешательства после тотального эндопротезирования коленного сустава с использованием модели ANN [27]. Таким образом, потенциально ИИ может играть важную роль в ортопедической хирургии.

К сожалению, несмотря на всесторонний ажиотаж, технологии ИИ в Российской Федерации пока слишком далеки от клинической практики. Проведенный тщательный поиск не дал нам никакой новой информации, которая не была бы нам известна ранее. Только 4 (3,6%) из 111 программных продуктов могут быть применимы в травматологии и ортопедии, причем рабочим можно признать только один из них (BonaPlanner).

Существуют еще два продукта (планирование операций в Digi-Pax РТК-Радиология и Гамма Мультивокс), но один из них нуждается в оформ-

лении регистрационного удостоверения, а второй более не поставляется.

Все эти три продукта созданы при непосредственном участии авторов настоящей статьи. Иных пригодных для внедрения продуктов мы обнаружить не смогли. В целом мы можем отметить, что в направлении «ИИ в травматологии и ортопедии» научные исследования зарегистрированных и перспективных продуктов не проводятся и не публикуются, что означает разрыв между новостным ажиотажем, инвестиционной привлекательностью направления и реальной клинической практикой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы надеемся, что в будущем технологии нейросетей и искусственного интеллекта в медицине будут не только предметом обсуждений в новостях, но и помогут в реальной клинической практике.

К сожалению, реальную применимость существующих продуктов в области травматологии и ортопедии можно расценить как минимальную, а все существующие программные продукты были созданы при непосредственном участии авторов настоящей статьи, и мы хотели бы надеяться, что и другие научные коллективы тоже примут участие — так как из новостной ленты в обозримом будущем тема искусственного интеллекта в медицине не пропадет и будет обидно, если наша специальность будет выглядеть ретроградно в сравнении с пульмонологией, онкологией, лабораторной диагностикой, где программы с искусственным интеллектом уже добились значительных успехов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Гажва С.И., Горбатов Р.О., Еюрихина М.Н., Тетерин А.И., Янышева К.Л. 3D-технологии в медицине. *Аддитивные технологии*. 2023;(2):70-77. URL: <https://www.calameo.com/read/007352782aa166b92b59a> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).
Gazhva S.I., Gorbato P.O., Ejurihina M.N., Teterin A.I., Janysheva K.L. 3D-tehnologii v medicine. *Additivnye tehnologii*. 2023;(2):70-77. (In Russian). URL: <https://www.calameo.com/read/007352782aa166b92b59a> (дата обращения 15 февраля 2024 г.).

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

2. Nitris L., Varfolomeeva A., Blinov D., Kamishanskaya I., Lobishcheva A., Dydykin S. et al. Artificial Intelligence-based Solution for X-ray Longitudinal Flatfoot Determination and Scaling. *Imaging Med.* 2019;11(5):67-75.
3. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С. Применение индивидуальных шаблонов при тройной остеотомии таза у детей с диспластическим подвывихом бедра (предварительные результаты). *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3): 47-56. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-47-56.

- Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y., Poznovich M.S. Patient-Specific Templates for Triple Pelvic Osteotomy in Children with Dysplastic Hip Subluxation (Preliminary Results). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(3):47-56. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-47-56.
4. Кавалерский Г.М., Середа А.П., Мурылев В.Ю., Рукин Я.А., Гаврилов А.В., Архипов И.В. и др. 2D-планирование эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2015; 21(4):95-102. doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-4-95-102. Kavalersky G.M., Sereda A.P., Murylev V.Y., Rukin Y.A., Gavrilov A.V., Arkhipov I.V. et al. 2D planning for hip arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2015;21(4):95-102. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-4-95-102.
 5. Lisacek-Kiosoglous A.B., Powling A.S., Fontalis A., Gabr A., Mazomenos E., Haddad F.S. Artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Bone Joint Res*. 2023;12(7):447-454. doi: 10.1302/2046-3758.127.BJR-2023-0111.R1.
 6. Beyaz S., Açıcı K., Sümer E. Femoral neck fracture detection in X-ray images using deep learning and genetic algorithm approaches. *Jt Dis Relat Surg*. 2020;31(2):175-183. doi: 10.5606/ehc.2020.72163.
 7. Corban J., Lorange J.P., Laverdiere C., Khoury J., Rachevsky G., Burman M. et al. Artificial Intelligence in the Management of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Orthop J Sports Med*. 2021;9(7):23259671211014206. doi: 10.1177/23259671211014206.
 8. Pranata Y.D., Wang K.C., Wang J.C., Idram I., Lai J.Y., Liu J.W. et al. Deep learning and SURF for automated classification and detection of calcaneus fractures in CT images. *Comput Methods Programs Biomed*. 2019;171:27-37. doi: 10.1016/j.cmpb.2019.02.006.
 9. Innocenti B., Radyul Y., Bori E. The use of artificial intelligence in orthopedics: Applications and limitations of machine learning in diagnosis and prediction. *Applied Sciences*. 2022;12(21):10775. doi: 10.3390/app122110775.
 10. Langerhuizen D.W.G., Bulstra A.E.J., Janssen S.J., Ring D., Kerckhoffs G.M.M.J., Jaarsma R.L. et al. Is Deep Learning On Par with Human Observers for Detection of Radiographically Visible and Occult Fractures of the Scaphoid? *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(11):2653-2659. doi: 10.1097/CORR.0000000000001318.
 11. Gyftopoulos S., Lin D., Knoll F., Doshi A.M., Rodrigues T.C., Recht M.P. Artificial Intelligence in Musculoskeletal Imaging: Current Status and Future Directions. *AJR Am J Roentgenol*. 2019;213(3):506-513. doi: 10.2214/AJR.19.21117.
 12. Park C.W., Oh S.J., Kim K.S., Jang M.C., Kim I.S., Lee Y.K. et al. Artificial intelligence-based classification of bone tumors in the proximal femur on plain radiographs: System development and validation. *PLoS One*. 2022;17(2):e0264140. doi: 10.1371/journal.pone.0264140.
 13. Farhadi F., Barnes M.R., Sugito H.R., Sin J.M., Henderson E.R., Levy J.J. Applications of artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Front Med Technol*. 2022;4:995526. doi: 10.3389/fmedt.2022.995526.
 14. Kumar V., Patel S., Baburaj V., Vardhan A., Singh P.K., Vaishya R. Current understanding on artificial intelligence and machine learning in orthopaedics – A scoping review. *J Orthop*. 2022;34:201-206. doi: 10.1016/j.jor.2022.08.020.
 15. Han I., Kim J.H., Park H., Kim H.S., Seo S.W. Deep learning approach for survival prediction for patients with synovial sarcoma. *Tumour Biol*. 2018;40(9):1010428318799264. doi: 10.1177/1010428318799264.
 16. Xie X., Li Z., Bai L., Ri Zh., Li C., Jiang X. et al. Deep learning-based MRI in diagnosis of fracture of tibial plateau combined with meniscus injury. *Scientific Programming*. 2021;2021:1-8. doi: 10.1155/2021/9935910.
 17. Cheng K., Guo Q., He Y., Lu Y., Xie R., Li C. et al. Artificial Intelligence in Sports Medicine: Could GPT-4 Make Human Doctors Obsolete? *Ann Biomed Eng*. 2023; 51(8):1658-1662. doi: 10.1007/s10439-023-03213-1.
 18. Archer H., Reine S., Alshaihsalama A., Wells J., Kohli A., Vazquez L. et al. Artificial intelligence-generated hip radiological measurements are fast and adequate for reliable assessment of hip dysplasia : an external validation study. *Bone Jt Open*. 2022;3(11):877-884. doi: 10.1302/2633-1462.311.BJO-2022-0125.R1.
 19. Nguyen T.P., Chae D.S., Park S.J., Yoon J. A novel approach for evaluating bone mineral density of hips based on Sobel gradient-based map of radiographs utilizing convolutional neural network. *Comput Biol Med*. 2021;132:104298. doi: 10.1016/j.compbiomed.2021.104298.
 20. Al-Hourani K., Tsang S.J., Simpson A.H.R.W. Osteoporosis: current screening methods, novel techniques, and preoperative assessment of bone mineral density. *Bone Joint Res*. 2021;10(12):840-843. doi: 10.1302/2046-3758.1012.BJR-2021-0452.R1.
 21. Jang S.J., Kunze K.N., Brilliant Z.R., Henson M., Mayman D.J., Jerabek S.A. et al. Comparison of tibial alignment parameters based on clinically relevant anatomical landmarks : a deep learning radiological analysis. *Bone Jt Open*. 2022;3(10):767-776. doi: 10.1302/2633-1462.310.BJO-2022-0082.R1.
 22. Gurung B., Liu P., Harris P.D.R., Sagi A., Field R.E., Sochart D.H. et al. Artificial intelligence for image analysis in total hip and total knee arthroplasty : a scoping review. *Bone Joint J*. 2022;104-B(8):929-937. doi: 10.1302/0301-620X.104B8.BJJ-2022-0120.R2.
 23. Kurmis A.P., Ianunzio J.R. Artificial intelligence in orthopedic surgery: evolution, current state and future directions. *Arthroplasty*. 2022;4(1):9. doi: 10.1186/s42836-022-00112-z.
 24. Purnomo G., Yeo S.J., Liow M.H.L. Artificial intelligence in arthroplasty. *Arthroplasty*. 2021;3(1):37. doi: 10.1186/s42836-021-00095-3.
 25. Borjali A., Chen A.F., Muratoglu O.K., Morid M.A., Varadarajan K.M. Detecting total hip replacement prosthesis design on plain radiographs using deep convolutional neural network. *J Orthop Res*. 2020;38(7):1465-1471. doi: 10.1002/jor.24617.
 26. Borjali A., Chen A.F., Muratoglu O.K., Morid M.A., Varadarajan K.M. Detecting mechanical loosening of total hip replacement implant from plain radiograph using deep convolutional neural network. Cornell University. 2019. [23 June 2023]. URL: <https://arxiv.org/abs/1912.00943>.
 27. Wei C., Quan T., Wang K.Y., Gu A., Fassihi S.C., Kahlenberg C.A. et al. Artificial neural network prediction of same-day discharge following primary total knee arthroplasty based on preoperative and intraoperative variables. *Bone Joint J*. 2021;103-B(8):1358-1366. doi: 10.1302/0301-620X.103B8.BJJ-2020-1013.R2.

28. Harris A.H.S., Kuo A.C., Weng Y., Trickey A.W., Bowe T., Giori N.J. Can machine learning methods produce accurate and easy-to-use prediction models of 30-day complications and mortality after knee or hip arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res.* 2019;477(2): 452-460. doi: 10.1097/CORR.0000000000000601.
29. Jo C., Ko S., Shin W.C., Han H.S., Lee M.C., Ko T. et al. Transfusion after total knee arthroplasty can be predicted using the machine learning algorithm. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(6):1757-1764. doi: 10.1007/s00167-019-05602-3.
30. Leung K., Zhang B., Tan J., Shen Y., Geras K.J., Babb J.S. et al. Prediction of Total Knee Replacement and Diagnosis of Osteoarthritis by Using Deep Learning on Knee Radiographs: Data from the Osteoarthritis Initiative. *Radiology.* 2020;296(3):584-593. doi: 10.1148/radiol.2020192091.
31. Hirvasniemi J., Gielis W.P., Arbabi S., Agricola R., van Spil W.E., Arbabi V. et al. Bone texture analysis for prediction of incident radiographic hip osteoarthritis using machine learning: data from the Cohort Hip and Cohort Knee (CHECK) study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019;27(6):906-914. doi: 10.1016/j.joca.2019.02.796.

Сведения об авторах

✉ Черный Александр Андреевич — канд. мед. наук
 Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
 ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-1176-612X>
 e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Серёда Андрей Петрович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
 e-mail: drsereda@gmail.com

Джавадов Алисагиб Аббасович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>
 e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Authors' information

✉ Alexander A. Cherny — Cand. Sci. (Med.)
 Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
 Russia
<https://orcid.org/0000-0002-1176-612X>
 e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
 e-mail: drsereda@gmail.com

Alisagib A. Dzhavadov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>
 e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru



Патогенез и современные методы лечения пациентов с инфекционным артритом тазобедренного сустава: обзор литературы

Д.И. Астахов, В.А. Артюх

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Одной из малоизученных, но давно известных проблем является определение оптимальной схемы лечения пациентов с инфекционным артритом тазобедренного сустава. Опубликованные результаты исследований предлагают различные методы консервативного и хирургического лечения, которые, однако, не имеют фундаментальной доказательной базы. Полиэтиологичность и вариабельность клинических проявлений инфекционного артрита тазобедренного сустава и тяжесть последствий в случае неправильно выбранной тактики требуют дифференцированного подхода к лечению и выработки определенных диагностических и лечебных алгоритмов.

Цель обзора. Определение значимых для выбора тактики лечения факторов патогенеза и анализ современных методов лечения инфекционного артрита тазобедренного сустава на основании данных доступной медицинской литературы.

Материал и методы. Для анализа было отобрано 90 зарубежных и отечественных источников, опубликованных в период с 1997 по 2003 год. Критериями включения в обзор являлись клинические исследования, аналитические обзоры и метаанализы литературы. Поиск источников осуществлялся в электронных базах данных eLIBRARY, PubMed и Google Scholar.

Результаты. Анализ показал, что, несмотря на сопоставимую эффективность и преимущества отдельных способов лечения, их применение ограничено определенными показаниями, а выбор оптимального в отношении конкретного пациента способа должен учитывать множество этиопатогенетических факторов, данных клинико-лабораторных и инструментальных методов обследования, роль которых до сих пор изучена недостаточно. В настоящее время «золотым стандартом» радикального хирургического лечения во всем мире остается методика двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава с применением антибактериального спейсера. Однако обнадеживающие результаты альтернативных методов лечения требуют продолжения поисков путей оптимизации диагностической и лечебной тактики.

Ключевые слова: инфекционный артрит, септический артрит, коксит, тазобедренный сустав.

Для цитирования: Астахов Д.И., Артюх В.А. Патогенез и современные методы лечения пациентов с инфекционным артритом тазобедренного сустава: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2024;30(2):192-205. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17497>.

Астахов Денис Игоревич; e-mail: denmail_69@mail.ru

Рукопись получена: 13.03.2024. Рукопись одобрена: 10.04.2024. Статья опубликована онлайн: 07.06.2024.

© Астахов Д.И., Артюх В.А., 2024



Pathogenesis and Modern Methods for Treatment of Hip Infectious Arthritis: A Review

Denis I. Astakhov, Vasily A. Artyukh

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Background. One of the little-studied but long-known problems is determining the optimal treatment regimen for patients with infectious arthritis of the hip joint. Existing studies offer various methods of conservative and surgical treatment, which, however, do not have a fundamental evidence base. The polyetiology and variability of the clinical manifestations of infectious arthritis of the hip joint and the severity of the consequences in case of incorrectly chosen tactics require a differentiated approach to treatment and development of certain diagnostic and treatment algorithms.

The aim of the review – to identify pathogenesis factors that are significant for the choice of treatment tactics and to analyze modern methods of treating infectious arthritis of the hip joint based on the data from available medical literature.

Methods. For analysis, we selected 90 foreign and domestic sources published between 1997 and 2003. Inclusion criteria were: clinical studies, analytical reviews and meta-analyses of the literature. The search was performed in eLIBRARY, PubMed and Google Scholar databases.

Results. The analysis showed that, despite the comparable effectiveness and advantages of individual treatment methods, their use is limited to certain indications, and the choice of the optimal one for a particular patient should take into account many etiopathogenetic factors, clinical, laboratory and instrumental data, the role of which is still insufficiently studied. Currently, throughout the world the “gold standard” for radical surgical treatment remains the technique of two-stage hip arthroplasty using an antibacterial spacer. However, encouraging results of alternative treatment methods require continued search for ways to optimize diagnostic and therapeutic tactics.

Keywords: infectious arthritis, septic arthritis, coxitis, hip joint.

Cite as: Astakhov D.I., Artyukh V.A. Pathogenesis and Modern Methods for Treatment of Hip Infectious Arthritis: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):192-205. (In Russian).
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17497>.

✉ Denis I. Astakhov; e-mail: denmail_69@mail.ru

Submitted: 13.03.2024. Accepted: 10.04.2024. Published Online: 07.06.2024.

© Astakhov D.I., Artyukh V.A., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Инфекционный (септический) артрит (ИА) представляет собой инфекционное воспаление, вызванное проникновением в полость сустава патогенных бактерий. Артриты грибковой (до 3,2%) или вирусной (до 1%) этиологии встречаются редко [1, 2]. Развитие ИА сопровождается риском необратимой дегенерации суставов и утраты основных функций конечности. В остром периоде ИА служит неотложным показанием к ранней диагностике и агрессивному лечению [3]. В случае неэффективного лечения острой формы ИА развивается хроническая форма, для купирования которой требуется привлечение гораздо больших материальных ресурсов [4].

Возможными факторами риска развития ИА являются старческий возраст (старше 80 лет) и состояния, угнетающие иммунитет: сахарный диабет, цирроз печени, заболевания почек, ревматоидный артрит, остеомиелит, сопутствующие инфекционные заболевания кожи, серповидно-клеточная анемия, ВИЧ, онкологические заболевания, наркомания [5]. По данным И.А. Герасимова с соавторами, у ВИЧ-инфицированных пациентов частота встречаемости артрита туберкулезной этиологии значимо выше, чем у лиц без наличия ВИЧ-инфекции с сопоставимым микробным пейзажем неспецифической этиологии [6]. Кроме того, ИА может возникнуть в результате гематогенного проникновения патогена из отдаленного очага инфекции, посттравматического инфицирования сустава или как осложнение перенесенной операции на суставе [7].

Клинические признаки ИА хорошо изучены: это — боль в области пораженного сустава, отек, гиперемия и гипертермия кожи, нарушение функций конечности с возможным развитием таких жизнеугрожающих осложнений как синдром системной воспалительной реакции или сепсис.

Ежегодная заболеваемость ИА составляет от 6 до 10 случаев на 100 000 населения в развитых странах, а связанный с этим уровень смертности достигает 10–15% [8, 9, 10]. В большинстве наблюдений ИА поражает коленные (45%) и тазобедренные суставы (ТБС) (15%) [11]. Установлено, что смертность в течение первого года после первичной санирующей операции при инфекционных кокситях (ИК) достигает 13,7% [12]. Патогенные бактериальные штаммы чаще всего поражают один сустав (моноартикулярный ИА). Частота полиартикулярных ИА, по данным А. Miller с соавторами, составляет 22% [13].

Наиболее частыми патогенами, вызывающими развитие ИК, являются *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp. и другие грамположительные бактерии. Доля грамотрицательных бактерий

в этиологии ИК, прежде всего *Enterobacteriaceae* и *Pseudomonas aeruginosa*, невысока, чаще всего они выделяются от пожилых пациентов, пациентов, принимающих стероидные препараты, и от пациентов с инфекцией мочевыделительной системы [14].

С учетом постоянного роста резистентности патогенов агрессивная хирургическая тактика и длительная антибактериальная терапия (АБТ) в ряде наблюдений оказываются неэффективными. В случае неполной эрадикации возбудителя персистенция инфекции в дальнейшем приводит к усугублению клинических симптомов заболевания, необратимому разрушению костной архитектуры сустава и, как следствие, утрате трудоспособности пациента, а иногда и к развитию сепсиса и необходимости ампутации конечности [15].

Сегодня очевидно, что проблема ИК нуждается в глубоком изучении и поиске эффективных протоколов лечения. Недавняя пандемия инфекции COVID-19 также внесла свой вклад в рост заболеваемости ИК и ИА в целом. Сообщается о случаях возникновения ИК у пациентов с перенесенным COVID-19 на фоне развившегося асептического некроза головки бедренной кости и длительной терапии глюкокортикостероидами [16, 17]. Однако на текущий момент практически нет работ, посвященных изучению прямого влияния новой коронавирусной инфекции на развитие и течение ИК, а результаты немногочисленных сообщений говорят лишь об опосредованных механизмах развития инфекционно-воспалительного процесса в суставе. Существующие методы лечения ИК не являются оптимальными, а данные об их клинической эффективности весьма противоречивы [18].

Целью обзора является определение факторов патогенеза, оказывающих влияние на выбор тактики лечения, и анализ современных методов лечения инфекционного артрита тазобедренного сустава на основании данных медицинской литературы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа было отобрано 90 зарубежных и отечественных источников, опубликованных в период с 1997 по 2003 год. Поиск источников осуществлялся в научных базах данных eLIBRARY, PubMed и Google Scholar по ключевым словам: инфекционный артрит, септический артрит, коксит, тазобедренный сустав (infectious arthritis, septic arthritis, coxitis, hip joint.)

Критериями включения в обзор являлись: клинические исследования, аналитические обзоры и метаанализы литературы в формате полнотекстовых статей на английском, немецком и русском языках.

ПАТОГЕНЕЗ ИНФЕКЦИОННОГО АРТРИТА

Сложная архитектура интимы синовиальной оболочки с обилием сосудов, лишенных базальной мембраны, позволяет проникать через нее как крупным молекулам гиалуроновой кислоты, так и патогенным бактериям и фагоцитам, колонизированным бактериями [19]. Наиболее изучен в настоящее время патогенез ИА, вызванного ведущим возбудителем — *S. aureus*. Бактерии прикрепляются к клеткам синовиальной оболочки и экспрессируют белки внеклеточного матрикса (эластин, коллаген, фибриноген, фибрин, гиалуроновую кислоту), которые посредством поверхностного компонента, распознающего молекулы адгезивной матрицы, способствуют фиксации микробных клеток к суставному хрящу и синовиальной оболочке [20, 21]. Помимо этого, *S. aureus*, *Streptococcus sp.*, *Neisseria gonorrhoea* обладают тропностью к тканям синовиальной оболочки, а *S. aureus* способна также к экспрессии белка, связывающего фактор Виллебранда, что повышает вероятность бактериальной инвазии [22, 23].

После адгезии бактерии размножаются, используя синовиальную жидкость в качестве идеальной питательной среды. При этом клетки *S. aureus* способны находиться в синовиальной жидкости пациентов, страдающих хроническими ИА, в виде свободных агломераций, напоминающих биопленки [24, 25]. М. Pestrak с соавторами подчеркнули важность наличия бактерий с измененным фенотипом в составе таких агломераций — так называемых “small colony variants” [26]. Данные формы патогенов характеризуются медленным ростом, способностью к интернализации в эукариотические клетки и персистенции внутри остеобластов, фибробластов, нейтрофилов, что позволяет уклоняться от иммунной атаки, демонстрировать более высокую сопротивляемость воздействию антибиотиков и служить источником второй волны инфицирования сустава [27].

Известно, что после адгезии *S. aureus* секретует факторы вирулентности (энтеротоксины, белок А, капсульный полисахарид, токсин синдрома стафилококкового токсического шока), обладающие свойствами антигенов, которые инициируют воспалительный каскад с притоком иммунных клеток, нейтрофилов, активацией макрофагов и высвобождением цитокинов. По мере развития инфекционного воспаления возрастает внутрисуставное давление, страдает кровообращение в тканях, ухудшается метаболизм кости и развивается необратимая эрозия суставного хряща [28, 29, 30].

В развитии септического артрита выделяют три стадии воспалительной экссудации: 1) серозная; 2) серозно-фибринозная; 3) гнойная. Первая стадия развивается после проникновения патогенных бактерий в сустав. Возникают отек синови-

альной оболочки, лейкоцитарная инфильтрация и серозная экссудация. Как правило, на данном этапе не бывает повреждения суставного хряща, а при активном лечении экссудат может полностью рассасываться, и функция сустава не страдает. На второй стадии заболевания экссудат становится мутным, в нем резко увеличиваются количество лейкоцитов и проницаемость сосудов. На суставной поверхности формируются отложения фибрина, образуются язвы, неровности и расслоение хряща, нарушается функция сустава. Третья стадия ИА характеризуется разрушением суставного хряща, субхондральной кости и гипертрофией синовиальной оболочки. Экссудат в полости сустава имеет гнойный характер. На данной стадии деструктивный инфекционный процесс необратим и сопровождается развитием осложнений, например флегмоны [7].

КОНСЕРВАТИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ

Консервативные методы имеют ограниченные показания при лечении ИК. Они могут быть реализованы на стадии серозного, серозно-гнойного воспаления при отсутствии признаков деструкции суставного хряща и кости [31]. Терапевтическое лечение в большинстве случаев позволяет купировать острые симптомы ИК. При этом, как указывают К. Ross с соавторами, инфекционное воспаление может сохраняться в субклинической форме и в дальнейшем принимать хроническое течение с последующим необратимым разрушением сустава [32].

Сегодняшняя общепринятая концепция консервативного лечения ИК предполагает тщательную аспирацию внутрисуставной (гнойной) жидкости и последующую длительную (не менее 6 нед.) АБТ с парентеральным и пероральным введением антибиотиков [33, 34].

Согласно данным ретроспективного исследования Z. Lum с соавторами, главным элементом консервативного лечения ИК является ежедневная пункционная аспирация патологического содержимого сустава. При этом внутривенная АБТ служит обязательной составляющей лечения. Изолированное применение АБТ, по их мнению, эффективно только в случае специфического (гонококкового) артрита [35].

Эффективность консервативного лечения была подтверждена результатами ряда исследований, авторы которых указывали на сопоставимые результаты пункционного лечения острого ИА и открытого хирургического вмешательства с дренированием сустава [36, 37, 38]. В то же время была установлена более высокая частота летальных исходов при пункционном лечении в сравнении с открытым дренированием ИА — 5,6% и 2,1% соответственно [35].

В связи с низкой эффективностью медикаментозного лечения и катастрофическими последствиями неблагоприятных исходов ИК для пациентов в настоящее время самостоятельно консервативную терапию применяют только при лечении острых форм специфического ИК. В случае хронического неспецифического ИА, особенно крупных суставов, АБТ рассматривают как неотъемлемую часть комплексного хирургического лечения.

Европейское общество костной и суставной септической хирургии (The European Bone and Joint Infection Society — EBJIS) рекомендует начинать эмпирическую АБТ сразу после выявления симптомов ИК. В случае генерализации инфекции, развития сепсиса или септического шока эмпирическую АБТ начинают в ближайшее время после постановки диагноза. Перед введением антибиотиков обязательно выполняют аспирацию синовиальной жидкости из сустава и делают посев крови для микробиологического исследования. При выборе эмпирической АБТ учитывают эпидемиологический статус и резистентность ведущих патогенов в медицинском учреждении [39, 40].

Несмотря на то, что клинических исследований, оценивающих общую продолжительность противомикробного лечения, а также длительность внутривенного и перорального лечения антибиотиками у взрослых не проводилось, EBJIS рекомендует проводить парентеральную АБТ в течение 1–2 нед. с последующим переходом на таблетированные формы антимикробных препаратов до 2–4 нед. [40]. При этом дискуссия об оптимальных путях введения препаратов продолжается [15].

В исследовании Н. Li с соавторами, сравнивающим эффективность внутривенной и пероральной АБТ у больных с инфекцией костей и суставов, было установлено, что корректный выбор препаратов *per os*, применявшихся в течение первых 6 нед. заболевания, не уступал исходам парентеральной терапии. Помимо этого, пероральная АБТ была связана с менее продолжительным пребыванием в стационаре и меньшим количеством осложнений [41].

Сегодня в рамках стратегии второго этапа деэскалационной АБТ, как правило, выбирают пероральные формы антибиотиков уже в соответствии с чувствительностью выделенного патогена. Другим критерием перехода на пероральную АБТ служит появление клинических признаков (лихорадка, покраснение, повышение температуры тела, отек, боль) и снижение уровня воспалительных маркеров крови (количество лейкоцитов, С-реактивный белок), указывающих на положительных эффект лечения. При выборе перораль-

ной АБТ учитывают активность антибиотиков *in vitro*, их биодоступность и способность проникать в синовиальную жидкость [15, 40].

Помимо этого, продолжается поиск эффективных препаратов для лечения ИК. Так, в обзорной статье J. Earwood с соавторами делают вывод о том, что эмпирическая терапия клиндамицином в сочетании с цефалоспорином, карбапенемами или фторхинолонами является безопасной и эффективной альтернативой ванкомицину или даптомицину. Авторы подчеркивают, что стартовая АБТ должна охватывать, прежде всего, грамположительные кокки, поскольку они являются наиболее вероятными возбудителями инфекции [42]. Наличие грамотрицательных патогенов необходимо учитывать у пациентов пожилого возраста, страдающих заболеваниями, угнетающими иммунитет, инфекционными заболеваниями мочевыводящей системы или желудочно-кишечного тракта [14, 42].

В последние десятилетия публикуется все больше данных об эффективности таких перспективных средств лечения ИК, как антимикробные пептиды и бактериофаги [43]. Антимикробные пептиды, или пептиды защиты хозяина, представляют собой многообещающий класс антибактериальных средств, которые обладают мощной антимикробной активностью против широкого спектра патогенных микроорганизмов. Антимикробные пептиды представляют собой короткие аминокислотные последовательности, которые являются эффекторными молекулами врожденного иммунитета, могут иметь растительное, животное, микробное происхождение и эффективны против ряда устойчивых к лекарствам патогенов [44, 45].

Современные бактериофаги считают безопасными и мощными антимикробными агентами, так как их использование представляется безопасным и практически не имеет побочных эффектов [46]. Кроме того, фаги, благодаря своей самореплицирующейся природе, обладают уникальным свойством автодозирования за счет хозяина-патогена [47]. К тому же бактериофаги, в отличие от длительной АБТ, избирательны в своем действии, не изменяют и не разрушают нормальную микрофлору организма. Бактериофаги проявляют синергизм при совместном применении с антибиотиками, что еще больше снижает частоту появления резистентных патогенов [48].

Применение антимикробных пептидов и бактериофагов имеет особую ценность в случаях резистентной микрофлоры и плохой переносимости АБТ и может быть альтернативой или дополнением к существующим протоколам лечения.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ИНФЕКЦИОННОГО КОКСИТА

Выбор эффективной тактики лечения ИК в значительной степени зависит от этиологии, формы и стадии инфекционного воспаления. F. Ruythooren с соавторами считают хирургическое вмешательство наиболее важным этапом купирования инфекционного процесса, который необходимо потенцировать медикаментозной терапией [49]. Согласно рекомендациям EBJIS, целью хирургического лечения является удаление токсинов, снижение бактериальной нагрузки и давления внутри сустава. Несмотря на то, что серийная аспирация жидкости из сустава бывает эффективна в отдельных клинических наблюдениях, EBJIS рекомендует выполнять хирургическую обработку ИА, особенно при поражении крупных суставов. Несмотря на то, что ИА является показанием к неотложному лечению, EBJIS считает, что у пациентов без признаков генерализации инфекции возможна отсрочка хирургического вмешательства на 24–48 ч. Необходимые условия для отложенной операции: сустав предварительно пунктирован, промыт физиологическим раствором в стерильных условиях до получения прозрачной жидкости, начата эмпирическая АБТ, санацию выполняет опытный хирург. Следует отметить, что отсрочка операции более чем на 24–48 ч. увеличивает необходимость повторной санации [40].

В настоящее время разработаны и широко применяются такие хирургические методики лечения ИК, как артроскопическая санация, открытая артротомия и дренирование, тотальное эндопротезирование и резекционная артропластика ТБС.

Артроскопическая санация

Первый опыт успешной санации ТБС методом артроскопии был опубликован более 30 лет назад. С. Blitzer и М. Bould считали артроскопию ТБС альтернативой аспирационной санации или открытой артротомии, которая позволяет избежать чрезмерной травмы сустава [50, 51].

В настоящее время популярность артроскопии как одной из органосохраняющих методик оперативного лечения патологии ТБС непрерывно растет [52]. Главным преимуществом артроскопического вмешательства считают минимально инвазивный доступ к полости сустава, позволяющий осуществить необходимую ирригацию ТБС и прямой осмотр суставного хряща [53, 54]. Уровень эрадикации инфекции в случае артроскопической санации ТБС, по данным ряда авторов, составляет от 88,8 до 100,0% [55, 56, 57, 58].

Несмотря на то, что данные об эффективности артроскопической санации при ИА крупных суставов ограничены, EBJIS рекомендует данную методику для первоначального хирургического лечения у пациентов с ИА I, II и, возможно, III стадий артрита по А. Gächter [59, 40]. При выявлении изменений, характерных для IV стадии ИА (агрессивный паннус с инфильтрацией хряща, разрушение суставного хряща, рентгенологические признаки субхондрального остеолита, эрозии или кисты кости) выбор хирургического вмешательства делают в пользу методик с артротомией ТБС [60] (рис. 1).

Кроме того, артроскопическую санацию ТБС считают методом выбора у пациентов с тяжелыми сопутствующими заболеваниями или находящимися в состоянии иммуносупрессии [54].

В недавних сравнительных исследованиях была установлена сопоставимая эффективность методик серийного артроцентеза и артроскопической санации ТБС. Наряду с этим, авторы считают, что при доступности артроскопии в лечебном учреждении ее использование предпочтительно, так как 30% пациентов, получавших лечение пункционным методом, нуждались в повторной санации [54, 55].

Изучая результаты санационной артроскопии и артротомии ТБС, Z. Khazi с соавторами обнаружили равную частоту послеоперационных осложнений, при этом функция сустава восстанавливалась быстрее в наблюдениях, где использовали артроскопическую методику [61]. При исследовании этих же

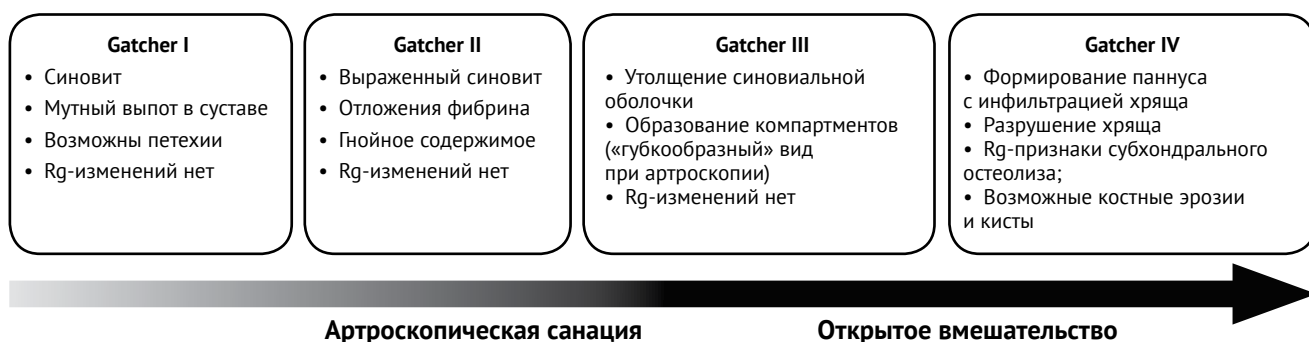


Рис. 1. Алгоритм выбора хирургической тактики согласно классификации А. Gächter

Рис. 1. Algorithm for choosing surgical tactics according to the A. Gächter classification

методик лечения ИК у детей К. Fukushima с соавторами показали, что частота купирования инфекции была сопоставимой. Однако применение артроскопической санации позволило значительно сократить продолжительность госпитализации и получить лучший клинический результат [54].

Для дальнейшего широкого применения артроскопии при лечении ИК требуются проспективных многоцентровые исследования для определения оптимального количества используемых портов, необходимости дренирования ТБС и длительности использования дренажей, показаний к повторной артроскопии и согласования других практических вопросов.

Артротомия, дренирование

Очевидные, на первый взгляд, преимущества артроскопической хирургии в лечении ИК все еще недостаточно изучены, публикации о результатах лечения немногочисленны, а количество наблюдений в исследованиях невелико. Отсутствуют сведения об отдаленных исходах эрадикации инфекции, а также функциональных, рентгенологических результатах. Сегодня артроскопия ТБС при ИК имеет ограниченное распространение, что связано с необходимостью дополнительного оснащения операционных, обучения хирургов и ограниченными показаниями к ее выполнению.

В ретроспективном обзоре Н. Souza Miyahara с соавторами было установлено, что золотым стандартом лечения ИК следует считать классическую артротомию и дренирование ТБС [62]. Наряду с этим открытое дренирование ТБС рекомендуют рассматривать в качестве первого этапа оперативного лечения, который позволяет лишь купировать острые симптомы ИК. Исходя из патогенеза ИК, D. Goldenberg обосновал низкую эффективность дренирования сустава бессимптомным внутриклеточным персистированием патогенов с поражением суставного хряща и субхондральной кости. Исследователь аргументированно доказывает, что деструктивный воспалительный и остеомиелитический процессы внутри сустава продолжают даже при клинической эффективности АБТ и отсутствии роста возбудителя в посевах внутрисуставной жидкости [63].

Двухэтапное эндопротезирование с применением спейсера

Двухэтапное эндопротезирование (ЭП) ТБС с применением антибактериального спейсера является одним из наиболее эффективных методов хирургического лечения ИК. Тактика использования в ходе первого этапа ЭП антимикробного спейсера и последующей заменой его на постоянный эндопротез представляется целесообразной в случае активного развития ИК у больных с симптомами

септического поражения мягких тканей и костей сустава (остеолиз, свищевые ходы), постоянными высокими лабораторными маркерами воспаления.

F. Angelo с соавторами опубликовали систематический обзор, в который вошло 19 исследований [64]. Согласно данным вошедших в обзор статей, эффективность первого этапа двухэтапного ЭП составляет от 73,7% до 92,8% [12, 65, 66]. Исследователи отмечают значительное расширение функциональных возможностей ТБС у пациентов после двухэтапного ЭП [66, 67]. В обзоре также проанализированы наиболее частые осложнения, с которыми сталкивались хирурги: рецидив инфекции (от 9,8 до 10,7%), перипротезный перелом бедренной кости (10,7%), асептическая нестабильность спейсера (7,1%), перелом бедренного компонента спейсера (3,5%). Наиболее тяжелыми осложнениями считали рецидивирующие вывихи спейсера, которые, по мнению некоторых авторов, могли быть устранены только после выполнения резекционной артропластики (операции Girdlestone) [66, 68].

Н.С. Николаев с соавторами в ретроспективном исследовании выявили, что значительный уровень эрадикации (86,7%) и значимое улучшение функционального состояния сустава наблюдаются как после выполнения первого, так и второго этапов оперативного лечения [69]. В систематическом обзоре, опубликованном J. Balato с соавторами, уровень эрадикации инфекции после выполнения второго этапа ЭП составил от 85 до 100%. При этом общая продолжительность АБТ на этапах оперативного лечения в среднем составляла от 4 до 6 мес. [70].

Выбор типа антибактериального спейсера остается за хирургами и не оказывает существенного влияния на частоту эрадикации возбудителя инфекции и функциональные исходы двухэтапного ЭП [71].

Независимыми предикторами рецидива инфекционного воспаления после двухэтапного ЭП С. Хи с соавторами считают возраст пациента, выделение патогенов, обладающих высокой устойчивостью к антибиотикам, и высокий уровень С-реактивного белка накануне операции [72].

Несмотря на значительный накопленный опыт двухэтапного ЭП в лечении ИК, все еще не существует единого представления об оптимальной продолжительности интервала времени между этапами ЭП. Сегодня этот период зависит от предпочтений хирургов и в большинстве случаев составляет от 6 нед. до 3 мес. В то же время многие исследователи считают, что установление общепринятого срока для выполнения второго этапа ЭП не может служить практическим ориентиром в лечении ИК. Y.С. Yoon с соавторами полагают, что каждый клинический случай ИК уникален, и необ-

ходимость выполнения ЭП должна быть определена на основании анализа лабораторных маркеров воспаления и клинических симптомов заболевания [73].

Одноэтапное эндопротезирование тазобедренного сустава

Одноэтапное ЭП ТБС обоснованно считают комфортной для пациента и эффективной с точки зрения финансовых затрат методикой лечения пациентов с ИК. По сообщению G. Valato с соавторами, обобщивших данные ряда исследований по эффективности одноэтапного ЭП в лечении ИК с 2003 по 2010 г., частота эрадикации инфекции не уступала результатам двухэтапного ЭП и составила 94–100% [70]. W. Li с соавторами установили, что одноэтапное ЭП так же эффективно, как и двухэтапное лечение с использованием антимикробного спейсера, при меньших финансовых затратах, сроках госпитализации и интраоперационной кровопотере [74]. Аналогичные выводы об эффективности одноэтапного ЭП сделаны в систематическом обзоре H. Luo с соавторами [75].

Однако, несмотря на накопленный положительный опыт применения одноэтапного ЭП и возможность восстановления функции ТБС в ближайшем послеоперационном периоде, показания для реализации методики довольно ограничены. В материалах Второй международной согласительной конференции (ICM), прошедшей в 2018 г. [71], на основании активности местного инфекционного воспаления были определены показания к выбору хирургической тактики лечения пациентов с ИА. Из показаний к одноэтапному ЭП выделяют отсутствие острого инфекционного процесса в ТБС, характеризующегося выраженным сдвигом лабораторных воспалительных показателей, наличием свищевых ходов, обширных костных дефектов. Кроме того, важными являются данные о характере возбудителя инфекции, чувствительности к антимикробным препаратам с возможностью АБТ на амбулаторном этапе [76].

В случае активности инфекционно-воспалительного процесса в ТБС частота рецидивов инфекции в послеоперационном периоде статистически значимо повышалась [68]. J. Bettencourt с соавторами выявили сильную тенденцию к снижению вероятности рецидива инфекции по мере увеличения временного интервала между диагнозом ИК и ЭП ТБС. По данным авторов, вероятность неудачи при эрадикации инфекции в 3,1 раз чаще наблюдается, если ЭП выполняли в первые 5 лет после диагностики ИК. Анализ 10-летнего наблюдения показал, что доля ППИ после первичного ЭП по поводу ИК составляла 7%, в то время как после операции по поводу коксартроза только 0,9% [77].

Таким образом, одноэтапное ЭП может служить методом выбора у пациентов с инфекционным воспалением в ТБС вне стадии обострения при отсутствии выраженных лабораторных симптомов и клинических проявлений ИК [7].

Резекционная артропластика

Первичная резекционная артропластика была впервые описана Г.Р. Гирдлестоуном (Girdlestone) в 1928 г. и зарекомендовала себя в качестве успешного метода лечения туберкулезного коксита. Методика позволяет эффективно купировать боль и инфекционное воспаление в ТБС. Наряду с этим операция Гирдлестоуна характеризуется плохими функциональными результатами. При этом восстановить функцию сустава после этой операции оказалось довольно сложно даже при выполнении в дальнейшем тотального ЭП ТБС [79, 80]. В исследовании R. Oheim с соавторами также сообщают о высокой частоте купирования инфекции и болевого синдрома в результате выполнения резекционной артропластики. Авторы рекомендовали операцию Гирдлестоуна в случаях, когда функциональный результат не был приоритетным для пациента [81].

Исследования, посвященные сравнительному анализу эффективности резекционной артропластики и этапного ЭП с использованием антимикробного спейсера, немногочисленны. S. Ikebe с соавторами сообщают о более высоких продолжительности операций, объеме кровопотери и частоте неблагоприятных функциональных исходов при имплантации постоянного эндопротеза у пациентов, перенесших ранее операцию Girdlestone. По их данным, частота эрадикации инфекции после выполнения резекционной артропластики составляет 94,7%, а доля рецидивов инфекции после выполнения второго этапа ЭП достигает 31,6%, что, по мнению авторов, требует осторожного дифференцированного подхода к выбору операции Гирдлестоуна как метода лечения ИК [82].

P. Matthews с соавторами рассматривали первичную резекционную артропластику как метод выбора при наличии симптомов ИК в течение 3 недель и более [83]. Согласно D. Adl Amini с соавторами, операция Гирдлестоуна может быть методом выбора у больных с ИК, когда применение антимикробного спейсера может быть связано с высоким риском вывиха конструкции, образования костных дефектов или в случае неустановленной или высокорезистентной патогенной микрофлоры [84].

В работе С. Hipfl с соавторами была изучена эффективность двухэтапного ЭП, в котором первый этап представлял собой операцию Гирдлестоуна. Исследователи полагают, что в нативном ТБС, не имеющем симптомов остеомиелита, инфекция

поражает только суставной хрящ, субхондральную кость и внутрисуставные мягкие ткани. В этих условиях имплантация антимикробного спейсера в неповрежденную инфекцией костномозговую полость бедра может привести к дальнейшему распространению патогенов. Период между выполнением первого и второго этапов ЭП (от 2 до 32 нед.) определяли индивидуально на основании клинических и лабораторных данных. Продолжительность АБТ составила от 8 до 38 нед., в том числе 2 нед. внутривенной инфузии [85].

Необходимость резекции головки и шейки бедренной кости при остеомиелите вертлужной впадины обоснована в статье К. Anagnostakos с соавторами. Авторы показали, что санация вертлужной впадины невозможна без удаления скомпрометированного инфекционным воспалением проксимального отдела бедренной кости. По их мнению, функция ТБС может быть восстановлена в дальнейшем в результате тотального ЭП ТБС и реабилитационного лечения [86].

Кроме того, операция Гирдлестоуна представляется оптимальным выбором для мультиморбидных пациентов, особенно в тех случаях, когда больные отказываются от длительного, этапного хирургического лечения, а резекционная артропластика может оказаться удачным решением проблемы ИК и являться окончательной операцией.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ публикаций за последние 10 лет показал, что количество клинических исследований, обзоров литературы, посвященных проблеме диагностики и лечения ИК, возросло за указанный период (рис. 2).

Однако подавляющее большинство исследований являются одноцентровыми, как правило ретроспективными и включают в себя малочисленные группы пациентов. Сегодня собрано недостаточно данных для обоснованных рекомендаций, указывающих на преимущества одной из существующих тактик хирургического лечения.

Анализ данных современных публикаций показал, что при достаточно высоких показателях эффективности изученных методов хирургического лечения сохраняется расхождение во мнениях относительно таких аспектов лечения, как продолжительность антибактериальной терапии, способы ее реализации, выбор антимикробных препаратов, оптимальный интервал между этапами ЭП, необходимость дренирования сустава после операции, выполнение диагностических пункций как способа контроля эрадикации инфекции. Коморбидный фон пациента и путь инфицирования также не всегда учитываются (табл. 1), хотя некоторые исследователи говорят об их потенциальной значимости в отношении диагностики возбудителя инфекции и дальнейшей лечебной тактики [14, 49].

Большинство авторов сходятся в том, что выбор способа хирургического лечения в пользу органосохраняющих методик должен основываться в первую очередь на наличии или отсутствии деструктивных изменений суставного хряща и субхондральной кости, а также отсутствии признаков остеомиелита и выраженного инфекционного воспаления. При этом перспективной считают артроскопическую санацию ТБС как наименее травматичную методику, демонстрирующую высокие функциональные результаты. Наряду с этим широкое внедрение артроскопической санации ограничено необходимостью дополнительного обучения хирургов и приобретения необходимого оборудования.

В случае необходимости выполнения радикальной операции одноэтапная санация с установкой эндопротеза является еще одним перспективным методом, позволяющим сократить период нетрудоспособности пациента и уменьшить расходы на лечение. В то же время публикации, посвященные исследованию эффективности методики, немногочисленны и недостаточны для формулирования критериев отбора пациентов для двух- и одноэтапного ЭП [75].

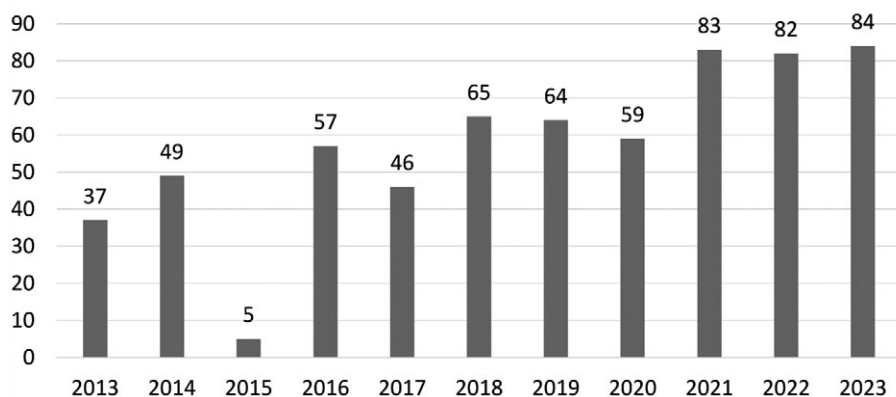


Рис. 2. Распределение публикаций по запросу «септический артрит тазобедренного сустава» в базе данных PubMed в период с 2013 по 2023 г.

Fig. 2. Distribution of publications by the search query «infectious arthritis of the hip joint» in the PubMed database from 2013 to 2023

Таблица 1

Характеристика работ, включенных в обзор (2018–2023)

Автор	Год	n	Патоген	Факторы риска	Эмпирическая АБТ	Длительность АБТ
Khazi Z.M. [61]	2020	387	MSSA	Артропатия н/д	н/д	н/д
Fukushima K. [54]	2021	5	MSSA — 1; CNS — 3; <i>S. agalactiae</i> — 1; <i>Haem. influenza</i> — 1	Артроскопическая санация н/д	По результатам МБИ	2 нед. в/в и 3 нед. перорально
Khazi Z.M. [61]	2020	34	MSSA	н/д	н/д	н/д
Kim C.H. [56]	2018	7	MSSA — 42,9%; <i>S. agalactiae</i> — 14,2%; CN — 42,9%	Злоупотребление алкоголем, цирроз, почечная недостаточность	По результатам МБИ	4–6 нед.
Rapanna M.C. [68]	2018	11	MSSA — 33,3%; MRSA — 2,78%; другие — 2,78%; CN — 61,1%	Двухэтапное лечение с применением спейсера н/д	По результатам МБИ	От 3 дней до 4 мес. в/в или перорально
Lee Y.K. [89]	2019	14	MSSA	нет	н/д	н/д
Kao F.C. [12]	2019	28	MSSA — 5,9%; другие — 13,8%; ПМФ — 3,9%; CN — 78,4%	Курение, злоупотребление алкоголем, цирроз печени, почечная недостаточность, употребление наркотиков	По результатам МБИ	85 дней
Zhang C. [87]	2022	17	MSSA — 1; MRSA — 1; MSSE — 1; CNS — 1; <i>K. pneumoniae</i> — 1; <i>Parvimonas micra</i> — 1; <i>E. coli</i> — 2; <i>Candida albicans</i> — 1; <i>Salmonella</i> — 1	Сахарный диабет, почечная недостаточность, пневмония, гепатит В, другие воспалительные заболевания	Ванкомицин + меропенем	6–12 нед.
Cho Y.J. [88]	2018	10	MSSA — 40,0%; другие — 20,0%; CN — 40,0%	н/д	Ванкомицин 1 г + Цефазедон 1 г 2 р/сут.	3 нед. в/в и 3 нед. перорально
Rapanna M.C. [68]	2018	7	н/д	Одноэтапное эндопротезирование н/д	По результатам МБИ	От 3 дней до 4 мес.
Kao F.C. [12]	2019	12	MSSA — 3,9%; другие — 13,8%; ПМФ — 3,9%; CN — 78,4%	Курение, злоупотребление алкоголем, цирроз печени, почечная недостаточность, употребление наркотиков	По результатам МБИ	85 дней
Zhang C. [87]	2022	11	MSSA — 5; MRSA — 1; MRSE — 3; <i>K. pneumoniae</i> — 1; <i>B. fragilis</i> — 1; <i>Enterobacter cloacae</i> — 1; <i>Streptococcus</i> spp. — 1; CN — 4	Сахарный диабет, почечная недостаточность, пневмония, гепатит В, другие воспалительные заболевания	Ванкомицин + меропенем	6–8 нед.
Portier E. [90]	2022	19	MSSA — 42%; CNS — 16%; <i>Streptococcus</i> spp. — 37%; ПМФ — 11%; <i>Enterobacter</i> — 5%; CNS — 5%; другие — 11%	ВИЧ, гепатит, кардиоваскулярная патология, сахарный диабет	Цефазолин, амоксициллин, ванкомицин, даптомицин	4 нед. — в/в 2 нед. — перорально
Kao F.C. [12]	2019	38	MSSA — 3,9%; другие — 13,8%; ПМФ — 3,9%; CN — 78,4%	Резекционная артропластика Курение, злоупотребление алкоголем, цирроз печени, почечная недостаточность, употребление наркотиков	По результатам МБИ	85 дней
Hipfl C. [85]	2023	33	MSSA — 42,4%; CNS — 12,1%; <i>Cutibacterium acnes</i> — 12,1%	Сахарный диабет, ревматоидный артрит, иммунодефицит, онкологические заболевания	По результатам МБИ	От 8 до 38 нед. с начала первого этапа и до окончания курса после второго этапа (в т.ч. 2 нед. в/в)

CNS — коагулазонегативные стафилококки; МБИ — микробиологическое исследование; ПМФ — полимикробная флора; CN — culture-negative. Все указанные исследования являются ретроспективными.

Наибольшую трудность для выбора хирургической тактики представляют тяжелые случаи ИК. Как правило, это больные с резистентной или тяжело поддающейся лечению патогенной микрофлорой, обширными дефектами мягких тканей и кости, сопутствующими заболеваниями вне стадии компенсации с низким реабилитационным потенциалом. В таких клинических ситуациях большинство авторов рекомендует делать выбор в пользу резекционной артропластики (операция Girdlestone), которая может стать первым этапом для последующего ЭП или остаться в силу объективных обстоятельств окончательным методом хирургического лечения [82, 84].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, развитие инфекционного коксита характеризуется прогрессивным вовлечением в деструктивный процесс всех структур ТБС и подчас нуждается в срочном хирургическом лечении с целью предотвращения разрушения архитектуры сустава, утраты основных функций конечности и развития осложнений, угрожающих жизни пациента. В настоящее время единый порядок лечения инфекционного коксита все еще не выработан, существующие методы лечения не объединены алгоритмами, а эффективность их применения вызывает обоснованные сомнения. Органосохраняющие вмешательства, в част-

ности, артроскопическая санация, эффективны лишь на ранних стадиях развития инфекционного процесса и требуют соответствующей подготовки хирургов и наличия необходимого оборудования. Радикальным на сегодняшний день методом выбора в оперативном лечении инфекционного коксита является двухэтапное лечение с применением антибактериального спейсера. Опубликованные немногочисленные данные о результатах одноэтапного хирургического лечения ИК указывают на сопоставимую двухэтапной методике эффективность и на широкие перспективы его внедрения как метода, позволяющего добиться раннего восстановления функций оперированной конечности и сокращения периода лечения. Однако, четких критериев, позволяющих сделать однозначный и обоснованный выбор в пользу того или иного метода оперативного лечения, в настоящее время не существует, а выбор неадекватной тактики в том или ином случае грозит затяжным лечением и серьезными осложнениями с непредсказуемым исходом. Необходим дальнейший поиск единых гибких диагностических и лечебных алгоритмов на основе патогенеза, длительности и характера заболевания, эпидемиологии возбудителя, клинко-инструментальных данных и коморбидного фона пациента в крупных многоцентровых исследованиях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Lee Y., Cho Y.S., Sohn Y.J., Hyun J.H., Ahn S.M., Lee W.J. et al. Clinical Characteristics and Causative Pathogens of Infective Arthritis and Risk Factors for Gram-Negative Bacterial Infections. *Infect Chemother.* 2020;52(4):503-515. doi: 10.3947/ic.2020.52.4.503.
- Sharma V., Sharma A. Infectious mimics of rheumatoid arthritis. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2022;36(1):101736. doi: 10.1016/j.berh.2021.101736.
- Wang J., Wang L. Novel therapeutic interventions towards improved management of septic arthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):530. doi: 10.1186/s12891-021-04383-6.
- Corrado A., Donato P., Maccari S., Cecchi R., Spadafina T., Arcidiacono L. et al. Staphylococcus aureus-dependent septic arthritis in murine knee joints: local immune response and beneficial effects of vaccination. *Sci Rep.* 2016;6:38043. doi: 10.1038/srep38043.
- Elsissy J.G., Liu J.N., Wilton P.J., Nwachuku I., Gowd A.K., Amin N.H. Bacterial Septic Arthritis of the Adult Native Knee Joint: A Review. *JBS Rev.* 2020;8(1):e0059. doi: 10.2106/JBS.RVW.19.00059.
- Герасимов И.А., Перецманас Е.О., Тюлькова Т.Е., Панова А.Е., Зубиков В.С., Береснев О.В. Этиологическая диагностика инфекционного коксита в зависимости от ВИЧ-статуса пациента. *Туберкулез и болезни легких.* 2022;100(12):16-21. doi: 10.21292/2075-1230-2022-100-12-16-21. Gerasimov I.A., Peretsmanas E.O., Tyulkova T.E., Panova A.E., Zubikov V.S., Beresnev O.V. Etiological Diagnosis of Infectious Coxitis Depending on the Patient's HIV Status. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2022;100(12):16-21. (In Russian). doi: 10.21292/2075-1230-2022-100-12-16-21.

7. He M., Arthur Vitran D.T., Pan L., Zeng H., Yang G., Lu B., et al. An update on re-cent progress of the epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of acute septic arthritis: a review. *Front Cell Infect Microbiol.* 2023;13:1193645. doi: 10.3389/fcimb.2023.1193645.
8. Jung S.W., Kim D.H., Shin S.J., Kang B.Y., Eho Y.J., Yang S.W. Septic arthritis associated with systemic sepsis. *Int Orthop.* 2018;42(1):1-7. doi: 10.1007/s00264-017-3565-4.
9. Mínguez S., Molinos S., Mateo L., Gimenez M., Mateu L., Cabello J. et al. Septic arthritis due to methylcyclin-resistant *Staphylococcus aureus* in adults. *Reumatol Clin.* 2015;11(6):381-386. (In English, Spanish). doi: 10.1016/j.reuma.2014.12.009.
10. Abram S.G.F., Alvand A., Judge A., Beard D.J., Price A.J. Mortality and adverse joint outcomes following septic arthritis of the native knee: a longitudinal cohort study of patients receiving arthroscopic washout. *Lancet Infect Dis.* 2020;20(3):341-349. doi: 10.1016/S1473-3099(19)30419-0.
11. Ross J.J. Septic Arthritis of Native Joints. *Infect Dis Clin North Am.* 2017;31(2):203-218. doi: 10.1016/j.idc.2017.01.001.
12. Kao F.C., Hsu Y.C., Liu P.H., Tu Y.K., Jou I.M. High 2-year mortality and recurrent infection rates after surgical treatment for primary septic arthritis of the hip in adult patients: An observational study. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(32):e16765. doi: 10.1097/MD.00000000000016765.
13. Miller A., Abduljabbar F., Jarzem P. Polyarticular Septic Arthritis in an Immunocompetent Adult: A Case Report and Review of the Literature. *Case Rep Orthop.* 2015;2015:602137. doi: 10.1155/2015/602137.
14. Lee Y., Cho Y.S., Sohn Y.J., Hyun J.H., Ahn S.M., Lee W.J., et al. Clinical Characteristics and Causative Pathogens of Infective Arthritis and Risk Factors for Gram-Negative Bacterial Infections. *Infect Chemother.* 2020;52(4):503-515. doi: 10.3947/ic.2020.52.4.503.
15. Mathews C.J., Weston V.C., Jones A., Field M., Coakley G. Bacterial septic arthritis in adults. *Lancet.* 2010;375(9717):846-855. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61595-6.
16. Ardakani M.V., Parviz S., Ghadimi E., Zamani Z., Salehi M., Firoozabadi M.A. et al. Concomitant septic arthritis of the hip joint and femoral head avascular necrosis in patients with recent COVID-19 infection: a cautionary report. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):302. doi: 10.1186/s13018-022-03192-4.
17. Dhanasekararaja P., Soundarrajan D., Sandeep K.K., Rajkumar N., Rajasekaran S. Primary septic arthritis of the hip after COVID-19- A case series of six patients, 30 March 2023. Available from: Research Square. doi: 10.21203/rs.3.rs-2621263/v1.
18. Boff D., Crijns H., Teixeira M.M., Amaral F.A., Proost P. Neutrophils: Beneficial and Harmful Cells in Septic Arthritis. *Int J Mol Sci.* 2018;19(2):468. doi: 10.3390/ijms19020468.
19. Haywood L., Walsh D.A. Vasculature of the normal and arthritic synovial joint. *Histol Histopathol.* 2001;16(1):277-284. doi: 10.14670/HH-16.277.
20. Nade S. Septic arthritis. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2003;17(2):183-200. doi: 10.1016/s1521-6942(02)00106-7.
21. Foster T.J., Geoghegan J.A., Ganesh V.K., Höök M. Adhesion, invasion and evasion: the many functions of the surface proteins of *Staphylococcus aureus*. *Nat Rev Microbiol.* 2014;12(1):49-62. doi: 10.1038/nrmicro3161.
22. Horst S.A., Hoerr V., Beineke A., Kreis C, Tuscherr L, Kalinka J et al. A novel mouse model of *Staphylococcus aureus* chronic osteomyelitis that closely mimics the human infection: an integrated view of disease pathogenesis. *Am J Pathol.* 2012;181(4):1206-1214. doi: 10.1016/j.ajpath.2012.07.005.
23. Na M., Hu Z., Mohammad M., Stroparo M.D.N., Ali A., Fei Y. et al. The Expression of von Willebrand Factor-Binding Protein Determines Joint-Invasive Capacity of *Staphylococcus aureus*, a Core Mechanism of Septic Arthritis. *mBio.* 2020;11(6):e02472-20. doi: 10.1128/mBio.02472-20.
24. Dastgheyb S., Parvizi J., Shapiro I.M., Hickok N.J., Otto M. Effect of biofilms on recalcitrance of staphylococcal joint infection to antibiotic treatment. *J Infect Dis.* 2015;211(4):641-650. doi: 10.1093/infdis/jiu514.
25. Gilbertie J.M., Schaer T.P., Schubert A.G., Jacob M.E., Menegatti S., Ashton Lavoie R. et al. Platelet-rich plasma lysate displays antibiofilm properties and restores antimicrobial activity against synovial fluid biofilms in vitro. *J Orthop Res.* 2020;38(6):1365-1374. doi: 10.1002/jor.24584.
26. Pestrak M.J., Gupta T.T., Dusane D.H., Guziar D.V., Staats A., Harro J. et al. Investigation of synovial fluid induced *Staphylococcus aureus* aggregate development and its impact on surface attachment and biofilm formation. *PLoS One.* 2020;15(4):e0231791. doi: 10.1371/journal.pone.0231791.
27. Josse J., Valour F., Maali Y., Diot A., Batailler C., Ferry T. et al. Interaction Between Staphylococcal Biofilm and Bone: How Does the Presence of Biofilm Promote Prosthesis Loosening? *Front Microbiol.* 2019;10:1602. doi: 10.3389/fmicb.2019.01602.
28. Smith I.D.M., Milto K.M., Doherty C.J., Amey S.G.B., Simpson A.H.R.W., Hall A.C. A potential key role for alpha-haemolysin of *Staphylococcus aureus* in mediating chondrocyte death in septic arthritis. *Bone Joint Res.* 2018;7(7):457-467. doi: 10.1302/2046-3758.77.BJR-2017-0165.R1.
29. Nair R., Schweizer M.L., Singh N. Septic Arthritis and Prosthetic Joint Infections in Older Adults. *Infect Dis Clin North Am.* 2017;31(4):715-729. doi: 10.1016/j.idc.2017.07.013.
30. Elsissy J.G., Liu J.N., Wilton P.J., Nwachuku I., Gowd A.K., Amin N.H. Bacterial Septic Arthritis of the Adult Native Knee Joint: A Review. *JBJS Rev.* 2020;8(1):e0059. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00059.
31. Gaulke R., Krettek C. Adult onset septic coxitis : etiology, diagnostics, indication for and technique of open revision of the hip. *Unfallchirurg.* 2012;115(11):977-981. (In German). doi: 10.1007/s00113-012-2205-0.
32. Ross K., Mehr J., Carothers B., Greeley R., Benowitz I., McHugh L., et al. Outbreak of Septic Arthritis Associated with Intra-Articular Injections at an Outpatient Practice – New Jersey, 2017. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2017;66(29):777-779. doi: 10.15585/mmwr.mm6629a3.
33. Costales C., Butler-Wu S.M. A Real Pain: Diagnostic Quandaries and Septic Arthritis. *J Clin Microbiol.* 2018;56(2):e01358-17. doi: 10.1128/JCM.01358-17.
34. Long B., Koyfman A., Gottlieb M. Evaluation and Management of Septic Arthritis and its Mimics in the Emergency Department. *West J Emerg Med.* 2019;20(2):331-341. doi: 10.5811/westjem.2018.10.40974.
35. Lum Z.C., Shieh A.K., Meehan J.P. Native Adult Hip with Bacterial Septic Arthritis. *JBJS Rev.* 2018;6(10):e2. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00211.

36. Harada K., McConnell I., DeRycke E.C., Holleck J.L., Gupta S. Native Joint Septic Arthritis: Comparison of Outcomes with Medical and Surgical Management. *South Med J.* 2019;112(4):238-243. doi: 10.14423/SMJ.0000000000000958.
37. Manadan A.M., Block J.A. Daily needle aspiration versus surgical lavage for the treatment of bacterial septic arthritis in adults. *Am J Ther.* 2004;11(5):412-415. doi: 10.1097/01.mph.0000087296.80768.1e.
38. Maneiro J.R., Souto A., Cervantes E.C., Mera A., Carmona L., Gomez-Reino J.J. Predictors of treatment failure and mortality in native septic arthritis. *Clin Rheumatol.* 2015;34(11):1961-1967. doi: 10.1007/s10067-014-2844-3.
39. Clerc O., Prod'homme G., Greub G., Zanetti G., Senn L. Adult native septic arthritis: are-view of 10 years of experience and lessons for empirical antibiotic therapy. *J Antimicrob Chemother.* 2011;66(5):1168-1173. doi: 10.1093/jac/dkr047.
40. Ravn C., Neyt J., Benito N., Abreu M.A., Achermann Y., Bozhkova S. et al. Guideline for management of septic arthritis in native joints (SANJO). *J Bone Jt Infect.* 2023;8(1):29-37. doi: 10.5194/jbji-8-29-2023.
41. Li H.K., Rombach I., Zambellas R., Walker A.S., McNally M.A., Atkins B.L. et al. Oral versus Intravenous Antibiotics for Bone and Joint Infection. *N Engl J Med.* 2019;380(5):425-436. doi: 10.1056/NEJMoa1710926.
42. Earwood J.S., Walker T.R., Sue G.J.C. Septic Arthritis: Diagnosis and Treatment. *Am Fam Physician.* 2021;104(6):589-597.
43. Wang J., Wang L. Novel therapeutic interventions towards improved management of septic arthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):530. doi: 10.1186/s12891-021-04383-6.
44. Riool M., de Breij A., Drijfhout J.W., Nibbering P.H., Zaai S.A.J. Antimicrobial Peptides in Biomedical Device Manufacturing. *Front Chem.* 2017;5:63. doi: 10.3389/fchem.2017.00063.
45. Mwangi J., Hao X., Lai R., Zhang Z.Y. Antimicrobial peptides: new hope in the war against multidrug resistance. *Zool Res.* 2019;40(6):488-505. doi: 10.24272/j.issn.2095-8137.2019.062.
46. Luong T., Salabarria A.C., Roach D.R. Phage Therapy in the Resistance Era: Where Do We Stand and Where Are We Going? *Clin Ther.* 2020;42(9):1659-1680. doi: 10.1016/j.clinthera.2020.07.014.
47. Kutateladze M., Adamia R. Bacteriophages as potential new therapeutics to replace or supplement antibiotics. *Trends Biotechnol.* 2010;28(12):591-595. doi: 10.1016/j.tibtech.2010.08.001.
48. Taati Moghadam M., Khoshbayan A., Chegini Z., Farahani I., Shariati A. Bacteriophages, a New Therapeutic Solution for Inhibiting Multidrug-Resistant Bacteria Causing Wound Infection: Lesson from Animal Models and Clinical Trials. *Drug Des Devel Ther.* 2020;14:1867-1883. doi: 10.2147/DDDT.S251171.
49. Ruythooren F., Ghijssels S., Cools J., Depypere M., De Munter P., Metsemakers W.J. et al. Should treatment decisions in septic arthritis of the native hip joint be based on the route of infection? *J Bone Jt Infect.* 2023;8(5):209-218. doi: 10.5194/jbji-8-209-2023.
50. Blitzer C.M. Arthroscopic management of septic arthritis of the hip. *Arthroscopy.* 1993;9(4):414-416. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80315-9.
51. Bould M., Edwards D., Villar R.N. Arthroscopic diagnosis and treatment of septic arthritis of the hip joint. *Arthroscopy.* 1993;9(6):707-708. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80513-4.
52. Bedi A., Kelly B.T., Khanduja V. Arthroscopic hip preservation surgery: current concepts and perspective. *Bone Joint J.* 2013;95-B(1):10-19. doi: 10.1302/0301-620X.95B1.29608.
53. Lee Y.K., Park K.S., Ha Y.C., Koo K.H. Arthroscopic treatment for acute septic arthritis of the hip joint in adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(4):942-945. doi: 10.1007/s00167-012-2283-0.
54. Fukushima K., Uekusa Y., Koyama T., Ohashi Y., Uchiyama K., Takahira N. et al. Efficacy and safety of arthroscopic treatment for native acute septic arthritis of the hip joint in adult patients. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):318. doi: 10.1186/s12891-021-04195-8.
55. Flores-Robles B.J., Jiménez Palop M., Sanabria Sanchinel A.A., Andrus R.F., Royuela Vicente A., Sanz Pérez M.I. et al. Medical Versus Surgical Approach to Initial Treatment in Septic Arthritis: A Single Spanish Center's 8-Year Experience. *J Clin Rheumatol.* 2019;25(1):4-8. doi: 10.1097/RHU.0000000000000615.
56. Kim C.H., Aditya K., Lee S.J., Kim H.J., Yoon K.S., Kim H.J. et al. Arthroscopic treatment of psoas abscess concurrent with septic arthritis of the hip joint. *Hip Int.* 2018;28(3):336-340. doi: 10.5301/hipint.5000579.
57. Nussem I., Jabur M.K., Playford E.G. Arthroscopic treatment of septic arthritis of the hip. *Arthroscopy.* 2006;22(8):902.e1-3. doi: 10.1016/j.arthro.2005.12.057.
58. de SA D., Cargnelli S., Catapano M., Peterson D., Simunovic N., Larson C.M. et al. Efficacy of Hip Arthroscopy for the Management of Septic Arthritis: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2015;31(7):1358-1370. doi: 10.1016/j.arthro.2014.12.028.
59. Stutz G., Kuster M.S., Kleinstück F., Gächter A. Arthroscopic management of septic arthritis: stages of infection and results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(5):270-274. doi: 10.1007/s001670000129.
60. Schröder J.H., Krüger D., Perka C., Hufeland M. Arthroscopic Treatment for Primary Septic Arthritis of the Hip in Adults. *Adv Orthop.* 2016;2016:8713037. doi: 10.1155/2016/8713037.
61. Khazi Z.M., Cates W.T., An Q., Duchman K.R., Wolf B.R., Westermann R.W. Arthroscopy Versus Open Arthrotomy for Treatment of Native Hip Septic Arthritis: An Analysis of 30-Day Complications. *Arthroscopy.* 2020;36(4):1048-1052. doi: 10.1016/j.arthro.2019.10.008.
62. Souza Miyahara H.d., Helito C.P., Oliva G.B., Aita P.C., Croci A.T., Vicente J.R. Clinical and epidemiological characteristics of septic arthritis of the hip, 2006 to 2012, a seven-year review. *Clinics (Sao Paulo).* 2014;69(7):464-468. doi: 10.6061/clinics/2014(07)04.
63. Goldenberg D.L. Septic arthritis. *Lancet.* 1998;351(9097):197-202. doi: 10.1016/S0140-6736(97)09522-6.
64. D'Angelo F., Monestier L., Zagra L. Active septic arthritis of the hip in adults: what's new in the treatment? A systematic review. *EFORT Open Rev.* 2021;6(3):164-172. doi: 10.1302/2058-5241.6.200082.
65. Romanò C.L., Romanò D., Meani E., Logoluso N., Drago L. Two-stage revision surgery with preformed spacers and cementless implants for septic hip arthritis: a prospective, non-randomized cohort study. *BMC Infect Dis.* 2011;11:129. doi: 10.1186/1471-2334-11-129.
66. Anagnostakos K., Duchow L., Koch K. Two-stage protocol and spacer implantation in the treatment of destructive septic arthritis of the hip joint. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(7):899-906. doi: 10.1007/s00402-016-2455-3.
67. Shen H., Wang Q.J., Zhang X.L., Jiang Y. Novel articulating medullary-sparing spacer for the treatment of infectious hip arthritis. *Orthopedics.* 2013;36(4):e404-e408. doi: 10.3928/01477447-20130327-13.

68. Papanna M.C., Chebbout R., Buckley S., Stockley I., Hamer A. Infection and failure rates following total hip arthroplasty for septic arthritis: a case-controlled study. *Hip Int.* 2018;28(1):63-67. doi: 10.5301/hipint.5000538.
69. Николаев Н.С., Карпухин А.С., Максимов А.Л., Степанов Е.Г., Пчелова Н.Н., Малюченко Л.И. Опыт лечения больных с неспецифическим кокситом методом двухэтапного эндопротезирования. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2020;4(42):5-13. doi: 10.17238/issn2226-2016.2020.4.5-13.
- Nikolaev N.S., Karpukhin A.S., Maksimov A.L., Stepanov E.G., Pchelova N.N., Malyuchenko L.I. Experience in the treatment of patients with nonspecific coxitis using two-stage endoprosthetics. *The Department of Traumatology and Orthopedics.* 2020;4(42):5-13. doi: 10.17238/issn2226-2016.2020.4.5-13.
70. Balato G., de Matteo V., Ascione T., de Giovanni R., Marano E., Rizzo M. et al. Management of septic arthritis of the hip joint in adults. A systematic review of the literature. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22 (Suppl 2):1006. doi: 10.1186/s12891-021-04843-z.
71. Proceedings of the International Consensus on Periprosthetic Joint Infection / Ed. by J. Parvizi, T. Gehrke. 2013. 306 p.
72. Xu C., Kuo F.C., Kheir M., Li X., Chai W., Chen J.Y. Outcomes and predictors of treatment failure following two-stage total joint arthroplasty with articulating spacers for evolutive septic arthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):272. doi: 10.1186/s12891-019-2652-7.
73. Yoon Y.C., Lakhota D., Oh J.K., Moon J.G., Prashant K., Shon W.Y. Is two-stage reimplantation effective for virulent pathogenic infection in a periprosthetic hip? A retrospective analysis. *World J Orthop.* 2015;6(9):712-718. doi: 10.5312/wjo.v6.i9.712.
74. Li W., Fang X., Zhang C., Xu Y., Huang Z., Yu Z. et al. Comparison of efficacy and complications between two types of staging arthroplasty in treating chronic septic hip arthritis: A retrospective clinical study. *Exp Ther Med.* 2019;17(5):4123-4131. doi: 10.3892/etm.2019.7430.
75. Luo H., He C., Zhao Y., Yang G., Hong H. Outcomes of single- vs two-stage primary joint arthroplasty for septic arthritis: a systematic review and meta-analysis. *EFORT Open Rev.* 2023;8(9):672-679. doi: 10.1530/EOR-22-0142.
76. Balato G., Barbaric K., Bićanić G., Bini S., Chen J., Crnogaca K. et al. Hip and Knee Section, Prevention, Surgical Technique: Proceedings of International Consensus on Orthopedic Infections. *J Arthroplasty.* 2019;34(2S):S301-S307. doi: 10.1016/j.arth.2018.09.015.
77. Bettencourt J.W., Wyles C.C., Osmon D.R., Hanssen A.D., Berry D.J., Abdel MP. Outcomes of primary total hip arthroplasty following septic arthritis of the hip: a case-control study. *Bone Joint J.* 2022;104-B(2):227-234. doi: 10.1302/0301-620X.104B2.BJJ-2021-1209.R1.
78. Bochatay E., Del Sel H., Tillet F., Lopreite F. Arthroplasty as a treatment for acute and quiescent septic arthritis in native hips. *Acta Ortop Mex.* 2021;35(1):11-16.
79. Russo A., Cavagnaro L., Chiarlone F., Clemente A., Romagnoli S., Burastero G. Clinical outcomes and survivorship of two-stage total hip or knee arthroplasty in septic arthritis: a retrospective analysis with a minimum five-year follow-up. *Int Orthop.* 2021;45(7):1683-1691. doi: 10.1007/s00264-021-05013-5.
80. Malcolm T.L., Gad B.V., Elsharkawy K.A., Higuera C.A. Complication, Survival, and Reoperation Rates Following Girdlestone Resection Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2015;30(7):1183-1186. doi: 10.1016/j.arth.2015.02.011.
81. Oheim R., Gille J., Schoop R., Mägerlein S., Grimme C.H., Jürgens C. et al. Surgical therapy of hip-joint empyema. Is the Girdlestone arthroplasty still up to date? *Int Orthop.* 2012;36(5):927-933. doi: 10.1007/s00264-011-1351-2.
82. Ikebe S., Sonohata M., Kitajima M., Kawano S., Mawatari M. Total hip arthroplasty following Girdlestone arthroplasty. *J Orthop Sci.* 2018;23(3):532-537. doi: 10.1016/j.jos.2018.01.014.
83. Matthews P.C., Dean B.J., Medagoda K., Gundle R., Atkins B.L., Berendt A.R. et al. Native hip joint septic arthritis in 20 adults: delayed presentation beyond three weeks predicts need for excision arthroplasty. *J Infect.* 2008;57(3):185-190. doi: 10.1016/j.jinf.2008.07.001.
84. Adl Amini D., Wu C.H., Perka C., Bäcker H.C. Cure rate of infections is not an argument for spacer in two-stage revision arthroplasty of the hip. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(4):2199-2207. doi: 10.1007/s00402-022-04463-9.
85. Hipfl C., Karczewski D., Oronowicz J., Pumberger M., Perka C., Hardt S. Total hip arthroplasty for destructive septic arthritis of the hip using a two-stage protocol without spacer placement. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(1):19-28. doi: 10.1007/s00402-021-03981-2.
86. Anagnostakos K., Schmitt E., Orth P. A rare case of acetabulum osteomyelitis mimicking bone sarcoma. *Orthopedics.* 2014;37(8):e750-3. doi: 10.3928/01477447-20140728-94.
87. Zhang C.F., Fang X.Y., Huang Z.D., Bai G.C., Zhang Z.Y., Yang Y. et al. Surgical Management for Chronic Destructive Septic Hip Arthritis: Debridement, Antibiotics, and Single-Stage Replacement is as Effective as Two-Stage Arthroplasty. *Orthop Surg.* 2022;14(6):1175-1185. doi: 10.1111/os.13301.
88. Cho Y.J., Patel D., Chun Y.S., Shin W.J., Rhyu K.H. Novel Antibiotic-Loaded Cement Femoral Head Spacer for the Treatment of Advanced Pyogenic Arthritis in Adult Hip. *J Arthroplasty.* 2018;33(6):1899-1903. doi: 10.1016/j.arth.2017.12.028.
89. Lee Y.K., Won S., Yeom J., Park J.W., Lim S.M., Im J.W., et al. Concomitant Septic Arthritis of the Hip in Patients with Osteonecrosis of the Femoral Head. *Surg Technol Int.* 2019;35:402-405.
90. Portier E., Zeller V., Kerroumi Y., Heym B., Marmor S., Chazerain P. Arthroplasty after septic arthritis of the native hip and knee: retrospective analysis of 49 joints. *J Bone Jt Infect.* 2022;7(2):81-90. doi: 10.5194/jbji-7-81-2022.

Сведения об авторах

✉ Астахов Денис Игоревич

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0009-0007-7129-1553>
e-mail: denmail_69@mail.ru

Артюх Василий Алексеевич — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>
e-mail: artyukhva@mail.ru

Authors' information

✉ Denis I. Astakhov

Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg,
195427, Russia
<https://orcid.org/0009-0007-7129-1553>
e-mail: denmail_69@mail.ru

Vasily A. Artyukh — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>
e-mail: artyukhva@mail.ru

ВАЛЕНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ НЕВЕРОВ

К 80-летию со дня рождения

27 апреля 2024 г. исполнилось 80 лет со дня рождения и 56 лет врачебной, научной, педагогической и общественной деятельности доктора медицинских наук, заслуженного врача РФ, профессора кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова Валентина Александровича Неверова.

В.А. Неверов родился 27 апреля 1944 г. в семье врачей. Во время обучения в школе он увлеченно занимался рисованием и живописью, неоднократно участвовал в выставках городского и союзного уровня, занимал призовые места. После окончания школы надо было сделать выбор между поступлением в художественный или медицинский институт. По совету родителей была выбрана профессия врача.

В 1962 г. Валентин Александрович поступил и в 1968 г. окончил лечебный факультет Первого Ленинградского медицинского института им. акад. И.П. Павлова. В 1969 г. он окончил интернатуру по общей хирургии, с 1970 по 1973 г. обучался в аспирантуре на кафедре травматологии и ортопедии ЛенГИДУВа и успешно защитил кандидатскую диссертацию «Влияние distraction и компрессии на форму и морфологию кости». Работа была отнесена к разряду фундаментальных исследований. Начиная с 4-го курса обучения в институте, а затем и в аспирантуре Валентин Александрович совмещал учебу с работой врача реанимационно-хирургической бригады скорой помощи. С 1974 г. он работал ассистентом, а с 1986 г. — доцентом кафедры травматологии и ортопедии ЛенГИДУВа.

В 1990 г. Валентин Александрович защитил докторскую диссертацию «Индивидуальное эндопротезирование при переломах и ложных суставах шейки бедра у больных пожилого возраста» и был избран на должность заведующего кафедрой травматологии и ортопедии СПбМАПО с присвоением ученого звания профессора. В 1991 г. он был назначен деканом хирургического факультета.

Основные научные исследования Валентина Александровича Неверова и возглавляемого им коллектива кафедры посвящены реконструктивно-восстановительной хирургии опорно-двигательного аппарата и эндопротезированию суставов. В.А. Неверов первым в нашей стране в 1993 г. выполнил эндопротезирование тазобедренного сустава спустя несколько часов после перелома шейки бедренной кости. Также он



выполнял эндопротезирование у пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости, перенесших трансплантацию почек и находящихся на хроническом гемодиализе.

В НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера Валентин Александрович внедрил в практику эндопротезирование при выраженных деструктивных изменениях суставов и полной утрате функции нижней конечности у детей. За 17-летний период прооперировано около 700 детей и подростков с хорошим результатом.

В 1995 г. профессор В.А. Неверов после стажировки в Германии внедрил в практику российских ортопедов первые зарубежные эндопротезы тазобедренного и коленного суставов. Для реализации этого проекта он многократно выезжал с показательными операциями и обучающими семинарами во многие города России.

В.А. Неверов выступал с научными докладами на многих международных конгрессах в Берлине, Кёльне, Париже, Праге, Милане, Стокгольме.

Он является автором более 450 научных работ, 5 монографий, одна из которых «Ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава» (1997) является первой в стране на столь актуальную тему и получила высокую оценку и признание у специалистов. Валентин Александрович

написал главы в нескольких фундаментальных руководствах, 14 методических рекомендаций, имеет 35 патентов на изобретение.

Под руководством профессора В.А. Неверова защищены 4 докторских и 14 кандидатских диссертаций.

Профессор В.А. Неверов является президентом Ассоциации травматологов-ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области, членом редколлегии журнала «Вестник хирургии имени И.И. Грекова», членом объединенного диссертационного совета по травматологии и ортопедии 99.0.008.02.

Огромный вклад внес В.А. Неверов в подготовку кадров ортопедов-травматологов — на кафедре

прошли обучение и переподготовку около 14000 специалистов из всех регионов России и некоторых зарубежных стран.

Заслуги В.А. Неверова высоко оценены государством — ему присвоено почетное звание «Заслуженный врач Российской Федерации» (1998).

Валентин Александрович — счастливый семьянин, имеет двух взрослых детей и внука. Жена и дочь также работают врачами, сын — экономист.

Трудолюбие, широкий кругозор, блистательная хирургическая техника, высокое педагогическое мастерство, принципиальность и чуткость к коллегам, учащимся и пациентам снискали глубокое уважение к Валентину Александровичу.

Коллектив кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ СЗГМУ им. И.И. Мечникова поздравляет Валентина Александровича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов на благо нашего Отечества!

Редколлегия журнала «Травматология и ортопедия России» присоединяется к поздравлениям.



Памяти Кристапса Юриса Кегги – иностранного члена Российской академии наук

В.В. Даниляк¹, В.Э. Дубров², В.П. Абельцев³

¹ ГБУЗ ЯО «Ярославский областной клинический госпиталь ветеранов войн – международный центр по проблемам пожилых людей «Здоровое долголетие», г. Ярославль, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия

³ ФГБУ «Объединенная больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, г. Москва, Россия

Реферат

Кристапс Юрис Кегги родился 9 августа 1934 г. в Риге в семье хирурга Яниса Кегги. В 1944 г. семья переехала в Германию, а затем в США, где Кристапс получил медицинское образование в Йельском университете. В 1966 г. он стал доцентом ортопедической школы университета и сосредоточился на эндопротезировании тазобедренного и коленного суставов. В 70-е гг. XX века Кристапс Кегги разработал прямой передний доступ к тазобедренному суставу и начал выполнять артропластику по малоинвазивной методике. За годы работы в клиниках Нью-Хейвена и Уотербери, Коннектикут, он выполнил более 10 000 эндопротезирований по предложенной технологии, стал автором 135 научных трудов и монографий. В 1989 г. Кристапс получил звание клинического профессора ортопедии и реабилитации Йельской медицинской школы, а в 2008 г. стал полным профессором. За это время он подготовил сотни резидентов и стал основателем собственной ортопедической школы. Кегги был известен множеством инновационных технологий, нашедших широкое распространение во всем мире. В 1988 г. Кегги организовал некоммерческий Ортопедический фонд для обеспечения образовательных программ официальных академических обменов между США и республиками СССР. В течение 10 лет более 300 врачей из России, Белоруссии, Украины, стран Балтии, Средней Азии, Вьетнама и Восточной Германии получили стипендии и возможность познакомиться с основами эндопротезирования крупных суставов. Параллельно он выезжал на места с лекциями, семинарами и показательными операциями. За выдающиеся заслуги перед отечественным здравоохранением в 1993 г. он был избран иностранным членом Российской академии медицинских наук, а впоследствии – Российской академии наук. В 2012 г. профессору Кегги была вручена серебряная медаль «За врачебное достоинство и заслуги перед российской медициной». Блестящий хирург, изобретатель, ученый и учитель, успешный спортсмен, филантроп, Кристапс Юрис Кегги ушел из жизни 4 июля 2023 года, оставив в наших сердцах чувство глубокого уважения и яркие впечатления от общения с ним.

Ключевые слова: Кристапс Кегги, передний малоинвазивный доступ к тазобедренному суставу, артропластика.

Для цитирования: Даниляк В.В., Дубров В.Э., Абельцев В.П. Памяти Кристапса Юриса Кегги – иностранного члена Российской академии наук. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):208-214. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17561>.

Даниляк Владимир Викторович; e-mail: v-danilyak@mail.ru

Рукопись получена: 21.05.2024. Статья опубликована онлайн: 20.06.2024.

© Даниляк В.В., Дубров В.Э., Абельцев В.П., 2024



In Memory of Kristaps Juris Keggi – A Foreign Member of the Russian Academy of Sciences

Vladimir V. Danilyak¹, Vadim E. Dubrov², Vladimir P. Abeltsev³

¹ Yaroslavl Regional Clinical Hospital of War Veterans – International Center “Healthy Longevity”, Yaroslavl, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³ Joined Hospital with Outpatient Health Center, Administrative Department of the President of the Russian Federation
Moscow, Russia

Abstract

Kristaps Juris Keggi was born on August 9, 1934 in Riga in the family of surgeon Janis Keggi. In 1944, the family moved to Germany and then to the United States, where Kristaps received his medical education at Yale University. In 1966, he became an associate professor at the University's Orthopaedic school and focused on hip and knee arthroplasty. In the 70s of the twentieth century, Kristaps Keggi developed direct anterior approach to the hip joint and started to do arthroplasty using a minimally invasive technique. Over the years, he performed more than 10,000 total hip replacements with his technology at hospitals in New Haven and Waterbury, Connecticut, and authored 135 scientific papers and monographs. In 1989, Kristaps became a Clinical professor of Orthopaedics and Rehabilitation at Yale Medical School and in 2008 was elected a Full professor. During this time, he trained hundreds of residents and became the founder of his own orthopedic school. Keggi was known for a variety of innovative technologies that were widely used all over the world. In 1988, Keggi organized a non-profit Orthopedic Foundation to provide educational programs for official academic exchanges between the United States and the republics of the USSR. For 10 years, more than 300 doctors from Russia, Belarus, Ukraine, the Baltic States, Central Asia, Vietnam and East Germany have received scholarships and the opportunity to learn the basics of the hip and knee arthroplasties. In parallel, he traveled to the clinics with lectures, seminars and demonstration surgeries. For outstanding services to national healthcare, in 1993 he was elected a Foreign Member of the Russian Academy of Medical Sciences and, subsequently, the Russian Academy of Sciences. In 2012, Professor Keggi was awarded the silver medal “For Medical Dignity and Service to Russian Medicine”.

A brilliant surgeon, inventor, scientist and teacher, successful athlete, philanthropist, Kristaps Juris Keggi died on July 4, 2023, leaving in our hearts a feeling of deep respect and vivid impressions from communicating with him.

Keywords: Kristaps Keggi, anterior minimally invasive approach to the hip joint, arthroplasty.

Cite as: Danilyak V.V., Dubrov V.E., Abeltsev V.P. In Memory of Kristaps Juris Keggi – A Foreign Member of the Russian Academy of Sciences. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):208-214. (In Russian).
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17561>.

✉ Vladimir V. Danilyak; e-mail: v-danilyak@mail.ru

Submitted: 21.05.2024. Published: 20.06.2024.

© Danilyak V.V., Dubrov V.E., Abeltsev V.P., 2024

4 июля 2023 г. в возрасте 88 лет ушел из жизни Кристапс Юрис Кегги, профессор ортопедии и реабилитации Медицинской школы Йельского университета, иностранный член РАН, чье имя стало широко известным в травматолого-ортопедическом сообществе уже в 70-е гг. XX века.

К концу 1980-х гг. тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава в России выполнялось в редких столичных клиниках, в регионах делали лишь единичные операции. Связанный цельнометаллический эндопротез К.М. Сиваша выпускался малыми партиями и не соответствовал общепринятым тенденциям. Потребность в эндопротезировании была огромной, зарубежные производители имплантатов на российский рынок еще не пришли, знаний, навыков и организации катастрофически не хватало. Именно тогда в СССР впервые приехал американский травматолог-ортопед профессор Кристапс Кегги. Оценив ситуацию и просчитав перспективы, он предложил концепцию развития эндопротезирования в нашей стране, сумел доказать ее необходимость руководству здравоохранения СССР и методично приступил к реализации своей программы.

В 1988 г. он организовал некоммерческий Ортопедический фонд для обеспечения образовательных программ официальных академических обменов между США и республиками СССР. В течение 10 лет более 300 врачей из СССР, а затем из независимых России, Белоруссии, Украины, стран Балтии, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, а также Вьетнама и Восточной Германии получили стипендии и возможность познакомиться с основами эндопротезирования крупных суставов на клинических базах Йельского университета. Параллельно Кегги выезжал на места с лекциями и семинарами, проводил показательные операции. В сентябре 1993 г. он принял активное участие в I Съезде травматологов-ортопедов СНГ в Ярославле, где под его руководством был проведен самый первый в нашей стране международный курс-симпозиум по эндопротезированию тазобедренного сустава. Десятки российских врачей считали его учителем и были благодарны за огромный вклад в свое постдипломное образование и становление в качестве профессионалов.

Авторы этой статьи в разное время учились у Кристапса Кегги и по ряду причин знали его ближе, чем другие. Для нас специализация в больнице г. Уотербери во многом стала переломным моментом в жизни, определившим направление дальнейшего роста и развития. Мы решили рассказать вам об этом экстраординарном человеке и его роли в развитии травматологии и ортопедии в нашей стране и в мире. Приносим глубокую благодарность редакции журнала «Травматология и



Кристапс Юрис Кегги (1934–2023)
Kristaps Juris Keggi (1934–2023)

ортопедия России» за любезное согласие напечатать предлагаемый материал.

Кристапс Юрис Кегги родился 9 августа 1934 г. в Риге. Его отец, Янис Кегги, врач-хирург, работал в клинике Рижского педагогического института, а затем в качестве директора в Алуксненской муниципальной больнице. Дедом по материнской линии был Лудис Берзиньш, известный литературовед и фольклорист, профессор Латвийского университета, поэт, теолог и лютеранский пастор. Написанные им религиозные гимны исполняются в протестантских церквях многих стран мира. В своей автобиографии Кегги писал, что любовь к хирургии он унаследовал от отца, а любовь к языкознанию — от деда. Наверное поэтому Кристапс Кегги был полиглотом — свободно говорил и писал на шести языках, с удовольствием вставляя в свою речь русские слова.

В 1944 г. семья Берзиньшей-Кегги переехала в Германию, а затем в США. Медицинское образование Кристапс получил в Йельском университете. Хирургическая и ортопедическая специализация прошла на базе госпитального центра Святого Луки – Рузвельта в Нью-Йорке и больницы Йель-Нью-Хейвен. Затем в течение года он служил в качестве начальника хирургического отделения мобильного армейского госпиталя в Бьенхоа (Вьетнам). Свой обширный опыт лечения тяжелых боевых травм конечностей Кегги обобщил в курсе инструкторских лекций Американской академии ортопедической хирургии (AAOS) [1].

В 1966 г. Кристапс Кегги стал доцентом ортопедической школы Йельского университета. Круг его интересов был весьма обширен — от оперативного лечения патологии позвоночника до реконструк-

ции связок коленного сустава, но постепенно он сосредотачивается на тотальном эндопротезировании крупных суставов, выполняя до 400 операций ежегодно. В то же время его активная клиническая практика в городской больнице Уотербери, госпитале Святой Марии и Центре эндопротезирования суставов в больнице Йель-Нью-Хейвен сочеталась с преподавательской деятельностью и наставничеством над молодыми докторами и резидентами*.

Прохождение обучения у доктора Кегги всегда считалось вызовом для выпускников Медицинской школы Йеля. Как писал один из его бывших учеников: «Быть резидентом Кегги — одновременно и ответственно, и вдохновляюще. Он пробуждал в нас желание преуспеть и убеждал, что мы сможем этого добиться. Все стремились быть похожими на него...».

В 1989 г. Кегги получил звание клинического профессора ортопедии и реабилитации Йельской медицинской школы. В 2008 г. он стал полным профессором кафедры ортопедии, а после прекращения лечебной деятельности остался ее почетным профессором, продолжая заниматься образовательными программами, клиническими исследованиями и публикациями. Он был автором 135 научных трудов и монографий, посвященных оперативному лечению боевых травм, заболеваний позвоночника и артропластике крупных суставов.

В США Кристапса Кегги считают пионером прямого переднего доступа к тазобедренному суставу, заслуженно названного его именем [2]. Идея доступа возникла в начале 1960-х гг. при прохождении им резидентуры под руководством Фредерика Томпсона. Его гемипротезы с короткой изогнутой

ножкой имплантировали из широкого переднего доступа Смита–Петерсена с отслойкой мышц абдукторов от гребня и тела подвздошной кости. Кристапс предложил ограничиться использованием дистальной половины этого классического доступа. Главным преимуществом считалось прохождение вертикального разреза в пространстве между верхним ягодичным и латеральным бедренным кожным нервами, без пресечения их ветвей (рис. 1).

Операцию выполняли на обычном хирургическом столе в положении пациента на спине с валиком под ягодичной областью. Кожный разрез начинался на два сантиметра каудальнее передней верхней подвздошной ости и проходил по пологой дуге к середине большого вертела. Основное отличие от популярного и широко рекламируемого сегодня прямого переднего доступа заключалось в том, что капсулу сустава обнажали не через межмышечный промежуток, а путем продольного расслоения напрягателя широкой фасции по его передневнутреннему краю. Это существенно облегчало обработку медуллярного канала и сохраняло неповрежденной восходящую ветвь латеральной артерии, огибающей бедренную кость.

В ходе анатомического исследования авторы детально разработали этапы мобилизации проксимального отдела бедра, предложили способы расширения доступа за счет клиновидной остеотомии бедренной кости и доказали возможность его использования при ревизионных вмешательствах.

В клинической практике доступ был применен в 1970 г. Стендовый доклад на научной выставке ежегодной встречи AAOS прозвучал в 1977 г. в Лас-Вегасе, а статья о среднесрочных результатах первых 100 артропластик тазобедренного сустава была напечатана в 1980 г. [3]. К моменту нашего обучения в начале 1990-х гг. профессор Кегги уже выполнил более трех тысяч подобных операций.

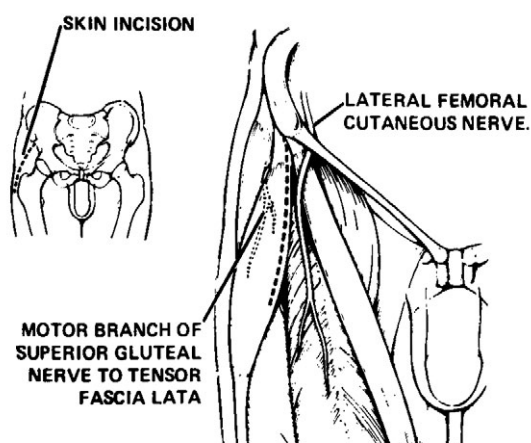


Рис. 1. Кожный разрез и линия продольного расщепления напрягателя широкой фасции бедра при переднем доступе Light–Keggi [3]

Fig. 1. Skin incision and line of longitudinal splitting of the tensor fasciae latae muscle in the Light–Keggi anterior approach [3]

* Резидентура — форма получения послевузовского углубленного медицинского образования по клиническим специальностям за рубежом.

В то время в ортопедии еще не существовало понятия «малоинвазивный доступ» к тазобедренному суставу. Кристапса Кегги можно смело назвать первопроходцем этой технологии. Длина основного разреза не превышала 8–9 см (рис. 2). Штангу полусферической фрезы он заводил через контрапертуру в средней трети бедра, причем шаровидную фрезу соединял с ней непосредственно в ране. При использовании длинных бедренных рашпелей и цилиндрических сверел выполнял дополнительный двухсантиметровый разрез в ягодичной области с формированием тоннеля в мягких тканях, чтобы разрабатывать интрамедуллярный канал «напрямую» (рис. 3). Похожие технические приемы профессор Р. Бергер из Университетской клиники Раша в Чикаго описал лишь 15 лет спустя. Отметим, что, оперируя из прямого переднего доступа, Кегги не пользовался ортопедическим столом, специальной подсветкой и автоматическими ранорасширителями. Рентгенологический контроль рутинно не применялся.

Кристапс был почти двухметровым ростом и обладал большой физической силой — поднимая одной рукой с помощью индивидуально изготовленного однозубого крючка бедро и выводя его в рану, другой рукой он обрабатывал канал фигурным рашпилем. Именно поэтому физически менее сильные ортопеды не могли повторить его оперативную технику эндопротезирования, и доступ не нашел повсеместного распространения.

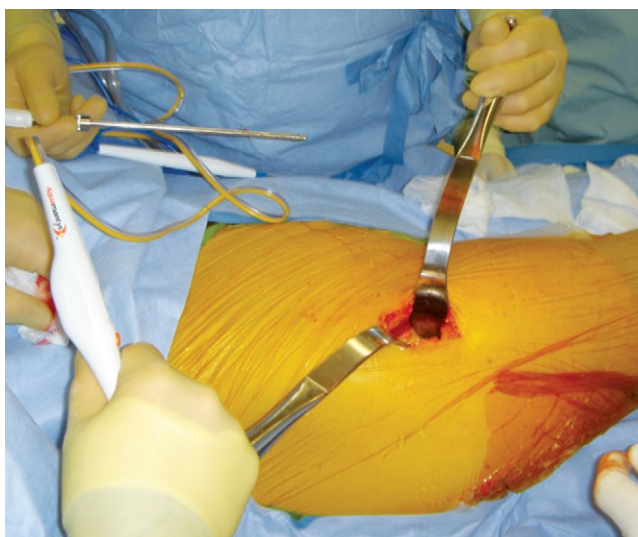


Рис. 2. Кожный разрез при минимально инвазивном доступе Light – Keggi (с любезного согласия профессора К.Ю. Кегги)

Fig. 2. Skin incision in the Light-Keggi minimally invasive approach (by courtesy of professor K.J. Keggi)

Новаторство Кристапса Кегги проявлялось не только в оперативном доступе. Он гордился личной дружбой с Х. Миттельмейером и был горячим сторонником применения керамических головок. В повседневной практике использовал до пяти вариантов бесцементных ножек у пациентов с различной формой медуллярного канала (HJD, Optifix, Alloclassic, Taperloc, Richards modular system). Исходя из современных воззрений, очевидно, что уже в начале 1990-х гг. Кегги менял подход к первичной фиксации ножки в зависимости от анатомических особенностей и качества кости больного (“fit & fill”, “fit without fill”, single wedge, metaphyseal filling). Он очень любил ножку S-ROM, имеющую модульную проксимальную втулку и круглое сечение, что позволяло подобрать угол антеверсии при дисплазии бедра. Кристапс образно называл эту ножку “Sivashevich”, отдавая дань конструкции эндопротеза Сиваша.

Тяжелые ацетабулярные дисплазии Кристапс оперировал, используя технику котилопластики дна впадины с медиальным позиционированием бесцементной чашки по методике, практически, неизвестной в то время в США [4].

Его приемы купирования глубокой инфекции путем установки протезного спейсера с армированием цементной мантии серкляжной проволокой для облегчения ее удаления единым блоком чрезвычайно актуальны и в наши дни. Уникальной являлась предложенная им денервация тазобедрен-

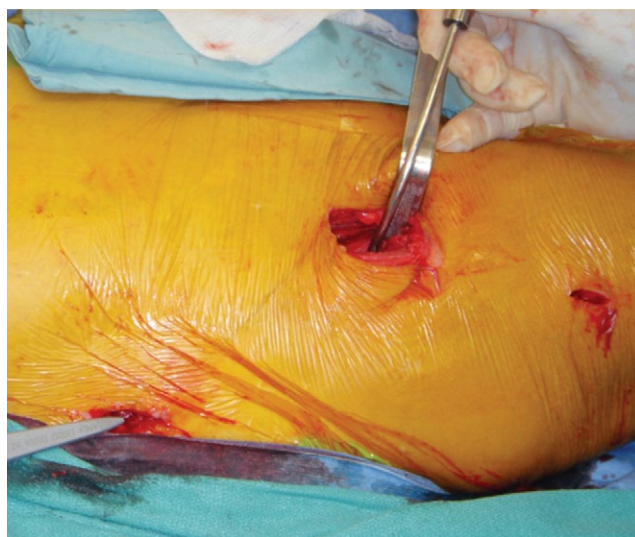


Рис. 3. Контрапертуры для введения штанги полусферической фрезы, рашпелей и прямой ножки эндопротеза (с любезного согласия профессора К.Ю. Кегги)

Fig. 3. Contraincisions made to insert the bar of a hemispherical reamer, rasps and the straight stem of a prosthesis (by courtesy of professor K.J. Keggi)

ренного сустава из переднего минидоступа при начальных стадиях коксартроза в рамках хирургии одного дня.

Одним из первых в США К. Кегги уже в конце 1980-х начал успешно применять эндопротезы коленного сустава бесцементной фиксации, что только сейчас начинает находить широкое применение. Предложенный им и описанный его резидентом Р.А. Keblish метод денервации надколенника при артропластике коленного сустава, стал обязательным элементом этого вмешательства.

Работоспособность и трудолюбие профессора Кегги поражали. Каждый день был расписан по минутам. Ранний подъем около 5:30 утра, обязательная гимнастика с тренажерами, приезд в клинику и первая операция обычно в 7:30. Крис, человек остроумный, любящий шутки и забавные истории, в операционной был на удивление немногословен. Обычно перед разрезом он говорил: “Let’s do it” («Давайте сделаем это»), а накладывая последний шов: “We did it” («Мы сделали это»).

Переходя из операционной в операционную, он выполнял ежедневно 5–6 вмешательств, включая ревизии. Имплантация эндопротеза цементной фиксации занимала в среднем 30–35 минут, бесцементное эндопротезирование коленного сустава — 25–30 минут. Это была по-настоящему сложная работа, когда все понимали друг друга без слов, цемент замешивался одновременно с началом рассверливания кости, а циркулирующая сестра* параллельно приносила имплантат необходимого размера. Кегги постоянно подчеркивал, что артропластика — это не «театр одного актера», а командная работа, где каждый член операционной бригады по-своему ценен и незаменим.

В 17:00 — ежедневный обход прооперированных больных и планирование операций на завтра. Дважды в неделю — работа в офисе: динамическое наблюдение за оперированными и подбор новых пациентов. Профессор Кегги говорил, что эндопротезирование — это не просто операция, а процесс, который связывает врача и пациента и продолжается всю их оставшуюся жизнь, поэтому постоянный контроль за состоянием больного и имплантата позволяет избежать обширных разрушений окружающих тканей и уменьшить объем будущих ревизий. Организация системы мониторинга — неотъемлемая часть работы ортопеда, занимающегося артропластикой крупных суставов.

Важную часть жизни Кристапса Кегги составляла его семья. С горячо любимой женой Джулией они прожили в счастливом браке 64 года, воспитали трех дочерей, пять внуков и внучек. Джулия

осуществляла финансовую поддержку его некоммерческого Ортопедического фонда.

Физически сильный и активный до глубокой старости, Кегги был прекрасным спортсменом. Капитан студенческой команды Йельского университета по фехтованию, мастер академической гребли, участник шести марафонских забегов, страстный игрок в гольф, организатор ежегодного международного тура «Keggi Velo», он сумел привить любовь к спорту своим дочерям. Средняя дочь Мара участвовала в летних Олимпийских играх 1988 г. в заплывах двоек распашных, а младшая, Кэролайн, — профессиональная гольфистка, призер LPGA Tour.

Необходимо отметить еще одну важную черту характера профессора Кегги — его безграничную преданность альма-матер, Йельскому университету. Активный участник всех мероприятий медицинской школы, меценат и филантроп, он пожертвовал много личных средств на оснащение библиотеки и строительство учебного корпуса университета.

За годы плодотворной работы Кристапс Юрис Кегги был удостоен большого количества национальных и международных премий, орденов, наград и четырех почетных докторских степеней. В 1993 г. в знак признания заслуг перед мировым научным сообществом он был избран иностранным членом Российской академии медицинских наук (впоследствии Российской академии наук) — за всю историю академии единственным среди травматологов-ортопедов. В 2012 г. во время последнего визита в Россию профессору Кегги была вручена серебряная медаль «За врачебное достоинство и заслуги перед российской медициной».

В 2022 г. Кристапс Кегги издал биографическую книгу: «Мой век: мемуары о войне, мире и новаторстве в операционной» [5]. В ней он с присущим ему юмором и самоиронией описывает свои встречи с многочисленными людьми в разных странах мира, рассказывает о тернистом пути инноваций, борьбе за их внедрение и достижение успеха.

Конечно, невозможно, перечислить все черты характера и достоинства Кристапса Кегги, блестящего хирурга, изобретателя, ученого, учителя и воспитателя нескольких поколений ортопедов, создателя собственной школы с сотнями последователей, благородного человека, филантропа и джентльмена. Человека, знакомством с которым гордились многие граждане нашей страны — от президента АМН В.И. Покровского и Главного травматолога-ортопеда СССР В.В. Кузьменко

**Медсестра-циркулятор* — это дипломированная медсестра, которая помогает хирургам и другим медицинским работникам во время хирургических процедур.

до обычных пациентов, которых он оперировал в больницах, институтах, госпиталях СССР и России.

Для нас он остается воплощением личности, успешной во всех своих начинаниях, и примером

для подражания. Мы всегда будем помнить о его вкладе в развитие российской травматологии и ортопедии и сохраним в наших сердцах чувство глубокого уважения и яркие впечатления от общения с профессором Кристапсом Кегги.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

DISCLAIMERS

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Keggi K.J., Southwick W.O. Early care of severe extremity wounds: a review of the Vietnam experience and its civilian application. AAOS Instructional Course lectures. Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1970. Vol. XIX. p.183-203.
2. Ball B.S., Rubin L.E., Keggi K.J. The Direct Anterior Approach to Hip Reconstruction. Thorofare: SLACK Incorporated; 2016. 450 p.
3. Light T.R., Keggi K.J. Anterior approach to hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(152):255-260.
4. Hartofilakidis G., Stamos K., Ioannidis T.T. Low friction arthroplasty for old untreated congenital dislocation of the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(2):182-186. doi: 10.1302/0301-620X.70B2.3346284.
5. Keggi K.J. My Century: A memoir of war, peace and pioneering in the operating room. 2022. 377 p.

Сведения об авторах

✉ Даниляк Владимир Викторович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 150047, г. Ярославль, ул. Угличская, д. 40
<https://orcid.org/0009-0004-8366-7499>
e-mail: v-danilyak@mail.ru

Дубров Вадим Эрикович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com

Абельцев Владимир Петрович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0009-0002-7851-4848>
e-mail: amos-k@mail.ru

Authors' information

✉ Vladimir V. Danilyak — Cand. Sci. (Med.)
Address: 40, Uglichskaya st., Yaroslavl, 150047, Russia
<https://orcid.org/0009-0004-8366-7499>
e-mail: v-danilyak@mail.ru

Vadim E. Dubrov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com

Vladimir P. Abeltsev — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0009-0002-7851-4848>
e-mail: amos-k@mail.ru

Препараты гиалуроновой кислоты в травматологии и ортопедии. Ортобиологические аспекты. ПРОЕКТ КОНСЕНСУСА

Межрегиональная общественная организация «Общество регенеративной травматологии и ортопедии» (ОРТО)
Общероссийская общественная организация «Ассоциация травматологов-ортопедов России» (АТОР)
Медицинская ассоциация специалистов по остеонекрозу (МАПО)

Аннотация

Предварительная версия, принята на V Конгрессе ОРТОБИОЛОГИЯ 2024 «Консенсусы в клинической практике» (19–20 апреля 2024 года). Финальная версия будет опубликована после учета замечаний рецензентов и экспертной группы. Создание согласительного документа по применению инъекционных препаратов на основе гиалуроновой кислоты для оптимизации регламентов их использования при различных патологиях опорно-двигательного аппарата. Описаны механизмы действия, биологические эффекты, клиническая эффективность и безопасность применения препаратов гиалуроновой кислоты при различных патологических состояниях. Представлены юридические основы, научные и клинические перспективы терапии препаратами гиалуроновой кислоты в клинической практике.

Hyaluronic Acid in Traumatology and Orthopedics. Orthobiological Aspects. CONSENSUS PROJECT

Society of Regenerative Traumatology and Orthopedics
Association of Orthopaedists and Traumatologists of the Russian Federation (AOTRF)
Medical Association of Osteonecrosis Specialists

Abstract

The article presents a preliminary version accepted at the V Congress Orthobiologics 2024 «Consensus in clinical practice» (19-20 Apr 2024). The final version will be published as soon as the reviewers' and expert group's comments are implemented. The consensus paper on the use of hyaluronic acid-based injectants has been created. The paper is aimed to optimize their use regulations in various musculoskeletal disorders. The mechanisms of action, biological effects, clinical efficiency and safety of use of hyaluronic acid in various pathological conditions are described. Legal fundamentals, scientific and clinical perspectives of using hyaluronic acid therapy in clinical practice are presented.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Заболеваемость патологиями опорно-двигательного аппарата продолжает расти в глобальном масштабе, вызывая значительные социально-экономические последствия и снижая качество жизни пациентов. Наиболее распространенными заболеваниями, поражающими скелетно-мышечные структуры, являются остеоартрит и тендинопатии, вызывающие значительный болевой синдром и нарушение функции. Внутрисуставное и внесуставное введение гиалуроновой кислоты (ГК) является безопасным, эффективным и минимально инвазивным терапевтическим средством для лечения этих заболеваний. ГК используется для лечения с 1970-х гг. благодаря ее уникальным физико-химическим свойствам и биологическим функциям, поскольку эта молекула устанавливает прочное взаимодействие с клетками и внеклеточным матриксом [1].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Гиалуроновая кислота — высокомолекулярный полисахарид, широко распространенный во внеклеточном матриксе соединительной ткани, полимер повторяющихся дисахаридных единиц N-ацетилглюкозамина и глюкуроновой кислоты. ГК вырабатывается и экстрадируется в синовиальную жидкость синовиоцитами, фибробластами,

хондроцитами и служит важным компонентом синовиальной жидкости. В чистом виде гиалуроновая кислота одинакова для всех организмов и не является видовой или тканеспецифичной [2].

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время промышленное производство ГК основано либо на экстракции ГК из тканей животных, либо на крупномасштабной бактериальной ферментации с использованием генетически модифицированных штаммов [3].

Экстракция из тканей животных

ГК выделяется из стекловидного тела и синовиальной жидкости крупного рогатого скота, пуповины человека, петушиных гребешков. ГК, полученная из тканей животных, имеет естественную высокую молекулярную массу и в промышленных масштабах производится из петушиных гребней, где содержание ГК максимальное [4].

Слабые стороны экстракции ГК из тканей животных связаны с техническими ограничениями из-за жестких условий экстракции, измельчения, кислотной обработки и использования органических растворителей, которые приводят к неконтролируемой деградации ГК; наличием примесей нежелательных загрязняющих белков, поскольку

ку существует вероятность того, что они вызовут иммунный ответ; потенциальным риском загрязнения ГК нуклеиновыми кислотами, прионами и вирусами, что может привести к передаче инфекционных заболеваний; экономически обременительным производством, так как извлечение ГК из тканей животных является дорогостоящим и трудоемким по сравнению с другими способами получения ГК [5–7].

Бактериальная ферментация гиалуроновой кислоты

На ранней стадии производства ГК путем бактериальной ферментации использовались стрептококки групп А и С, однако эти бактерии производят ряд токсинов, поэтому промышленные производства отказываются от них в пользу альтернативных микроорганизмов. Ряд бактерий (*Bacillus*, *Agrobacterium*, *E. coli* и *Lactococcus*) были генетически модифицированы для экспрессии генов HAS и производства ГК. Под эти микроорганизмы, свободные от экзотоксинов и эндотоксинов, оптимизированы культуральные среды и условия культивирования, а конечные продукты ГК в целом признаны максимально безопасными.

Доля бактериальных препаратов на рынке выше, так как при переработке 1 л бактериального сырья выход ГК составляет 5–6 г, а при переработке 1 кг животного сырья выход колеблется от 0,5 до 6 г [8–10].

Бесклеточное производство гиалуроновой кислоты (система *in vitro*)

Использование интегральных мембранных белков — генов HAS класса I и HAS класса II позволяет синтезировать ГК *in vitro*. Бесклеточное производство ГК в настоящее время возможно в лабораторных условиях, но не в коммерческих масштабах. Система бесклеточного производства (*in vitro*) рассматривается как очень перспективная, потому что она позволяет получить ГК строго заданной желательной молекулярной массы и избежать загрязнения ГК примесными белками, нуклеиновыми кислотами и токсинами [11–13].

РОЛЬ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ В ГОМЕОСТАЗЕ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА

ГК представляет собой несulfатированное соединение гликозаминогликанов с физико-химическими свойствами повторяющихся звеньев β -1,4-D-глюкуроновой кислоты и β -1,3-N-ацетилглюкозамина. ГК обладает превосходной вязкоэластичностью, высокой способностью удерживать влагу, высокой биосовместимостью и гигроскопическими свойствами. Обладая этими свойствами, ГК действует как смазка, амортизатор, стабилизатор структуры суставов и регулятор водного баланса и сопротивления потоку [14–16].

ГК является важным компонентом внеклеточного матрикса и способствует клеточной пролиферации, миграции и морфогенезу. В полости сустава молекулы ГК преимущественно синтезируются синовиоцитами типа В [17–19].

ГК синтезируется гиалуронансинтазой (HAS), три изофермента которой выделены у человека (HAS-1, HAS-2 и HAS-3). Эти три изофермента HAS продуцируют полимеры ГК разного размера и по-разному регулируются на транскрипционном, трансляционном и посттрансляционном уровнях, включая альтернативный сплайсинг, субклеточную локализацию и эпигенетические процессы. Эти три гена удлинняют ГК путем многократного добавления глюкуроновой кислоты и N-ацетилглюкозамина к образующемуся полисахариду.

Три типа гиалуронидаз (HIAL1, HIAL2, HIAL3) человека расщепляют ГК на фрагменты различной молекулярной массы. HIAL гидролизуют ГК сначала в ферменты, а потом в моносахариды. Молекулярная масса ГК в хряще снижается с возрастом [20–24].

На органном уровне только 10–15% ГК катаболизируется локально в тканях в течение суток, основная часть ГК выводится лимфатической и кровеносной системами для последующего разложения в лимфатических узлах и печени [25].

ГК участвует в сложной внутриклеточной передаче сигнала. Она взаимодействует со множеством мембранных рецепторов, включая рецепторы TRPV1 и CD44, которые связаны с воспалением и ноцицепцией [26–29].

Кроме основного клеточного рецептора CD44, который считается кластером дифференцировки, ГК взаимодействует с рецептором подвижности RHAMM, молекулой межклеточной адгезии ICAM-1, рецептором эндотелия лимфатических сосудов LYVE-1, рецептором гиалуроновой кислоты для эндоцитоза HARE и Toll-подобными рецепторами TLR [30].

CD44 является основным рецептором для ГК; последующий эффект взаимодействия ГК с CD44 может приводить либо к модуляции, либо к стимуляции экспрессии провоспалительных цитокинов и хемокинов. Свойства ГК в регуляции ноцицептивных сигналов и воспаления зависят от ее молекулярного размера, поскольку выявлены доказательства, подтверждающие, что высокомолекулярная ГК связана с противовоспалительными и модулирующими боль эффектами, тогда как низкомолекулярная ГК (менее 500 кДа) связана с провоспалительной и ноцицептивной сигнальной трансдукцией [31–33].

Физиологическая роль ГК реализуется в различных тканях и жидкостях организма. ГК участвует в различных клеточных взаимодействиях (клеточ-

ная дифференцировка, пролиферация, развитие и распознавание) и физиологических функций (смазка, баланс гидратации, структура матрикса и биохимические взаимодействия). Обладая уникальными реологическими свойствами и будучи составной частью гликозамингликанов и суставного хряща, физиологическая значимость ГК признана не только для здоровых суставов и суставов с ОА, но и для других тканей и состояний здоровья [34–38].

ГК удерживает агрекан на плазматической мембране хондроцитов, образуя массивную сеть агрегатов с фиксированным отрицательным зарядом, что позволяет внеклеточному матриксу сохранять воду и замедлять диффузию крупных молекул, а также поддерживать нормальные межклеточные расстояния между хондроцитами поверхностной зоны хряща. В СЖ здорового коленного сустава содержится ГК со средней молекулярной массой от 2 000 до 10 000 кДа в концентрации от 2,5 до 4 мг/мл. Вязкоупругие свойства ГК позволяют ей действовать в качестве «смазки» при низких скоростях сдвига в процессе медленных движений, а также как эластичное вещество при высоких скоростях сдвига, что обеспечивает амортизацию при быстрых движениях. Описано также противовоспалительное действие ГК и ее способность влиять на синтез протеогликанов. Кроме того, ГК обеспечивает гидратацию и гомеостаз суставов [39–43].

Наиболее актуальными являются следующие механизмы действия и биологические эффекты ГК:

- поддерживает вязкоупругость;
- восстанавливает реологические свойства и метаболизм фибробластов;
- обеспечивает внеклеточную смазку;
- обладает антиоксидантным действием;
- обладает противовоспалительным действием (в основном ГК низкого и очень низкого молекулярного веса);

- снижает продукцию ММП (ММП-1, ММП-3 и ММП-13 — ГК среднего молекулярного веса, особенно 1,9 МДа);

- снижает выработку и активность IL-1 β и других провоспалительных медиаторов (в основном низкого и очень низкого молекулярного веса);

- ингибирует синтез PGE 2 и брадикинина (ГК среднего молекулярного веса);

- уменьшает синовиальную гипертрофию и увеличивает количество синовиальных фибробластоподобных клеток, уменьшая при этом количество макрофагов, лимфоцитов, тучных клеток и адипоцитов;

- регулирует пролиферацию фибробластов;

- тормозит миграцию и агрегацию лейкоцитов и макрофагов;

- изменяет поведение иммунных клеток;

- усиливает синтез хондроцитов, ГК и протеогликанов;

- улучшает функцию суставов, подвижность и уменьшает скованность;

- вызывает аналгезию, взаимодействуя с рецепторами ГК на свободных нервных окончаниях или вокруг них [44].

ГК может усиливать синтез хондроцитов эндогенной ГК и протеогликанов, предотвращать дегградацию хряща и способствовать его регенерации. Более того, она может снизить выработку провоспалительных медиаторов и матриксных металлопротеиназ, а также уменьшить нервные импульсы и чувствительность нервов, связанных с болью [45].

Многие исследования показали, что ГК играет важную роль в регуляции поведения клеток, включая пролиферацию, выживание, подвижность, миграцию и дифференцировку клеток.

ГК также обладает бактериостатическим действием и антиадгезивной способностью. Toll-подобные рецепторы (TLR), однопроходные трансмембранные рецепторы играют жизненно важную роль в активации реакций иммунных клеток. Фрагменты ГК с низкой молекулярной



Эффекты применения ГК в зависимости от молекулярного веса

массой могут связываться с TLR-4 и действовать как инициаторы защиты от бактериальной инфекции. Кроме того, ICAM-1 (молекула внутриклеточной адгезии-1) является членом суперсемейства иммуноглобулинов, которое экспрессируется лимфоцитами и макрофагами. В настоящее время подтверждено антимикробное действие ГК на *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, β -гемолитический стрептококк, *Prevotella oris*, *Enterococcus*, *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*. Кроме того, Драго и др. продемонстрировали, что ГК может препятствовать бактериальной адгезии и образованию бактериальной биопленки [46].

Концепция повышения вязкости, впервые предложенная Balazs и Denlinger, была основана на гипотезе о том, что внутрисуставное введение ГК в суставы с ОА может восстановить реологические свойства СЖ, способствовать эндогенному синтезу ГК с более высокой молекулярной массой и, возможно, более функциональной, тем самым улучшая подвижность и суставную функцию, а также уменьшая боль [47].

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕПАРАТОВ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время препараты ГК делятся на препараты с очень низкой молекулярной массой (VLMW — very low molecular weight (500–800 кДа), низкой (LMW — low molecular weight (800–1500 кДа), средней (AMW — average molecular weight (1500–3000 кДа), высокой (HMW — high molecular weight (3000–3500 кДа), сверхвысокой (UHMW — Ultra-high molecular weight (~6000 кДа) и препараты со сшитой структурой (cross-link). Терапевтическая эффективность этих продуктов зависит не только от молекулярной массы, но и в зависимости от происхождения ГК, способа производства, схемы лечения, реологических свойств, периода полураспада в суставе, а также фармакокинетики и фармакодинамики. Продолжительность клинического эффекта препаратов ГК намного длиннее, чем их период полувыведения [48].

Наличие гидроксильных и карбоксильных групп в структуре ГК делает возможным проведение химических модификаций, позволяя вводить в препараты различные функциональные группы, такие как тиолы, галогенацетаты, альдегиды, дигидразиды или карбодиимиды. Эти модификации позволяют сшивать ГК для увеличения срока службы ГК и изменения вязкоупругих свойств ее водного раствора. Процесс сшивания имеет решающее значение для определения реологических характеристик инъекционных продуктов, что делает возможным их индивидуальное применение в конкретных областях и для конкретных целей [49].

Условно все продукты ГК для внутрисуставного введения можно разделить на несколько групп:

- линейные препараты различного молекулярного веса;
- гибридные препараты, содержащие субстанцию нескольких молекулярных весов (смешанного веса);
- препараты с биологически активными добавками;
- препараты с подвижной сетью;
- кросслинк препараты (поперечные сшивки молекул ГК обеспечиваются двумя механизмами: физическим, за счет электростатического взаимодействия, и химическим, за счет образования ковалентных связей [50]);
- бионические кросслинки, проявляющие сначала свойства кросслинков, а затем линейных препаратов.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРЕПАРАТЫ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Для продления действия ГК в организме еще до появления модифицированных производных ГК (кросслинков) стали добавлять различные вещества, защищающие ГК от ферментативного расщепления, а также имеющие свои дополнительные эффекты.

- Некоторые наиболее типичные добавки к ГК:
 - *Маннитол* — стабилизирует клеточные мембраны, уменьшает проницаемость сосудов, оказывает противовоспалительное действие, предотвращает появление отеков после инъекций и значительно сокращает восстановительный процесс;
 - *Хондроитина сульфат* — защищает ГК от ферментативного расщепления и блокирует активацию TGFB1;
 - *L-пролин* — вызывает активную выработку коллагена и противовоспалительный эффект;
 - *Глицин* — способствует восстановлению тканей и защите коллагена хряща;
 - *Глюкозамин* — стимулирует вискоиндукцию и синтез собственной ГК;
 - *Триамцинолон* — снимает воспаления, синовиты, отеки, купирует боль;
 - *Полинуклеотиды* — снимают воспаления, стимулируют репарацию и регенерацию [51].

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ Остеоартрит коленного сустава

Проведены многочисленные метаанализы для определения безопасности и эффективности инъекций ГК при ОА коленного сустава. Они показывают разные результаты. Наиболее сдержанный подход продемонстрировала AAOS, которая не рекомендует ГК при лечении ОА коленного сустава. Большое количество исследований считаются противоречивыми из-за различий в методологии оценки клинической эффективности и безопасности [52–56].

Внутрисуставная терапия препаратами ГК является хорошо переносимым и эффективным вариантом для пациентов с ОА коленного сустава легкой и средней степени тяжести, для которых неэффективна фармакологическая терапия первой линии (**уровень доказательности — 1A**) [57].

Европейское общество по клиническим и экономическим аспектам остеопороза, остеоартрита и заболеваний опорно-двигательного аппарата (ESCEO) в 2019 г. на основании пула многочисленных рандомизированных исследований и метаанализов демонстрирует снижение необходимости или отсрочку операции по полной замене коленного сустава примерно с 2 до 3,5 лет при 5 или более внутрисуставных курсах препаратов ГК. Лечение препаратами ГК также снижает потребность в других обезболивающих, таких как НПВП, кортикостероиды и опиоиды, у пациентов с ОА коленного сустава. Препараты ГК должны назначаться как позднее средство в алгоритме лечения. Требуются дальнейшие исследования для определения фенотипов пациентов, связанных с оптимальной эффективностью внутрисуставных инъекций препаратов ГК, а долгосрочная эффективность должна быть подтверждена в дополнительных проспективных РКИ (**уровень доказательности — 1B**) [58].

Внутрисуставное введение препаратов ГК является полезным терапевтическим инструментом при лечении пациентов с остеоартритом. Литературные данные указывают на способность инъекций уменьшать боль и улучшать функцию суставов. Учитывая высокую переносимость препаратов ГК, способность контрастировать со структурными повреждениями суставов и отсрочивать необходимость хирургического протезирования, можно рассматривать данный метод лечения как безопасную, эффективную и долгосрочную терапию (**уровень доказательности — 4**) [59–62].

Остеоартрит коленного сустава является основной причиной инвалидности пожилых людей. Это локализованное болезненное состояние часто сопровождается снижением вязкоэластичности внутрисуставной синовиальной жидкости из-за снижения молекулярной массы и/или концентрации гиалуронана. Использование препаратов ГК направлено на восстановление вязкоэластичного гомеостаза сустава, пораженного артритом, чтобы уменьшить боль и восстановить функцию. Результаты исследования рекомендуют использовать возможность применения препаратов ГК после неэффективности физических упражнений и местного или системного обезболивающего лечения у пожилых людей с остеоартритом коленного сустава, особенно при наличии сопутствующих желудочно-кишечных, почечных или сердечно-со-

судистых заболеваний или лекарственного взаимодействия (**уровень доказательности — 4**) [63].

В систематическом обзоре в соответствии с рекомендациями PRISMA и сетевом метаанализе сообщается об относительной эффективности внутрисуставных инъекций при лечении остеоартрита коленного сустава. У молодых пациентов и пациентов без тяжелых дегенеративных изменений эффективность внутрисуставных инъекций как консервативного метода лечения симптоматической боли, связанной с остеоартритом коленного сустава, с сохранением функции становится предметом все большего интереса (**уровень доказательности — 1A**) [64].

Исследования показывают, что тройная инъекция небольшой дозы средномолекулярной ГК более эффективна для улучшения показателей WOMAC, VAS и индекса Лекена, чем однократная инъекция большой дозы. Однако группа, получившая большие однократные дозы ГК, продемонстрировала более быстрое уменьшение боли и более ранний эффект. Как однократные, так и многократные внутрисуставные инъекции ГК являются эффективным методом лечения боли и улучшения функции у пациентов с остеоартритом коленного сустава. Эффективность обычно наблюдается в течение 6 месяцев, затем, когда боль и нарушения появляются снова в течение 1 года, можно рекомендовать возобновить лечение, если пациент проявляет желание и готовность к лечению (**уровень доказательности — 3A**) [65].

Крупнейший систематический обзор 2023 г. выявил 169 исследований с участием 21 163 рандомизированных пациентов с остеоартритом коленного сустава. Анализ основных результатов был основан на 24 крупных плацебо-контролируемых исследованиях, в которые были включены 8997 рандомизированных пациентов с остеоартритом коленного сустава. Эффективность и безопасность лечения пациентов инъекциями ГК до сих пор остается предметом дискуссий. Авторы указывают на то, что эффект от лечения ГК меньше, чем сообщалось ранее. Авторы метаанализа указывают на то, что препараты ГК приводят к небольшому уменьшению боли при остеоартрите коленного сустава по сравнению с плацебо, эта разница меньше минимальной клинически значимой разницы между группами. Также указывается на то, что инъекции ГК увеличивают риск серьезных побочных эффектов по сравнению с плацебо. Данный метаанализ не подтверждает эффективность широкого использования препаратов ГК для лечения остеоартрита коленного сустава (**уровень доказательности — 1A**) [66].

Между препаратами ГК для внутрисуставного введения существует множество различий. Подчеркивается важность таких характеристик

препаратов ГК, как молекулярный вес, происхождение и структура препарата с позиций разных клинических результатов в лечении пациентов с ОА коленного сустава. В частности, среднемолекулярная ГК показала большую эффективность по сравнению с альтернативными препаратами с «очень низким молекулярным весом», в то время как препараты ГК птичьего происхождения и сшитые препараты потенциально продемонстрировали увеличение воспалительных побочных эффектов по сравнению с аналогами не птичьего происхождения и несшитыми аналогами. Учитывая различия в свойствах ГК и механизме их действия, не все препараты ГК оказывают одинаковый клинический эффект. Таким образом, эти свойства должны учитываться врачами, поставщиками медицинских услуг и заинтересованными сторонами перед выбором препарата ГК (**уровень доказательности — 2А**) [67].

Исследования по использованию внутрисуставных инъекций препаратов ГК разнообразны и противоречивы, в последнее время содержат рекомендации не использовать продукты с гиалуроновой кислотой для повышения вязкости из-за двусмысленных данных, опубликованных в литературе. Международный симпозиум по внутрисуставному лечению (ISIAT 2023) создал междисциплинарную группу технических экспертов для определения набора характеристик потенциального препарата ГК для взрослых с легкой и умеренной степенью ОА, а также пороговых значений для клинически значимого уменьшения боли, улучшения функции суставов и качества жизни, которое может быть достигнуто с помощью таких продуктов. Предлагаемые заявления сосредоточены на характеристиках, которые определяют принятие клинических решений, а не на технических характеристиках внутрисуставных препаратов ГК, которые учитываются в исследовательских целях (**уровень доказательности — 4**) [68].

Данные крупнейших метаанализов, проведенных в последние годы, свидетельствуют о противоречивом характере эффективности препаратов ГК для внутрисуставного введения у пациентов с ОА коленного сустава. По большинству исследований четко прослеживается зависимость клинических эффектов от свойств самого препарата ГК, молекулярного веса, субстанции, наличия сшивков, стабилизации и пр. Однако остаются исследования, свидетельствующие о небольшом клиническом эффекте внутрисуставного введения препаратов ГК, либо его отсутствии, а часть исследований с декларацией положительного эффекта оказываются неучтенными в метаанализах. Группы международных экспертов обращают внимание на необходимость ухода от учета

технических характеристик препаратов в сторону фиксации клинических характеристик препаратов для понимания их реальной эффективности: стадии ОА, фенотипов и др. Тем более что по всем исследованиям и метаанализам красной линией проходит общая безопасность внутрисуставных инъекций ГК и уменьшение доз других препаратов для купирования болевого синдрома. Авторы консенсуса считают целесообразным сделать вывод о том, что внутрисуставная терапия препаратами ГК стала важной частью лечения пациентов с ОА коленного сустава, но в контексте доказательной медицины должно быть продолжено изучение как отдельных препаратов, так и общего клинического эффекта и безопасности при их использовании, которое требует учета и российского, и международного научного и клинического опыта.

Остеоартрит тазобедренного сустава

Определялся терапевтический эффект и риск побочных эффектов применения ГК при ОА тазобедренного сустава. Подходящие исследования были ограничены исследованиями ГК с рандомизированным дизайном. Всего в этот метаанализ было включено шесть исследований. Полученный результат свидетельствует о том, что внутрисуставное введение ГК при ОА тазобедренного сустава может значительно уменьшить боль и улучшить функциональное восстановление по сравнению с состоянием до лечения. Однако, по видимому, нет существенной разницы между ГК и физиологическим раствором или другими методами лечения. В настоящее время имеющиеся данные указывают на то, что внутрисуставная ГК при ОА тазобедренного сустава не увеличивает риск побочных эффектов (**уровень доказательности — 1А**) [69].

Проведена оценка эффективности и переносимости курсов внутрисуставного введения препаратов ГК при симптоматическом остеоартрите тазобедренного сустава: ретроспективное наблюдательное когортное исследование применения ГК со средней молекулярной массой по сравнению с низкой молекулярной массой ГК и в сравнении с терапией с отсутствием вискодобавок. Результаты демонстрируют эффективность обезболивания препаратами ГК по сравнению с пероральными НПВП/анальгетиками, в первую очередь за счет снижения потребления обезболивающих препаратов. Анальгетическая эффективность, функциональное восстановление и подвижность суставов увеличиваются и улучшаются в течение 12 и 24 месяцев, что позволяет предположить, что повторные введения достигают общего суммарного эффекта (**уровень доказательности — 2А**) [70].

Подтверждено, что внутрисуставное введение ГК пациентам пожилого возраста является без-

опасным и эффективным способом лечения ОА тазобедренных суставов (**уровень доказательности — 1B**) [71].

Остеоартрит плечевого сустава

Симптоматический первичный остеоартрит плечевого сустава может быть непростым для лечения. Гиалуроновая кислота стала многообещающим средством его нехирургического лечения. В систематическом обзоре с метаанализом оценена эффективность внутрисуставного введения ГК для облегчения боли у пациентов, страдающих ОА плечевого сустава. Результаты этого систематического обзора и метаанализа показали, что внутрисуставные инъекции препаратов ГК могут быть эффективными для значительного облегчения боли по сравнению с исходным уровнем и по сравнению с инъекциями кортикостероидов у пациентов, страдающих ОА плечевого сустава (**уровень доказательности — 1A**) [72].

Остеоартрит голеностопного сустава

В проспективном когортном исследовании показана перспективность применения кросслинк препаратов ГК при лечении ОА голеностопного сустава. Одна инъекция была связана с клинически значимым уменьшением боли и уменьшением степени инвалидности в течение 26-недельного периода и в целом хорошо переносилась (**уровень доказательности — 2A**) [73].

На основании результатов другого проспективного когортного исследования показано, что внутрисуставные инъекции гиалуроната натрия являются полезной консервативной терапией остеоартрита голеностопного сустава (**уровень доказательности — 2A**) [74].

Остеоартрит суставов пальцев и кисти

Представлен систематический обзор литературы, включая все контролируемые исследования по изучению эффективности и безопасности любой внутрисуставной терапии при ОА запястно-пястного и межфаланговых суставов по сравнению с плацебо или другими методами лечения. Не было обнаружено убедительных доказательств эффективности кортикостероидов или ГК по сравнению с другими альтернативными методами лечения. Сообщалось только о местных нежелательных явлениях. Несмотря на положительный краткосрочный профиль безопасности, кортикостероиды или ГК не оказываются более эффективными, чем плацебо, при остеоартрите суставов кисти (**уровень доказательности — 1B**) [75].

Инъекционная терапия остеоартрита суставов основания большого пальца представлена систематическим обзором и метаанализом, которые показали неоднозначность данных эффективнос-

ти какой-либо инъекционной терапии по сравнению с неинъекционными методами лечения. Указывается на ограниченное понимание как краткосрочных, так и долгосрочных эффектов, и необходимость в большом, методологически надежном РКИ, изучающем широко используемые инъекционные методы лечения и сравнивающим их с другими терапевтическими вариантами плацебо (**уровень доказательности — 1B**) [76].

Сочетание гиалуроновой кислоты с кортикостероидами, PRP в комбинированной терапии остеоартрита коленного сустава

Проведен сетевой метаанализ 35 исследований с 3104 участниками. Исследование показало, что PRP и PRP+ГК были наиболее успешными в улучшении функции и облегчении боли через 3, 6 и 12 мес. наблюдения. ГКС, ГК, PRP и комбинированная терапия не приводили к увеличению частоты побочных эффектов, связанных с лечением, по сравнению с плацебо (**уровень доказательности — 1A**) [77].

Тендинопатии и другие патологии мягких тканей

В систематическом обзоре и метаанализе РКИ оценена эффективность препаратов ГК в лечении травм мягких тканей: 19 РКИ ($n = 1629$ пациентов) соответствовали критериям участия и были включены в этот обзор. По нозологиям в обзор вошли пациенты с тендинопатиями вращательной манжеты плеча, эпикондилитами, растяжением связок голеностопного сустава, тендинопатией ахиллова сухожилия, тендинопатией надколенника и стенозирующим лигаментитом. Из 19 РКИ 11 были плацебо-контролируемыми, а в 9 использовались активные препараты сравнения (PRP, кортизон, пролотерапия или экстракорпоральная ударно-волновая терапия). Данное исследование подтверждает эффективность ГК очень низкого, низкого и среднего молекулярного веса при лечении различных заболеваний мягких тканей. Понимание относительных эффектов ГК по сравнению с другими инъекционными методами лечения требует дополнительных крупных исследований (**уровень доказательности — 1A**) [78].

В проспективном открытом клиническом исследовании проведена оценка эффективности и безопасности перисухожильной инъекции ГК очень низкого молекулярного веса при болезненных тендинопатиях. Показана эффективность и безопасность перисухожильной инъекции такой ГК ультразвуковым контролем в отношении уменьшения боли у пациентов, страдающих латеральным эпикондилитом, тендинопатией ахиллова сухожилия и тендинопатией связки надколенника. Инъекции ГК приводят к значительному

облегчению боли, уменьшению толщины сухожилий и неоваскуляризации по данным УЗИ. Лечение оказалось безопасным и очень хорошо переносимым (**уровень доказательности — 4**) [79].

Результаты показали, что ни в одном из исследований не сообщается о серьезных побочных эффектах, и большинство из них поддерживают использование инъекций ГК при тендинопатиях, уделяя особое внимание уменьшению боли и функциональной оценке. Необходимы дальнейшие исследования для лучшего изучения эффектов и методов введения ГК при тендинопатиях (**уровень доказательности — 2A**) [80].

ГК является эффективным терапевтическим вариантом для лечения тендинопатий, связанных со спортом, но для подтверждения имеющихся результатов необходимы дальнейшие исследования с большим размером выборки (**уровень доказательности — 3B**) [81].

Восемнадцать исследований (1773 пациентов с тендинопатиями вращательной манжеты плеча) были объединены в систематический обзор и метаанализ. Инъекция ГК очень низкого и низкого молекулярного веса при тендинопатии вращательной манжеты плеча связана с купированием болевого синдрома и улучшением функционального результата. ГК, как и стероиды, оказались эффективными без существенной разницы. Но риск осложнений выше при использовании стероидов. Указывается на необходимость более глубоких РКИ между этими двумя препаратами, чтобы получить четкую картину эффективности и безопасности (**уровень доказательности — 1B**) [82].

Травма вращательной манжеты плеча изучалась в исследовании, в которое были включены 10 РКИ с участием 861 пациента, включающих 4 терапевтических мероприятия: инъекционную терапию кортикостероидами, инъекционную терапию обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP), инъекционную терапию гиалуроновой кислотой (ГК) и пролотерапию (PRO). Авторы рекомендуют использовать инъекции кортикостероидов в сочетании с инъекциями гиалуроновой кислоты для нехирургического консервативного клинического лечения травм вращательной манжеты плеча (**уровень доказательности — 2A**) [83].

Адгезивный капсулит

Внутрисуставные инъекции ГК по сравнению с внутрисуставной инъекцией кортизона имеют эквивалентные клинические результаты. Неоднородность методов лечения, использованных в рассмотренных исследованиях, не позволяет сделать однозначный вывод по вопросу ГК в лечении адгезивного капсулита (**уровень доказательности — 2A**) [84].

Препараты ГК использовались при гемиплегическом плече — варианте постинсультного адгезивного капсулита. Препараты ГК обладают менее мощной способностью уменьшать боль при движении по сравнению со стероидами в раннем периоде, но могут быть хорошей альтернативой стероидам для лечения адгезивного капсулита, когда использование стероидов ограничено (**уровень доказательности — 3A**) [85].

Сочетание терапии препаратами гиалуроновой кислоты с хирургическими методами лечения

Артроскопия в сочетании с внутрисуставным введением гиалуроната натрия может замедлить развитие остеоартрита коленного сустава, но строгие доказательные медицинские оценки отсутствуют. Проанализирована клиническая эффективность артроскопии в сочетании с внутрисуставной инъекцией гиалуроната натрия в замедлении остеоартрита коленного сустава. В метаанализ были включены двенадцать источников. Метаанализ подтвердил, что артроскопия в сочетании с внутрисуставным введением гиалуроната натрия демонстрирует значительный клинический терапевтический эффект при лечении ОА коленного сустава. Такое комбинированное лечение позволяет значительно улучшить функцию коленного сустава, облегчить клинические симптомы и улучшить качество жизни пациентов (**уровень доказательности — 1A**) [86].

Плантарный фасциит (фасциопатия)

Краткосрочную эффективность, безопасность и зависимость «доза-эффект» среднемолекулярной гиалуроновой кислоты исследовали у пациентов с подошвенной фасциопатией в многоцентровом проспективном рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании 168 пациентов с постоянной болью, вызванной подошвенной фасциопатией. Введение пяти инъекций ГК является эффективным методом лечения без серьезных побочных реакций и консервативным вариантом лечения подошвенной фасциопатии. Это лечение способствовало облегчению боли у пациентов с подошвенной фасциопатией и улучшению их повседневной деятельности (**уровень доказательности — 1A**) [87].

ТРЕБОВАНИЯ К ПАЦИЕНТУ

- Пациенту должен быть выставлен диагноз, соответствующий критериям отбора для внутрисуставной инъекции препарата ГК.
- Дополнительные исследования должны быть проведены до начала курса лечения. Диагноз должен быть подтвержден с помощью инструментальных методов исследования, рентгеновского

исследования, УЗИ, МРТ или КТ до начала проведения инъекции.

- Противопоказания к процедуре рассматриваются до начала ее проведения [60].

ПОДГОТОВКА БОЛЬНОГО К ИНЪЕКЦИИ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

- С пациентом должна быть проведена беседа, ему должна быть предоставлена информация о манипуляции, ее возможных осложнениях и последствиях. Необходимо подписать информированное согласие до начала проведения процедуры, разъяснить детали лечения и сформировать реалистичные ожидания.

- Локальная инъекционная терапия с применением ГК не должна быть единственным методом лечения. Лечение должно носить комплексный характер с использованием оптимального спектра немедикаментозных и медикаментозных коррекций.

- В большинстве случаев перед введением ГК целесообразна противовоспалительная терапия не менее 7 дней.

- Перед введением ГК следует оценить интенсивность болевого синдрома и амплитуду движений в суставе, подлежащем лечению. В случае отсутствия динамики болевого синдрома и амплитуды движений после двух введений, третье и последующие введения нецелесообразны.

- Перед введением ГК целесообразно аспирировать содержимое полости сустава настолько, насколько это возможно.

- В случае наличия синовита ограничиться небольшой аспирацией, направленной на диагностику причин воспаления без введения препарата ГК [60].

МЕРОПРИЯТИЯ БЛИЖАЙШЕГО ПОСТИНЪЕКЦИОННОГО ПЕРИОДА

- Пациенты должны быть инструктированы, как вести себя после процедуры, соблюдать меры предосторожности и иметь возможность контакта с врачом в случае наличия жалоб или осложнений.

- Необходимо делать комплекс упражнений для распределения ГК в суставе, исключить на время тепловые воздействия (прием теплых и горячих ванн, посещение бани), а также процедуры, усиливающие кровообращение (физиотерапевтические методы, массаж) на срок не менее 48 ч.

- Также стоит объяснить пациенту, что появление слабо выраженной припухлости и дискомфорта в области инъекции — это нормальная реакция тканей, для купирования которой можно использовать обезболивание, лед, супрастин.

- Пациенту следует связаться с врачом при значительном усилении болевого синдрома, припухлости или появлении отечности.

- Внутрисуставное введение — основной путь введения. Количество введений линейной ГК в лечебном курсе — не менее 2 в большинстве случаев, зависит от дозы действующего вещества при каждом введении.

- При наличии показаний к локальной инъекционной терапии нескольких анатомических локализаций у одного пациента возможно в асептических условиях разделить препарат ГК из одного преднаполненного шприца для введения в разные зоны во время одной инъекционной процедуры.

- В случае наличия остатка препарата ГК последний подлежит утилизации. Хранить невведенный препарат запрещается [60].

МЕРОПРИЯТИЯ ОТДАЛЕННОГО ПОСТИНЪЕКЦИОННОГО ПЕРИОДА

- Пациенты требуют динамического наблюдения в течение 6–12 мес. после проведения курсовой терапии ГК для контроля над динамикой болевого синдрома, локальным статусом в месте инъекции, восстановлением утраченной функции, оценкой эффективности проведенного лечения и принятия решения о повторении курсов терапии.

- С целью обработки клинических данных считается оптимальным проведение обследования для оценки эффективности терапии с помощью принятых шкал и опросников для объективизации клинических оценок и проведение дополнительных инструментальных методов обследования в динамике.

- Решение о повторных курсах инъекций принимается по согласованию врача и пациента на основе полученного функционального результата.

- В случае отчетливого положительного эффекта в отношении боли и функции курсы инъекционного лечения целесообразно повторять 1 раз в 6–12 мес., даже при отсутствии симптоматики, в т.ч. с целью воздействия на прогноз заболевания [60].

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНЪЕКЦИИ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Побочные эффекты внутрисуставных инъекций ГК обычно легкие и проходят самостоятельно. Наиболее распространенными побочными эффектами являются местные реакции или раздражение в месте инъекции. До 2% пациентов могут испытывать обострение после инъекции с усилением боли, отеком, покраснением и повышением температуры, которое обычно проходит самостоятельно и регрессирует при использовании льда, отдыха и противовоспалительных препаратов. При анализе синовиальной жидкости в таких случаях выявляется асептическая жидкость без

кристаллов. В клинических исследованиях не сообщалось о внутрисуставных инфекциях, которые в клинической практике встречаются крайне редко. Сообщалось о реакциях гиперчувствительности, включая анафилаксию и ангионевротический отек. В клинических исследованиях примерно в 2% случаев сообщалось о системных побочных эффектах, таких как сыпь, артралгия, миалгия, мышечные спазмы и тошнота [88].

ОБЩИЕ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ ДЛЯ ВНУТРИ- И ОКОЛОСУСТАВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

- Аллергия, индивидуальная гиперчувствительность, непереносимость, аутоиммунные реакции на гиалуроновую кислоту, ее дериваты и/или любой из компонентов, входящих в состав конкретного медицинского изделия.
- Любое инфекционное или неинфекционное заболевание в стадии обострения.
- Хронические инфекции, тропные к тканям опорно-двигательного аппарата, например, хламидиоз, лайм-боррелиоз, вирусные гепатиты и др.
- Кожные заболевания в зоне введения.
- Известная онкопатология на данный момент или в состоянии ремиссии после радикального лечения в срок до 5 лет.
- Повышенная кровоточивость, геморрагический синдром при патологии свертывающей и противосвертывающей систем гемостаза, тромбоцитопении менее $70 \times 10^9/\text{л}$.
- Системные заболевания соединительной ткани и системные васкулиты. В отдельных случаях возможно внутрисуставное введение ГК при условии стойкой клинико-лабораторной ремиссии длительностью не менее 6 месяцев.
- Артрит сустава, подлежащего лечению, в стадии обострения (ревматоидный, подагрический, реактивный, псориатический и др.)
- Эндопротез сустава — противопоказание к внутрисуставному введению ГК. При этом около-суставное введение возможно по показаниям.
- I триместр беременности [60].

ДЕЙСТВИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОСЛЕ ВНУТРИСУСТАВНОГО ВВЕДЕНИЯ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

- Разгрузка конечности. Иммобилизация или ортезирование.
- Холод по 15–20 мин 3–5 р/сутки в течение 3–5 дней.
- Короткий курс НПВП.
- Гиалуронидаза (лидаза, лонгидаза) — введение в место скопления ГК либо фонофорез, 1–2 терапевтические сессии.

- Блокатор H1-рецепторов гистамина (препарат первого выбора Супрастин) в средней терапевтической дозировке в течение 3–5 дней [60].

ЮРИДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

- Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 12 ноября 2012 г. № 901н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи населению по профилю «травматология и ортопедия»
- Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 13 октября 2017 г. № 804н «Об утверждении номенклатуры медицинских услуг»
- Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 16 января 2023 г. № 11н «Об утверждении стандарта медицинской помощи взрослым при коксартрозе (диагностика, лечение и диспансерное наблюдение) и о внесении изменения в стандарт первичной медико-санитарной помощи при осложнениях, связанных с внутренними ортопедическими протезными устройствами, имплантатами и трансплантатами тазобедренного сустава, утвержденный приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 1669н»
- Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27 октября 2022 года № 706н «Об утверждении стандарта медицинской помощи взрослым при гонартрозе (диагностика, лечение и диспансерное наблюдение)»
- Клинические рекомендации. Коксартроз. Кодирование по Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем: M16. Год утверждения (частота пересмотра): 2021. Возрастная категория: Взрослые. Год окончания действия: 2023. ID: 666. Разработчик клинической рекомендации: Ассоциация травматологов-ортопедов России, Ассоциация ревматологов России, Общероссийская общественная организация Ассоциация реабилитологов России. Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ
- Клинические рекомендации. Гонартроз. Кодирование по Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем: M17. Год утверждения (частота пересмотра): 2021. Возрастная категория: Взрослые. Год окончания действия: 2023. ID: 667. Разработчик клинической рекомендации: Ассоциация травматологов-ортопедов России, Ассоциация ревматологов России. Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ
- Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 58484-2019 «Имплантаты хирургические неактивные.

Имплантаты на основе гиалуроновой кислоты. Стандартное руководство по определению характеристик гиалуроновой кислоты как основы медицинских изделий» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 августа 2019 г. N 481-ст). Стандартиформ, Москва, 2019 г.

ОБЩИЙ ВЫВОД КОНСЕНСУСА

Гиалуроновая кислота играет жизненно важную роль в здоровье опорно-двигательного аппарата, особенно при болезненных состояниях, таких как остеоартрит и тендинопатии. Внутрисуставное введение препаратов ГК в качестве ортобиологического средства представляет собой минимально инвазивную процедуру с частично доказанной эффективностью и безопасностью. Эта терапия создает клинические эффекты, связанные с ослаблением воспаления, восстановлением вискозуплементации, улучшением биомеханики, пролиферацией клеток, дифференцировкой, миграцией и усилением биосинтеза и секрецией белка. Несмотря на растущее число новых производных ГК для лечения ортопедических заболеваний, необходимы дальнейшие исследования для понимания факторов, способствующих восстановлению пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата. Рекомендуется проводить исследования высокого доказательного уровня для формирования доказательной базы по каждому из препаратов [89].

Большое разнообразие препаратов ГК, а также разносторонние научные данные с позиции доказательной медицины требуют от медицинского сообщества консолидации знаний, аналитических подходов для дальнейшего изучения эффективности, безопасности и особенностей клинического применения этих препаратов. Разнообразие данных по эффективности лечения препаратами ГК связано с различными характеристиками используемых препаратов, в частности молекулярным весом, наличием «сшивок» между макромолекулами, определяющих их большую стойкость к механическому стрессу и биодegradации, кратностью введения, дозой и объемом вводимого действующего вещества и клиническими характеристиками пациентов: возрастом, активностью, фенотипом заболевания.

Расширение рынка препаратов ГК в России, включение их в национальные клинические рекомендации, утвержденные Минздравом, расширение показаний к их использованию, огромное количество неоднородных зарубежных публикаций ставит цель своевременного анализа и выработки документов для Российской платформы регенеративной медицины. Консенсус «Препараты гиалуроновой кислоты в травматологии и ортопедии. Ортобиологические аспекты» создан для отражения наиболее важной информации по этому методу лечения в контексте клинической эффективности и безопасности его применения при различных патологических состояниях.

Данный документ строится на современном анализе научных данных по характеристикам и клиническому использованию препаратов ГК, является согласительным и рекомендуется к использованию экспертными группами при разработке клинических рекомендаций по нозологическим формам, вошедшим в консенсус.

Данный документ строится на современном анализе научных данных по характеристикам и клиническому использованию препаратов ГК, является согласительным и рекомендуется к использованию экспертными группами при разработке клинических рекомендаций по нозологическим формам, вошедшим в консенсус.

Приложение

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРЕПАРАТОВ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАТОЛОГИЯХ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Адгезивный капсулит плечевого сустава [20, 57, 58]

Применение ГК оправдано на 1–2 стадии, а также после проведения артроскопического артролиза.

- Возможно внутрисуставное введение линейной ГК с МВ 0,5–2,5 МДа по 2–5 мл с интервалом 7–14 дней × 2–3 раза на курс. Суммарная доза действующего вещества от 40 мг на курс.

- Также возможно околосуставное введение (субакромиально, в проекции интервала ротаторов/ключовидно-плечевой связки) аналогичной ГК по 0,5–1,0 мл той же кратности. При этом наибольшее значение в лечении имеет мульти-модальная физическая реабилитация, а терапия препаратами ГК должна интегрироваться в реабилитационный протокол.

Подакромиальный импинджмент-синдром, повреждение сухожилий вращательной манжеты плеча (частичное повреждение, не разрыв), поддельтовидно-подакромиальный бурсит [59–61]

При отсутствии показаний к операции или наличии противопоказаний/невозможности/отказа от оперативного лечения.

Применение ГК показано:

- Околосуставное применение линейной ГК с МВ 0,5–2,5 МДа в зону(ы) повреждения по 0,5–1 мл на каждое введение с интервалом 7 дней × 2–3 раза на курс. Суммарная доза действующего вещества от 20 мг на курс.

- При значительных объемах повреждения применение линейной ГК также оправдано в качестве адьювантной терапии после артроскопического вмешательства. Целесообразна интеграция ЛИТ в реабилитационный протокол в режиме, аналогичном вышеуказанному.

Ризартроз (остеоартрит суставов 1-го «луча» кисти, трапецие-пястного и трапецие-трапециевидно-ладьевидного суставов) [62, 63]

Применение ГК показано.

• Внутрисуставное введение линейной ГК с МВ 0,5–1,6 МДа. Суммарная доза действующего вещества от 10 мг на курс.

- По 0,5–1,0 мл на каждое введение.
- 2–4 введения на курс с интервалом в 7 дней.

Акромиально-ключичный и грудино-ключичный артроз [64]

Применение ГК показано.

• Внутрисуставное введение линейной ГК с МВ 0,5–2,5 МДа. Суммарная доза действующего вещества от 10 мг на курс.

- По 0,5–2,0 мл.
- 2–3 введения на курс с интервалом в 7 дней.

«Щелкающий» палец, стенозирующий тендинит сгибателей пальцев кисти, болезнь Нотта, а1-лигаментит, «trigger finger» [67, 68]

Применение ГК возможно.

• Возможно введение линейной ГК с МВ 0,5–1,6 Мда в синовиальный футляр сгибателей пораженного пальца кисти. Суммарная доза действующего вещества от 5 мг для каждого отдельного сустава на курс.

- По 0,25–1,0 мл на каждое введение.
- 1–2 введения на курс с интервалом в 7 дней.

• В случае недостаточной эффективности ЛИТ, целесообразно малоинвазивное хирургическое лечение, возможное в амбулаторных условиях под МИА.

Коксартроз (остеоартрит тазобедренного сустава) [24, 72, 73]

Применение ГК показано.

• Обязателен УЗ/Р/КТ-контроль внутрисуставного введения.

• Предпочтительным следует признать передний доступ.

• Возможно внутрисуставное введение ГК с МВ 1–2,5 МДа × 2–4 раза на курс.

• Возможно использование комбинации линейной ГК с МВ 1,0–1,6 МДа + препарата полинуклеотидов × 2–4 раза внутрисуставно на курс (либо последовательное введение ПН, затем ГК).

• Возможно однократное внутрисуставное введение поперечноштитой ГК (например, бионического кросслинк препарат) на курс.

- Объем введения 2,0–4,0 мл на процедуру.
- Интервал между введениями 7–14 дней.
- Суммарная доза действующего вещества от 80 мг на курс.

Гонартроз (остеоартрит коленного сустава) [61–63]

Применение ГК показано.

• Внутрисуставное введение ГК представляет собой экономически рентабельное лечение ОА коленного сустава.

• Наилучший инъекционный доступ в коленный сустав — латеральный средне-пателлярный доступ под УЗ-контролем.

• В зависимости от клинических данных можно использовать любые ГК, а также сочетания ГК с другими инъекционными средствами.

• Объем введения 2,0–6,0 мл на процедуру.

• Кратность введения по инструкции препарата.

• Интервал между введениями 7–14 дней.

• Суммарная доза действующего вещества от 80 мг на курс.

• Каждый пациент с признаками воспаления коленного сустава должен быть обследован для исключения РА, псориаза, подагры, ПФА (необходимо исследовать СРБ, РФ, АЦПП в плазме крови и кристаллы в синовиальной жидкости).

• Ремиссия иммуновоспалительного заболевания — отсутствие активности сроком от 6 до 12 мес.

«Изолированный» пателлофemorальный артроз (остеоартрит бедренно-надколенникового сустава) [22, 72]

Применение ГК показано.

• Внутрисуставное введение линейной ГК с МВ 0,5–2,5 МДа. Суммарная доза действующего вещества от 40 мг на курс.

- По 2,0–6,0 мл на каждое введение.
- 2–4 введения на курс с интервалом в 7–14 дней.

Крузартроз (остеоартрит таранно-берцового сустава, остеоартрит надтаранного сустава) [23, 24]

• Возможно однократное внутрисуставное введение поперечноштитой ГК (например, бионического кросслинка) на курс. В данных случаях предпочтителен УЗ/Р/КТ-контроль введения.

• Возможно внутрисуставное введение ГК 1,0–2,5 МДа × 3–5 раз на курс.

- Объем введения 1,0–3,0 мл на процедуру.
- Интервал между введениями 7–14 дней.
- Суммарная доза действующего вещества от 30 мг на курс.

Подострый и хронический период после пластики передней крестообразной связки

Применение ГК возможно. Ведение целесообразно не ранее 6 недель п/о.

• Внутрисуставное введение линейной ГК с МВ 1,0–2,5 МДа. Суммарная доза действующего вещества от 40 мг на курс.

- По 2,0–6,0 мл на каждое введение.
- 2–3 введения на курс с интервалом в 7 дней.

• В сроки более 6 месяцев п/о возможно однократное внутрисуставное введение поперечноштитого гиалуроната на курс.

Плантарный фасциит [24–26]

Применение ГК возможно.

- Возможно околосоуставное введение линейной ГК с МВ 0,5–1,6 МДа.
 - Суммарная доза действующего вещества от 10 мг на курс.
 - По 0,5–2,0 мл на каждое введение в область прикрепления подошвенного апоневроза к медиальной части пяточного бугра.
 - 2–3 введения на курс с интервалом в 7–14 дней.
 - Возможна комбинация препаратов ГК и полинуклеотида в одном лечебном курсе. Также возможно сочетать ГК с введением инъекционного коллагена.
- Тендиниты* [75–78]
- В целом, околосоужильное применение ГК оправдано, но требует введения под УЗ-наведением.
- Возможно введение линейной ГК с МВ 0,5–2,5 МДа. Суммарная доза действующего вещества от 10 мг для 1 сухожилия на курс.
 - По 0,5–1,0 мл на каждое введение.

- 2–3 введения на курс с интервалом в 7 дней.
 - Целесообразно сочетание применения ГК с обогащенной тромбоцитами аутоплазмой и/или полинуклеотидами.
 - Также возможно сочетать ГК с введением инъекционного коллагена.
- Синдром де Кервена, стенозирующий тендовагинит 1-го компартмента разгибателей на уровне запястья* [79–81]
- Возможно введение линейной ГК с МВ 0,5–1,6 МДа в синовиальный футляр сухожилий 1-го компартмента запястья. Суммарная доза действующего вещества от 5 мг для каждого отдельного сустава на курс.
- По 0,5–1,0 мл на инъекцию.
 - Два введения на курс с интервалом в 7 дней.
 - 40% экспертов считают, что ГК в этом случае малоэффективна. В случае недостаточной эффективности ЛИТ, целесообразно малоинвазивное хирургическое лечение, возможное в амбулаторных условиях под МИА.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Costa F.R., Costa Marques M.R., Costa V.C., Santos G.S., Martins R.A., Santos M.D.S. et al. Intra-Articular Hyaluronic Acid in Osteoarthritis and Tendinopathies: Molecular and Clinical Approaches. *Biomedicines*. 2023;11(4):1061. doi: 10.3390/biomedicines11041061.
- Walker K., Basehore B.M., Goyal A., Zito P.M. Hyaluronic Acid. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2024. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482440/>.
- Liu L., Liu Y., Li J., Du G., Chen J. Microbial production of hyaluronic acid: current state, challenges, and perspectives. *Microb Cell Fact*. 2011;10:99. doi: 10.1186/1475-2859-10-99.
- Fraser J.R.E., Laurent T.C., Laurent U.B.G. Hyaluronan: its nature, distribution, functions and turnover. *J Intern Med*. 1997;242:27-33. doi: 10.1046/j.1365-2796.1997.00170.x.
- Boeriu C.G., Springer J., Kooy F.K., van den Broek L.A.M., Eggink G. Production methods for hyaluronan. *Int J Carbohydr Chem*. 2013;2013:1-14. doi: 10.1155/2013/624967.
- Shiedlin A., Bigelow R., Christopher W., Arbabi S., Yang L., Maier R.V. et al. Evaluation of hyaluronan from different sources: Streptococcus zooepidemicus, rooster comb, bovine vitreous, and human umbilical cord. *Biomacromolecules*. 2004;5:2122-2127. doi: 10.1021/bm0498427.
- Mao Z., Chen R.R. Recombinant synthesis of hyaluronan by Agrobacterium sp. *Biotechnol Prog*. 2007;23:1038-1042. doi: 10.1021/bp070113n.
- Widner B., Behr R., Von Dollen S., Tang M., Heu T., Sloma A. et al. Hyaluronic acid production in Bacillus subtilis. *Appl Env Microbiol*. 2005;71:3747-3752. doi: 10.1128/AEM.71.7.3747-3752.2005.
- Страхов М.А., Скорогляд А.В. Современные тенденции использования средств, замещающих синовиальную жидкость, на основе связанной гиалуриновой кислоты в лечении пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательного аппарата. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2013;20(4):85-91. doi: 10.17816/vto20130485-91.
- Strakhov M.A., Skoroglyadov A.V. Modern tendencies of synovial fluid substituting drugs based on bound hyaluronic acid use in treatment of patients with locomotor system pathology and injuries. *N.N. Priorov journal of traumatology and orthopedics*. 2013;20(4):85-91. (In Russian). doi: 10.17816/vto20130485-91.
- Boeriu C.G., Springer J., Kooy F.K., van den Broek L.A.M., Eggink G. Production methods for hyaluronan. *Int J Carbohydr Chem*. 2013;2013:1-14. doi: 10.1155/2013/624967.
- Jing W., Deangelis P.L. Synchronized chemoenzymatic synthesis of monodisperse hyaluronan polymers. *J Biol Chem*. 2004;279:42345-42349. doi: 10.1074/jbc.M402744200.
- Sze J.H., Brownlie J.C., Love C.A. Biotechnological production of hyaluronic acid: a mini review. *3 Biotech*. 2016;6(1):67. doi: 10.1007/s13205-016-0379-9.
- Ghosh P., Guidolin D. Potential mechanism of action of intra-articular hyaluronan therapy in osteoarthritis; are the effects molecular weight dependent? *Sem Arthr Rheum*. 2002;32:10-37. doi: 10.1053/sarh.2002.33720.
- Ström A., Larsson A., Okay O. Preparation and physical properties of hyaluronic acid-based cryogels. *J Appl Polym Sci*. 2015;132(29):1-11. doi: 42194 10.1002/app.42194.
- Conrozier T., Chevalier X. Long-term experience with hylan GF-20 in the treatment of knee osteoarthritis. *Expert Opin Pharmacother*. 2008;9:1797-1804. doi: 10.1517/14656566.9.10.1797.
- McCourt P.A. How does the hyaluronan scrapyard operate? *Matrix Biol*. 1999;18:427-432. doi: 10.1016/S0945-053X(99)00045-1.
- Frenkel J.S. The role of hyaluronan in wound healing. *Int Wound J*. 2014;11:159-163. doi: 10.1111/j.1742-481X.2012.01057.x.
- Litwiniuk M., Krejner A., Speyrer M.S., Gauto A.R., Grzela T. Hyaluronic acid in inflammation and tissue regeneration. *Wounds*. 2016;28:78-88. Available from: <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/wounds/article/hyaluronic-acid-inflammation-and-tissue-regeneration>.

19. Liang J., Jiang D., Noble P.W. Hyaluronan as a therapeutic target in human diseases. *Adv Drug Deliv Rev.* 2016;97:186-203. doi: 10.1016/j.addr.2015.10.017.
20. Holmes M.W.A., Bayliss M.T., Muir H. Hyaluronic acid in human articular cartilage. Age-related changes in content and size. *Biochem J.* 1988;250:435-441. doi: 10.1042/bj2500435.
21. Gupta R.C., Doss R.B., Lall R., Srivastava A., Sinha A. Nutraceuticals in arthritis. In: Gupta R.C., Srivastava A., Lall R. (eds.) Nutraceuticals in Veterinary Medicine. Cham: Springer Nature; 2019. p. 365-381.
22. Jadin L., Bookbinder L.H., Frost G.I. A comprehensive model of hyaluronan turnover in the mouse. *Matrix Biol.* 2012;31(2):81-89. doi: 10.1016/j.matbio.2011.11.002.
23. Heldin P., Basu K., Olofsson B., Porsch H., Kozlova I., Kahata K. Deregulation of hyaluronan synthesis, degradation and binding promotes breast cancer. *J Biochem.* 2013;154(5):395-408. doi: 10.1093/jb/mvt085.
24. Laurent U.B., Dahl L.B., Reed R.K. Catabolism of hyaluronan in rabbit skin takes place locally, in lymph nodes and liver. *Exp Physiol.* 1991;76(5):695-703. doi: 10.1113/expphysiol.1991.sp003536.
25. Lesley J., Hyman R. CD44 structure and function. *Front Biosci.* 1998;3:616-630. doi: 10.2741/a306.
26. Caires R., Luis E., Taberner F.J., Fernandez-Ballester G., Ferrer-Montiel A., Balazs E.A. et al. Hyaluronan modulates TRPV1 channel opening, reducing peripheral nociceptor activity and pain. *Nat Commun.* 2015;6:8095. doi: 10.1038/ncomms9095.
27. Ferrari L.F., Khomula E.V., Araldi D., Levine J.D. CD44 signaling mediates high molecular weight hyaluronan-induced Antihyperalgesia. *J Neurosci.* 2018;38(2):308-321. doi: 10.1523/jneurosci.2695-17.2017.
28. Bonet I.J.M., Araldi D., Khomula E.V., Bogen O., Green P.G., Levine J.D. Mechanisms mediating high-molecular-weight hyaluronan-induced Antihyperalgesia. *J Neurosci.* 2020;40(34):6477-6488. doi: 10.1523/jneurosci.0166-20.2020.
29. Machado V., Morais M., Medeiros R. Hyaluronic Acid-Based Nanomaterials Applied to Cancer: Where Are We Now? *Pharmaceutics.* 2022;14(10):2092. doi: 10.3390/pharmaceutics14102092.
30. Noble P.W. Hyaluronan and its catabolic products in tissue injury and repair. *Matrix Biol.* 2002;21(1):25-29. doi:10.1016/s0945-053x(01)00184-6.
31. Pahwa R., Nallasamy P., Jialal I. Toll-like receptors 2 and 4 mediate hyperglycemia induced macrovascular aortic endothelial cell inflammation and perturbation of the endothelial glycocalyx. *J Diabetes Complications.* 2016;30(4):563-572. doi: 10.1016/j.jdiacomp.2016.01.014.
32. Moreland L.W. Intra-articular hyaluronan. (hyaluronic acid) and hyalans for the treatment of osteoarthritis: mechanism of action. *Arthr Res Ther.* 2003;5(2):54-67. doi: 10.1186/ar623.
33. Chernos M., Grecov D., Kwok E., Bebe S., Babsola O., Anastassiades T. Rheological study of hyaluronic acid derivatives. *Biomed Eng Lett.* 2017;7(1):17-24. doi: 10.1007/s13534-017-0010-y.
34. George E. Intra-articular hyaluronan treatment for osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 1998;57:637-40. doi: 10.1136/ard.57.11.637.
35. Bagga H., Burkhardt D., Sambrook P., March L. Longterm effects of intraarticular hyaluronan on synovial fluid in osteoarthritis of the knee. *J Rheumatol.* 2006; 33(5):946-950. Available from: <https://www.jrheum.org/content/33/5/946>.
36. Yasuda T. Progress of research in osteoarthritis: pharmacological effects of hyaluronan. *Clin Calcium.* 2009;19:1644-1652.
37. Bothner H., Wik O. Rheology of hyaluronate. *Acta Otolaryngol.* 1987;104(S442):25-30. doi: 10.3109/00016488709102834.
38. Wang C.T., Lin Y.T., Chiang B.L., Lin Y.H., Hou S.M. High molecular weight hyaluronic acid down-regulates the gene expression of osteoarthritis-associated cytokines and enzymes in fibroblast-like synoviocytes from patients with early osteoarthritis. *Osteoarthr Cartilage.* 2006;14(12):1237-1247. doi: 10.1016/j.joca.2006.05.009.
39. Ghosh P., Guidolin D. Potential mechanism of action of intra-articular hyaluronan therapy in osteoarthritis: are the effects molecular weight dependent? *Semin Arthritis Rheum.* 2002;32(1):10-37. doi: 10.1053/sarh.2002.33720.
40. Yasuda T. Hyaluronan inhibits prostaglandin E2 production via CD44 in U937 human macrophages. *Tohoku J Exp Med.* 2010;220(3):229-235. doi: 10.1620/tjem.220.229.
41. Sasaki A., Sasaki K., Konttinen Y.T., Santavirta S., Takahara M. et al. Hyaluronate inhibits the interleukin-1beta-induced expression of matrix metalloproteinase (MMP)-1 and MMP-3 in human synovial cells. *Tohoku J Exp Med.* 2004;204(2):99-107. doi: 10.1620/tjem.204.99.
42. Gupta R.C., Lall R., Srivastava A., Sinha A. Hyaluronic Acid: Molecular Mechanisms and Therapeutic Trajectory. *Front Vet Sci.* 2019;6:192. doi: 10.3389/fvets.2019.00192.
43. Migliore A., Procopio S. Effectiveness and utility of hyaluronic acid in osteoarthritis. *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2015;12(1):31-33. doi: 10.11138/ccmbm/2015.12.1.031.
44. Xing F., Zhou C., Hui D., Du C., Wu L., Wang L. et al. Hyaluronic acid as a bioactive component for bone tissue regeneration: Fabrication, modification, properties, and biological functions. *Nanotechnology Reviews.* 2020;9:1059-1079. doi: 10.1515/ntrev-2020-0084.
45. Balazs E.A., Denlinger J.L. Viscosupplementation: a new concept in the treatment of osteoarthritis. *J Rheumatol.* 1993;39:3-9.
46. Страхов М.А., Алексеева Л.И., Маремкулов К.К. Низкомолекулярные гиалуронаты: биологическое действие, эффективность, безопасность и клинический опыт лечения болевых синдромов опорно-двигательного аппарата (обзор литературы и клинические наблюдения). *Современная ревматология.* 2023;17(1): 93-100. doi: 10.14412/1996-7012-2023-1-93-100.
47. Strakhov M.A., Alekseeva L.I., Maremkulov K.K. Low molecular weight hyaluronates: biological action, efficacy, safety and clinical experience in the treatment of musculoskeletal pain syndromes (literature review and clinical observations). *Modern Rheumatology Journal.* 2023;17(1):93-100. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2023-1-93-100.
48. Ilyin S.O., Kulichikhin V.G., Malkin A.Y. The rheological characterisation of typical injection implants based on hyaluronic acid for contour correction. *Rheol. Acta.* 2016;55:223-233. doi: 10.1007/s00397-016-0913-z.
49. Иванов П.Л., Хабаров В.Н. Биомедицинское применение гиалуроново́й кислоты и её химически модифицированных производных. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2020. 288 с.
50. Migliore A., Integlia D., Pompilio G., Di Giuseppe F., Aru C., Brown T. Cost-effectiveness and budget impact analysis of viscosupplementation with hylan G-F 20 for knee and hip osteoarthritis. *Clinicoecon Outcomes Res.* 2019;11:453-464. doi: 10.2147/CEOR.S194669.

50. Mordin M., Parrish W., Masaquel C., Bisson B., Copley-Merriman C. Intra-articular hyaluronic acid for osteoarthritis of the knee in the united states: a systematic review of economic evaluations. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord.* 2021;14:11795441211047284. doi: 10.1177/11795441211047284.
51. Zhu K.Y., Acuña A.J., Samuel L.T., Grits D., Kamath A.F. Hyaluronic acid injections for knee osteoarthritis: has utilization among medicare beneficiaries changed between 2012 and 2018? *J Bone Joint Surg Am.* 2022;104(10):e43. doi: 10.2106.
52. Dysart S., Utkina K., Stong L., Nelson W., Sacks N., Healey B. et al. Insights from real-world analysis of treatment patterns in patients with newly diagnosed knee osteoarthritis. *Am Health Drug Benefits.* 2021;14(2):56-62. Available from: <https://https.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8244737/>.
53. Schmajuk G., Bozic K.J., Yazdany J. Using Medicare data to understand low-value health care: the case of intra-articular hyaluronic acid injections. *JAMA Intern Med.* 2014;174:1702-1704. doi: 10.1001/jamainternmed.2014.3926.
54. Bhandari M., Bannuru R.R., Babins E.M., Martel-Pelletier J., Khan M., Raynauld J.P. et al. Intra-articular hyaluronic acid in the treatment of knee osteoarthritis: a Canadian evidence-based perspective. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2017;9(9):231-246. doi: 10.1177/1759720X17729641.
55. Bruyère O., Honvo G., Veronese N., Arden N.K., Branco J., Curtis E.M. et al. An updated algorithm recommendation for the management of knee osteoarthritis from the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). *Semin Arthritis Rheum.* 2019;49(3):337-350. doi: 10.1016/j.semarthrit.2019.04.008.
56. Варонько И.А. Место препаратов гиалуроновой кислоты в лечении остеоартрита. *Медицинские новости.* 2018; 2:24-28.
Varonka I.A. The role of hyaluronic acid preparations in the treatment of osteoarthritis. *Meditinskie novosti.* 2018; 2:24-28. (In Russian).
57. Экспертный совет. О применении гиалуроновой кислоты для локальной инъекционной терапии патологий верхней, нижней конечности, заболеваний спины и позвоночника: пострелиз. *РМЖ. Медицинское обозрение.* 2023;7(4):232-233. Available from: <https://www.rusmedreview.com/archive/khirurgiya-urologiya-4-2023/>.
Expert Council. The use of hyaluronic acid for local injection therapy in pathologies of upper and lower extremities and spinal disorders: post-release. *Russian Medical Inquiry.* 2023;7(4):232-233. (In Russian). Available from: <https://www.rusmedreview.com/archive/khirurgiya-urologiya-4-2023/>.
58. Migliore A., Procopio S. Effectiveness and utility of hyaluronic acid in osteoarthritis. *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2015;12(1):31-33. doi: 10.11138/ccmbm/2015.12.1.031.
59. Weiss C. Viscosupplementation in the older patient with osteoarthritis. *Operative Techniques in Orthopaedics.* 2002;12(2):124-130. doi: 10.1053/otor.2002.36174.
60. Qiao X., Yan L., Feng Y., Li X., Zhang K., Lv Z. et al. Efficacy and safety of corticosteroids, hyaluronic acid, and PRP and combination therapy for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24(1):926. doi: 10.1186/s12891-023-06925-6.
61. Safali S., Ertaş E.S., Özdemir A., Cataklı D. Evaluation of single and multiple hyaluronic acid injections at different concentrations with high molecular weight in the treatment of knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25(1):164. doi: 10.1186/s12891-024-07200-y.
62. Pereira T.V., Jüni P., Saadat P., Xing D., Yao L., Bobos P. et al. Viscosupplementation for knee osteoarthritis: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2022;378: e069722. doi: 10.1136/bmj-2022-069722.
63. Ferkel E., Manjoo A., Martins D., Bhandari M., Sethi P., Nicholls M. Intra-articular Hyaluronic Acid Treatments for Knee Osteoarthritis: A Systematic Review of Product Properties. *Cartilage.* 2023;14(4):424-432. doi: 10.1177/19476035231154530.
64. Migliore A., Maheu E., Saccone L., de Campos G.C., Alekseeva L., Chevalier X., Conrozier T. et al. What We Should Expect from an Innovative Intra-Articular Hyaluronic Acid Product: Expert Opinion Based on a Comprehensive Review of the Literature. *J Clin. Med.* 2023;12(23):7422. doi: 10.3390/jcm12237422.
65. Wu B., Li Y., Liu Y. Efficacy of intra-articular hyaluronic acid injections in hip osteoarthritis: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Oncotarget.* 2017;8(49): 86865-86876. doi: 10.18632/oncotarget.20995.
66. De Lucia O., Pierannunzi L.M., Pregolato F., Verduci E., Crotti C., Valcamonica E. et al. Effectiveness and Tolerability of Repeated Courses of Viscosupplementation in Symptomatic Hip Osteoarthritis: A Retrospective Observational Cohort Study of High Molecular Weight vs. Medium Molecular Weight Hyaluronic Acid vs. No Viscosupplementation. *Front Pharmacol.* 2019; 10:1007. doi: 10.3389/fphar.2019.01007.
67. Clementi D., D'Ambrosi R., Bertocco P., Bucci M.S., Cardile C., Ragni P. et al. Efficacy of a single intra-articular injection of ultra-high molecular weight hyaluronic acid for hip osteoarthritis: a randomized controlled study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(5):915-922. doi: 10.1007/s00590-017-2083-9.
68. Familiari F., Ammendolia A., Rupp M.C., Russo R., Pujia A., Montalcini T. et al. Efficacy of intra-articular injections of hyaluronic acid in patients with glenohumeral joint osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Res.* 2023;41(11): 2345-2358. doi: 10.1002/jor.25648.
69. Younger A.S.E., Penner M., Wing K., Veljkovic A., Nacht J., Wang Z. et al. Nonanimal Hyaluronic Acid for the Treatment of Ankle Osteoarthritis: A Prospective, Single-Arm Cohort Study. *J Foot Ankle Surg.* 2019;58(3): 514-518. doi: 10.1053/j.jfas.2018.10.003.
70. Murphy E.P., Curtin M., McGoldrick N.P., Thong G., Kearns S.R. Prospective Evaluation of Intra-Articular Sodium Hyaluronate Injection in the Ankle. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(2):327-331. doi: 10.1053/j.jfas.2016.09.017.
71. Kroon F.P.B., Rubio R., Schoones J.W., Kloppenburg M. Intra-Articular Therapies in the Treatment of Hand Osteoarthritis: A Systematic Literature Review. *Drugs Aging.* 2016;33(2):119-133. doi: 10.1007/s40266-015-0330-5.
72. Riley N., Vella-Baldacchino M., Thurley N., Hopewell S., Carr A.J., Dean B.J.F. Injection therapy for base of thumb osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2019;9(9):e027507. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027507.

73. Qiao X., Yan L., Feng Y., Li X., Zhang K., Lv Z. et al. Efficacy and safety of corticosteroids, hyaluronic acid, and PRP and combination therapy for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24(1):926. doi: 10.1186/s12891-023-06925-6.
74. Khan M., Shanmugaraj A., Prada C., Patel A., Babins E., Bhandari M. The Role of Hyaluronic Acid for Soft Tissue Indications: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Health.* 2023;15(1):86-96. doi: 10.1177/19417381211073316.
75. Fogli M., Giordan N., Mazzoni G. Efficacy and safety of hyaluronic acid (500-730kDa) Ultrasound-guided injections on painful tendinopathies: a prospective, open label, clinical study. *Muscle Ligaments Tendons J.* 2017;7(2):388-395. doi: 10.11138/mltj/2017.7.2.388.
76. Agostini F., de Sire A., Paoloni M., Finamore N., Ammendolia A., Mangone M. Effects of hyaluronic acid injections on pain and functioning in patients affected by tendinopathies: A narrative review. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2022;35(5):949-961. doi: 10.3233/BMR-210309.
77. Crimaldi S., Liguori S., Tamburrino P., Moretti A., Paoletta M., Toro G. et al. The Role of Hyaluronic Acid in Sport-Related Tendinopathies: A Narrative Review. *Medicina.* 2021;57(10):1088. doi: 10.3390/medicina57101088.
78. Shivam B., Balgovind S.R., Bishwa B.N., Anil R., Arghya K.C., Divyansh S. Efficacy of hyaluronic acid in rotator cuff pathology compared to other available treatment modalities: A Systematic Review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Reports.* 2023;2(3):100157. doi: 10.1016/j.jorep.2023.100157.
79. Zhi F., Cai F., Zhang W., Xiong L., Hu J., Lin X. Clinical efficacy of different shoulder joint drug injections for rotator cuff injuries: A network meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2022;101(39):e30659. doi: 10.1097/MD.00000000000030659.
80. Papalia R., Tecame A., Vadalà G., Russo F., Perna M., Papalia G. et al. The use of hyaluronic acid in the treatment of shoulder capsulitis: a systematic review. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2017;31(4 Suppl 2):23-32. Available from: [https://www.biolifesas.org/EN/Y2017/V31/I4\(S2\)/23](https://www.biolifesas.org/EN/Y2017/V31/I4(S2)/23).
81. Jang M.H., Lee C.H., Shin Y.I., Kim S.Y., Huh S.C. Effect of Intra-articular Hyaluronic Acid Injection on Hemiplegic Shoulder Pain After Stroke. *Ann Rehabil Med.* 2016;40(5):835-844. doi: 10.5535/arm.2016.40.5.835.
82. Yang X., Liang W., Li J., Liu P. A meta-analysis and systematic review of the therapeutic effects of arthroscopy combined with intra-articular injection of sodium hyaluronate in the treatment of knee osteoarthritis. *Ann Palliat Med.* 2021;10(9):9859-9869. doi: 10.21037/apm-21-2145.
83. Kumai T., Samoto N., Hasegawa A., Noguchi H., Shiranita A., Shiraishi M. et al. Short-term efficacy and safety of hyaluronic acid injection for plantar fasciopathy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(3):903-911. doi: 10.1007/s00167-017-4467-0.
84. Costa, F.R., Costa Marques M.R., Costa V.C., Santos G.S., Martins R.A., Santos M.B.S. et al. Intra-Articular Hyaluronic Acid in Osteoarthritis and Tendinopathies: Molecular and Clinical Approaches. *Biomedicines.* 2023;11(4):1061. doi: 10.3390/biomedicines11041061.

Разработчики и редакторы:

Страхов Максим Алексеевич — к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии педфака ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, г. Москва

Виноградова Наталья Анатольевна — к.м.н., ревматолог, врач УЗИ, Клинико-диагностический центр МЕДСИ, г. Москва

Девальд Инесса Валерьевна — к.м.н., доцент кафедры ИДПО ЮуГМУ, ревматолог, врач УЗИ, терапевт высшей категории, г. Челябинск

Заидулин Кирилл Сергеевич — травматолог-ортопед, член ассоциации травматологов-ортопедов Челябинской области, куратор практической школы артроскопии Челябинской области, г. Челябинск

Качесов Антон Владимирович — к.м.н., травматолог-ортопед, врач высшей категории, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Институт травматологии, г. Нижний Новгород

Колесников Ян Геннадьевич — врач-хирург, ортопед, УЗД, Институт хирургической коррекции и восстановления. Преподаватель-исследователь, член РОХ, АТОР, ICRS, ESVS, г. Москва

Левашева Людмила Александровна — к.м.н., ревматолог, главный врач Клиники ревматологии профессора А.И. Дубикова, г. Владивосток

Нагматуллин Владислав Рустэмович — травматолог-ортопед, ГКБ № 12, г. Казань

Пастель Владимир Борисович — к.м.н., ортопед, артролог, врач высшей категории, главный врач Клиники Музалевского, г. Саратов

Сиразитдинов Саяр Дамирович — заведующий травматологическим отделением консультативной поликлиники травматологического центра, травматолог-ортопед высшей категории, г. Казань

Тукаев Руслан Салихьянович — травматолог-ортопед, г. Тюмень

Якушев Денис Сергеевич — травматолог-ортопед ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, преподаватель Российской ассоциации стопы и голеностопного сустава (RUSFAS), г. Москва

ВРЕДЕНОВСКИЕ ИГРЫ 2024: НАУЧНЫЕ СОСТЯЗАНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ VREDEN GAMES 2024: SCIENTIFIC COMPETITIONS OF YOUNG SCHOLARS

12 апреля 2024 года в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена состоялась всероссийская конференция молодых ученых «Вреденовские игры». Участие в конференции приняли студенты старших курсов медицинских вузов, ординаторы, аспиранты и научные сотрудники до 35 лет без ученой степени — всего 338 молодых ученых, в том числе 270 онлайн-участников. География выступающих впечатляет: Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Нижний Новгород, Курган, Мурманск, Рязань.

В I туре «Вреденовских игр» 51 участник представил результаты своих исследований в 4 секциях:

- Современные аспекты вертебрологии
- Травматология и ортопедия детского возраста
- Вся правда об эндопротезировании крупных суставов
- Новые возможности в травматологии и ортопедии

По традиции во II тур конференции прошли десять лучших докладчиков, шестеро из них по итогам ответов на вопросы экспертной комиссии стали призерами конференции:

I место — Юлия Олейник (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург)

II место — Юрий Молотков (НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова, Курган)

II место — Игорь Жуковец (ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург)

III место — Евгений Головёнкин (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург)

III место — Владислав Шаров (НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва)

III место — Александр Макаров (НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург)

Желаем дальнейших успехов и новых достижений! Приглашаем к участию во «Вреденовских играх» в 2025 году! Молодых учёных, которые защитят диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук и по правилам больше не смогут участвовать во «Вреденовских играх», приглашаем к участию в специальной секции ежегодной научно-практической конференции с международным участием «Вреденовские чтения» — «Академия молодых ученых им. Р.Р. Вредена».

Подготовила А.М. Клетчёнок



Экспертное жюри и призеры конференции

ЭКСПЕРТЫ ОБСУДИЛИ ВОПРОСЫ РЕАБИЛИТАЦИИ И КОНСЕРВАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

EXPERTS DISCUSSED THE ISSUES ON REHABILITATION AND CONSERVATIVE TREATMENT OF TRAUMA AND ORTHOPEDIC PATIENTS

26 апреля 2024 года в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена прошла всероссийская конференция «Реабилитация и консервативное лечение пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательной системы».

В рамках трёх секционных заседаний участники представили 30 докладов, а также состоялся интерактивный курс с практикующими врачами — мастер-класс по применению инновационных методик физиотерапевтической реабилитации.



Конференция проходила в гибридном формате: 91 человек посетили конференцию очно, к трансляции подключились 1902 пользователя. Таким образом, число участников конференции увеличилось более чем в 2 раза по сравнению с прошлым годом.

Основные темы прошедшей конференции:

- Современная реабилитация после травм
- Реабилитация после ортопедических операций на крупных суставах
- Восстановление после операций на позвоночнике
- Возможности клеточных технологий при реабилитации
- Роль протезов синовиальной жидкости в реабилитации
- «Фармакологическая» реабилитация хронических заболеваний опорно-двигательной системы

Уважаемые коллеги! Год от года конференция объединяет все больше специалистов — это отличная возможность делиться лучшими практиками и совместно находить ответы на сложные вопросы. До встречи через год на традиционной апрельской конференции по реабилитации и консервативному лечению!

Подготовила А.М. Клетчёнок