

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



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY
AND ORTHOPEDICS
OF RUSSIA

2023 • Т. 29 • № 4

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

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

Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 29, N 4, 2023

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
Translators: M.A. Sergeeva, V.I. Malyshev

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

© Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia), 2023
© Eco-Vector, 2023

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.) (St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia)
Mikhail V. Belov – Cand. Sci. (Med.) (Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)
Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Dmitry Yu. Borzunov – Dr. Sci. (Med.) (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)
Luigi Zagra – MD, Professor (Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)
Nikolai N. Kornilov – Dr. Sci. (Med.) (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.) (Tsivyan 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 29, Выпуск 4, 2023

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@rniiito.org
<https://journal.rniiito.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., Малышев В.И.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург, ул. Сабиrowsкая, д. 37.
Цена свободная.

Главный редактор

Тихилов Рашид Муртузалиевич – чл.-корр. 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 (СПб НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия)
Белов М.В. – канд. мед. наук (Клиническая больница скорой медицинской помощи им. Н.В. Соловьева, Ярославль, Россия)
Божкова С.А. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Борзунов Д.Ю. – д-р мед. наук (Уральский ГМУ, Екатеринбург, 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 (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, Н. 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 (РНМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия)
Середа 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.rniiito.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., Preobrazhensky P.M., Kochish A.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A., Klitsenko O.A. Periprosthetic Knee and Hip Infection – Is It Possible to Compare Treatment Outcomes?.....	5
Malyuchenko L.I., Nikolaev N.S., Yakovlev V.V., Preobrazhenskaya E.V. Treating Periprosthetic Joint Infection With Silver-Impregnated Carbon-Coated Spacers: Mid-Term Outcomes.....	14
Bogopolskiy O.E., Filonov P.V., Tikhilov R.M. Results of Arthroscopic Treatment of Patients With Femoroacetabular Impingement Depending on the Type of Hip Deformity.....	24
Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnyukhin I.Yu., Poznovich M.S., Baskaeva T.V. Effect of Radical Hip Reconstruction in Children With Hip Subluxation on Sagittal Balance and Type of Vertical Posture: Mid-Term Results	35
Myasoedov A.A., Shubnyakov I.I., Sereda A.P., Karelkin V.V., Yunkina E.A., Berezin G.V. Osteonecrosis of the Femoral Head: Another Legacy of COVID-19?	49
Sergeev G.D., Belen'kiy I.G., Refitskiy Yu.V., Savello V.E., Maierov B.A. Results of Surgical Treatment of Ankle and Posterior Malleolus Fractures Using Different Surgical Techniques.....	59
Egiazaryan K.A., Parsadanyan G.K., Ershov D.S., Skvortsova M.A., Ratiev A.P., Afanasiev A.V. Mid-Term Results of Surgical Treatment for Rhizarthrosis Using Interposition and Suspension-Interposition Arthroplasty	69
Fomichev V.A., Sorokin E.P., Konvalchuk N.S., Pashkova E.A., Sereda A.P. Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale AOFAS-AHS.....	78
DISCUSSIONS	
Zadneprovskiy N.N., Kulikov V.V., Vladimirova Ya.B., Ivanov P.A. Suggestions for Introducing Some New Terms in Pelvic and Acetabular Surgery.....	87

Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Schmeljov A.V. Total Knee Arthroplasty in Hemodialysis Patients: Routine or Complex Surgery?.....	101
COMMENTS	
Kornilov N.N. Editorial Comment on the Article by A.N. Tsed et al. “Total Knee Arthroplasty in Hemodialysis Patients: Routine or Complex Surgery?”	113
EXPERIENCE EXCHANGE	
Keheyov R.I., Semenistyy A.A., Georgiev P.R., Gerchev A.I. Treatment Outcomes After Open Reduction, Varus Derotational Osteotomy and Dega Acetabuloplasty in Children With Dislocated Dysplastic Hip: Retrospective Analysis	116
CASE REPORTS	
Korobushkin G.V., Akhmedov B.G., Chebotarev V.V., Gaidarov A.R. Repair of Bone Defect of the Talus with Calcaneus Autograft and Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis: A Case Report	125
REVIEWS	
Golovenkin E.S., Solomin L.N. Correction of Multiapical Deformities of Long Bones of the Lower Extremities: A Review	134
Korneva Yu.S., Borisenko M.B. Role of Infrapatellar Fat Tissue in the Pathogenesis of Knee Osteoarthritis: A Review.....	147
HISTORY OF MEDICINE	
Egiazaryan K.A., Ershov D.S. Georgii S. Bom – the founder of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery of Pirogov Russian National Research Medical University.....	156
JUBILEES	
Vladimir S. Zubikov To the 70 th Anniversary of the Birth	160
MEMORIAL DATES	
Vladimir F. Tsel To the 125 th Anniversary of the Birth	162
LETTERS TO EDITOR	164

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Божкова С.А., Преображенский П.М., Кочиш А.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А., Клиценко О.А.

Перипротезная инфекция коленного и тазобедренного суставов — можно ли сравнивать результаты лечения? 5

Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Яковлев В.В., Преображенская Е.В.
Среднесрочные результаты лечения перипротезной инфекции с применением спейсеров с углеродным покрытием, импрегнированных серебром 14

Богопольский О.Е., Филонов П.В., Тихилов Р.М.
Результаты артроскопического лечения пациентов с фемороацетабулярным импинджментом в зависимости от типа деформации тазобедренного сустава 24

Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С., Баскаева Т.В.

Влияние радикальной реконструкции тазобедренного сустава у детей с подвывихом бедра на показатели сагиттального баланса и тип вертикальной осанки: среднесрочные результаты 35

Мясоедов А.А., Шубняков И.И., Середа А.П., Карелкин В.В., Юнкина Е.А., Березин Г.В.
Остеонекроз головки бедренной кости — еще одно наследие COVID-19? 49

Сергеев Г.Д., Беленький И.Г., Рефицкий Ю.В., Савелло В.Е., Майоров Б.А.
Результаты лечения пациентов с переломами лодыжек и заднего края большеберцовой кости с использованием различных вариантов хирургической техники 59

Егиазарян К.А., Парсаданян Г.К., Ершов Д.С., Скворцова М.А., Ратьев А.П., Афанасьев А.В.
Среднесрочные результаты хирургического лечения ризартроза методами интерпозиционной и суспензионно-интерпозиционной артропластики 69

Фомичев В.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Середа А.П.
Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы Американской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава (AOFAS-AHS) 78

ДИСКУССИИ

Заднепровский Н.Н., Куликов В.В., Владимирова Я.Б., Иванов П.А.
Предложения по введению некоторых новых терминов в хирургию таза и вертлужной впадины 87

Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., Шмелев А.В.
Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай? 101

КОММЕНТАРИИ

Корнилов Н.Н.
Редакционный комментарий к статье А.Н. Цеда с соавторами «Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай?» 113

ОБМЕН ОПЫТОМ

Кехайов Р.И., Семенистый А.А., Георгиев П.Р., Герчев А.И.
Результаты открытого вправления врожденного вывиха бедра, варизирующей деротационной остеотомии и ацетабулопластики по Dege у детей с дисплазией тазобедренного сустава: ретроспективный анализ 116

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

Коробушкин Г.В., Ахмедов Б.Г., Чеботарев В.В., Гайдаров А.Р.
Замещение костного дефекта таранной кости аутотрансплантатом, взятым из пяточной кости, с применением AMIC-технологии: клинический случай 125

ОБЗОРЫ

Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н.
Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы 134

Корнева Ю.С., Борисенко М.Б.
Значение инфрапателлярной жировой ткани в патогенезе остеоартрита коленного сустава: обзор зарубежной литературы 147

ИСТОРИЯ МЕДИЦИНЫ

Егиазарян К.А., Ершов Д.С.
Георгий Сергеевич Бом — основатель кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова 156

ЮБИЛЕИ

Владимир Сергеевич Зубиков
К 70-летию со дня рождения 160

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Владимир Федорович Цель
К 125-летию со дня рождения 162

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ 164



Periprosthetic Knee and Hip Infection – Is It Possible to Compare Treatment Outcomes?

Svetlana A. Bozhkova¹, Petr M. Preobrazhensky¹, Andrey A. Kochish¹,
Rashid M. Tikhilov^{1,2}, Vasily A. Artyukh¹, Olga A. Klitsenko²

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

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

Abstract

Background. It is known that the outcomes of patients treatment with periprosthetic joint infection (PJI) are significantly influenced by the state of the patient's body, the nature of the pathogen, the state of tissues in the area of the infectious focus and the treatment tactics. However, topographic and anatomical features of the blood supply to the knee and hip joints, as well as the volume of soft tissues, can affect the spectrum of pathogens, manifestations of the infectious process and, as a consequence, the effectiveness of treatment.

The aim of the study was to conduct a comparative analysis of the somatic status of patients, the etiology of the infectious process and the effectiveness of treatment of PJI depending on its localization.

Methods. A single-center retrospective study was conducted. The cases of 337 patients were studied – 119 patients with knee and 218 patients with hip PJI who underwent treatment with a two-stage technique during the period from 2007 to 2017. A comparative analysis of the PJI pathogens structure and concomitant pathology between patients with hip and knee PJI was carried out. The frequency of infection relief in the groups following the first stage was counted.

Results. Recurrence was diagnosed four times more frequently in patients with hip PJI compared to knee PJI. Risk factors for recurrence were gram-negative pathogens, microbial associations, and fistulous forms of the infectious process. Localization of the infectious process in the hip area was associated with a statistically significant greater volume of blood loss during the prolonged debridement surgery.

Conclusions. Recurrences of PJI occur more frequently in the hip area compared to the knee joint. Further analysis of critical factors in recurrence development is necessary for potential intervention.

Keywords: periprosthetic joint infection, hip arthroplasty, knee arthroplasty, comorbidity, etiology.

Cite as: Bozhkova S.A., Preobrazhensky P.M., Kochish A.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A., Klitsenko O.A. Periprosthetic Knee and Hip Infection – Is It Possible to Compare Treatment Outcomes? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4): 5-13. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15526>.

✉ Andrey A. Kochish; e-mail: kochishman@gmail.com

Submitted: 13.08.2023. Accepted: 31.10.2023. Published Online: 20.11.2023.

© Bozhkova S.A., Preobrazhensky P.M., Kochish A.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A., Klitsenko O.A., 2023

Перипротезная инфекция коленного и тазобедренного суставов — можно ли сравнивать результаты лечения?

С.А. Божкова¹, П.М. Преображенский¹, А.А. Кочиш¹, Р.М. Тихилов¹,
В.А. Артюх¹, О.А. Клиценко²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» 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. Известно, что на исходы лечения пациентов с перипротезной инфекцией (ППИ) значимое влияние оказывают состояние организма пациента и тканей в области инфекционного очага, характер возбудителя, тактика проведенного лечения. Однако топографо-анатомические особенности кровоснабжения коленного и тазобедренного суставов, а также объема мягких тканей также могут влиять на спектр возбудителей, проявления инфекционного процесса и, как следствие, на эффективность лечения. **Цель исследования** — провести сравнительный анализ соматического статуса пациентов, этиологии инфекционного процесса и эффективности лечения перипротезной инфекции в зависимости от ее локализации.


Материал и методы. Проведено когортное ретроспективное исследование. Изучены истории болезни 337 пациентов: 119 с ППИ после эндопротезирования коленного сустава (КС) и 218 — после эндопротезирования тазобедренного сустава (ТБС), прошедших лечение с применением двухэтапной методики с 2007 по 2017 г. Проведен сравнительный анализ структуры возбудителей ППИ и сопутствующей патологии между пациентами с ППИ КС и ТБС, определена частота купирования инфекции в обеих группах после первого этапа лечения.

Результаты. Рецидив диагностировали в 4 раза чаще у пациентов с ППИ ТБС относительно ППИ КС. Факторами риска рецидива были грамотрицательные возбудители, микробные ассоциации и свищевые формы инфекционного процесса. Локализация инфекционного процесса в области ТБС ассоциирована со статистически значимо большим объемом кровопотери на фоне более длительной операции санирующего этапа.

Заключение. Рецидивы перипротезной инфекции чаще происходят в области тазобедренного сустава по сравнению с коленным суставом. Необходим дальнейший анализ критически важных факторов развития рецидива с целью возможного воздействия на них.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, эндопротезирование тазобедренного сустава, эндопротезирование коленного сустава, коморбидность, этиология.

 **Для цитирования:** Божкова С.А., Преображенский П.М., Кочиш А.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А., Клиценко О.А. Перипротезная инфекция коленного и тазобедренного суставов — можно ли сравнивать результаты лечения? *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):5-13. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15526>.

 Кочиш Андрей Александрович; e-mail: kochishman@gmail.com

Рукопись получена: 13.08.2023. Рукопись одобрена: 31.10.2023. Статья опубликована онлайн: 20.11.2023.

© Божкова С.А., Преображенский П.М., Кочиш А.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А., Клиценко О.А., 2023

BACKGROUND

Periprosthetic joint infection (PJI) following arthroplasty is one of the most serious complications. It consistently ranks among the top three most common reasons for revision surgery, along with dislocations and aseptic instability [1, 2]. The frequency of PJI remains high, and its absolute numbers are increasing, leading to substantial financial burdens associated with its treatment [3, 4]. High recurrence rates, coupled with the rising prevalence of difficult-to-eradicate (DTE) pathogens, compel surgeons to continue using the two-stage treatment method, which involves debridement with the placement of an antimicrobial spacer, followed by rearthroplasty [5, 6]. Despite being the established method for treating chronic PJI, the recurrence rate remains high, ranging from 10% to 30% [7, 8].

Currently, risk factors related to patients, such as obesity, chronic liver and kidney diseases, systemic illnesses, and dependencies, are actively being studied [9, 10, 11]. However, the influence of the localization of the infectious process, i.e., an anatomical factor, has not been adequately explored. The knee joint and hip joint have unique topographic and anatomical features in terms of blood supply and soft tissue volume in the surgical access area. Their proximity to the organs of the pelvis for hip and a thin layer of connective tissue for knee could potentially affect the spectrum of PJI pathogens and the frequency of fistula formation.

A review of the literature on the research topic revealed a limited number of publications dedicated to the comparative analysis of risk factors for PJI recurrence based on its localization. New data regarding the characteristics of infectious processes in different locations and their impact on outcomes could improve the effectiveness of treatment for this patient population.

The aim of this study — to conduct a comparative analysis of the somatic status of patients, the etiology of the infectious process, and the effectiveness of treatment for chronic PJI based on its localization.

METHODS

Study design

A retrospective cohort study was conducted based on the analysis of medical records and

telephone interviews of 337 patients with PJI following primary arthroplasty. This included 119 patients with knee PJI and 218 patients with hip PJI who underwent treatment at Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics from 2007 to 2017.

Inclusion criteria: Newly diagnosed PJI with subsequent debridement surgery and the placement of an antimicrobial spacer.

Exclusion criteria: revisions in the patient's medical history, systemic inflammatory response at admission, and the use of a tourniquet during knee joint debridement.

PJI diagnosis was made based on the criteria of the Consensus Meeting on Periprosthetic Joint Infection (2018) [12]. Patients were divided into two groups based on the localization of the infectious process: group 1 — knee infection and group 2 — hip infection. Both groups were assessed for hospitalization duration, duration of debridement surgery, volume of blood loss, spectrum of PJI pathogens, comorbidity index [13], infection type according to W. Zimmerli, the proportion of patients with fistulous infection forms, and the effectiveness of PJI control.

Microbiological examination results of tissue biopsies and sonicated fluid samples from removed constructs were considered for analyzing the spectrum of pathogens. Infection type was determined based on W. Zimmerli's classification, which is based on the time of infection manifestation after primary arthroplasty [14]. Three infection types were identified: early (manifesting within less than 3 months), delayed (manifesting between 3 to 12 months), and late (manifesting after 12 months).

To obtain a cumulative comorbidity score, the frequency of pathologies that could influence treatment outcomes was analyzed. The comorbidity score was determined by summing the scores for all pathologies according to their severity [13].

The effectiveness of eradicating chronic infection was assessed upon the patients' admission for the second stage of surgical treatment. The mean follow-up period for patients after the first stage was 180 days (IQR 150-95). Eradication of infection was defined as the absence of clinical and laboratory signs of the infectious process, as well as no recurrence data between treatment stages. Eleven patients

with knee PJI were excluded from the treatment effectiveness analysis due to their unavailability during the study.

Statistical analysis

The collected data were analyzed using the StatSoft STATISTICA 10. The comparison of the frequencies of qualitative characteristics (gender, PJI type, treatment effectiveness) was conducted using the chi-squared (χ^2) and Pearson methods. Median (Me) and interquartile range (IQR) (Q1-Q3; 25-75%) were used for quantitative variables. When analyzing differences in quantitative data (age, duration of hospitalization and surgery, total comorbidity score) between the study groups, the Mann-Whitney U test was employed. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. To assess the risk of recurrence, the relative risk (RR) with a 95% confidence interval (CI) was calculated following evidence-based medicine rules.

RESULTS

The study revealed a prevalence of females over males in the overall cohort of patients included in the study (Table 1). The proportion of females

among patients with knee PJI was significantly higher ($p = 0.03$) than the corresponding figure in the hip PJI group. The age of patients ranged from 22 to 87 years, with a median (Me) of 62 years and an interquartile range (IQR) of 53–69 years. Patients with knee infection were significantly older than those with hip PJI ($p = 0.004$).

Irrespective of the localization of the infectious process, the prevailing infection type (51.6%) was late-onset infection, with symptoms manifesting a year or more after arthroplasty. Fistulous infection (FI) was observed in half of all cases (50.7%), but comparative analysis established its statistically significant prevalence among patients with infection localized in the hip area ($p < 0.05$).

The comorbidity index ranged from 5 to 12 points (Table 2). Patients with knee PJI had, on average, a higher level of this indicator than the group with hip PJI ($p = 0.01$).

In contrast, the duration of surgery ($p = 0.00$), the volume of intraoperative blood loss ($p = 0.00$), and the length of hospitalization ($p = 0.02$) were significantly higher among patients with hip infection.

Table 1

Characteristics of patients in the study groups, % (n)

Characteristic	Total, n = 337	Knee group, n = 119	Hip group, n = 218	p
Male	39.8 (134)	32.0 (38)	44.0 (96)	0.03
Female	60.2 (203)	68.0 (81)	56.0 (122)	
Age, years	62 (53–69)	64 (58–69)	61 (50–70)	0.004
PJI type:				
early	24.6 (83)	26.7 (32)	23.4 (51)	>0.05
delayed	23.7 (80)	26.0 (31)	22.5 (49)	>0.05
late	51.6 (174)	47.0 (56)	54.1 (118)	>0.05
PJI form:				
fistulous	50.7 (171)	27.7 (33)	63.3 (138)	0.00
non-fistulous	49.3 (166)	72.3 (86)	36.7 (80)	0.00

* Statistically significant values are shown in bold.

Table 2

Study parameters in study groups

Parameter	Knee group	Hip group	p
Comorbidity index	9 (7–12)	8 (5–11)	0.01
Hospitalization duration, days	23 (19–27)	25 (21–31)	0.02
Surgery time, min	165 (135–190)	190 (160–220)	0.000
Blood loss, ml	650 (400–900)	800 (500–1100)	0.001

* Statistically significant values are shown in bold.

The effectiveness of controlling PJI after the debridement stage in the overall patient cohort was 83.8% (Table 3). Of note is the statistically significant predominance of adverse treatment outcomes among patients with hip infection compared to the knee infection ($p = 0.002$).

Among the leading pathogens causing PJI in both patient groups, *staphylococci* (54.2%) were predominant (Table 4). Among patients with knee infection, *Staphylococcus epidermidis* slightly prevailed, while *Staphylococcus aureus* prevailed in the hip group. No significant differences in the frequency of microorganisms were found between the groups, except for *Propionibacterium* sp. This pathogen was significantly more frequently isolated from the biomaterial of patients with knee PJI ($p = 0.04$).

Further analysis of pathogen structure focused on studying the frequency of PJI recurrence in patients with infections of different localizations (Table 5). It was found that monobacterial infection caused by Gram-positive (Gram(+)) bacteria significantly recurred more frequently ($p < 0.05$) when the infectious process was localized in the hip area. In patients with knee PJI, the isolation of Gram-negative (Gram(-)) pathogens increased the risk of recurrence by 7 times (RR – 7.3; 95% CI 1.2–45.9) compared to Gram(+) infection.

Microbial associations were predominantly found in patients with hip PJI, with the participation of (Gram(-)) bacteria increasing the risk of recurrence by more than 2 times (RR – 2.3; 95% CI 0.7–7.3).

Table 3

Outcomes before the second stage of treatment, % (n)

Outcome	Total	Knee group	Hip group	p
Recurrence	16.2 (49)	5.0 (5)	21.8 (44)	0.002
Remission	83.8 (254)	95.0 (96)	78.2 (158)	>0.05
Total	100 (303)	100 (101)	100 (202)	n/a

* Statistically significant values are shown in bold; n/a – not applicable.

Table 4

Structure of PJI pathogens in groups

Pathogen	Knee group, % (n)	Hip group, % (n)	p
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	29.2 (40)	28.1 (74)	>0.05
<i>Staphylococcus aureus</i>	27.0 (37)	33.4 (88)	>0.05
<i>Enterococcus</i> sp.	8.8 (12)	7.2 (19)	>0.05
<i>Propionibacterium</i> sp.	7.3 (10)	1.9 (5)	0.04*
<i>Enterobacteriaceae</i> family	6.6 (9)	4.2 (11)	>0.05
Coagulase-negative staphylococci	5.1 (7)	4.6 (12)	>0.05
<i>Streptococcus</i> sp.	4.4 (6)	6.1 (16)	>0.05
Non-fermenting Gram-negative bacteria	4.4 (6)	6.5 (17)	>0.05
Others	4.4 (6)	4.9 (12)	>0.05
<i>Corynebacterium</i> sp.	2.9 (4)	1.9 (5)	>0.05
<i>Candida</i> sp.	0.0 (0)	1.5 (4)	>0.05
Total microorganisms	100 (137)	100 (263)	>0.05

* Statistically significant values are shown in bold. Coagulase-negative *staphylococci* (except *S. epidermidis*); *Enterobacteriaceae* family – including *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*; Non-fermenting Gram(-) negative bacteria: *Ps. Aeruginosa*, *Acinetobacter* sp.

Table 5

Recurrence rate in patients with mono-/polymicrobial forms of PJI in groups, % (n / N)

PJI cases	Recurrence		p
	Knee group	Hip group	
Monomicrobial form Gram(+)	3.0 (2/66)	22.2 (30/135)	0.002
Monomicrobial form Gram(-)	22.2 (2/9)	23.1 (3/13)	>0.05
Polymicrobial form Gram(+)	6.7 (1/15)	15.4 (4/26)	>0.05
Polymicrobial form: Gram(+) and Gram(-)	0.0 (0/3)	35.7 (5/14)	n/a
No growth	0.0 (0/6)	10.0 (1/10)	n/a
Fungi	0.0 (0/2)	25.0 (1/4)	n/a
Total	5.0* (5/101)	21.8* (44/202)	0.002

n – number of patients with PJI recurrence; N – number of patients with a specific PJI form;

* – average recurrence rate in the group.

Statistically significant values are shown in bold; n/a – not applicable.

DISCUSSION

Stage revision arthroplasty remains a competitive treatment method for PJI despite promising results of single-stage surgical strategies in recent years. Authors of several meta-analyses describe the advantages of single-stage revision arthroplasty and gradually expand its indications based on data showing comparable infection eradication effectiveness. However, they still emphasize the significant role of the two-stage algorithm. For patients with complex somatic status, obesity, the presence of fistulas, and the presence of multi-drug resistant pathogens, staged revision arthroplasty is preferable. Given that a significant proportion of patients fall into these categories, this strategy remains relevant.

The prevalence of osteoarthritis of the hip and knee is higher in women than in men, and the incidence increases during menopause due to cartilage volume reduction and bone loss. This fact is reflected in the patient population undergoing primary hip and knee replacement.

A similar gender distribution is observed among patients with hip and knee PJI, as confirmed by the data from our study. However, the proportion of males in the structure of patients with infectious complications becomes more significant. This may be related to the fact that male gender, according to scientific publications, is an independent risk factor for PJI.

S. Xu et al have shown that one of the predisposing factors for the development of fistulous forms of PJI is the localization of the infectious process. According to their data, the development of PJI after hip arthroplasty was significantly more often accompanied by fistula formation (25.4%) compared to the localization of the infectious process in the knee joint (18.5%). According to our study, the majority of patients with knee PJI had the presence of fistulas (63.5%), which was statistically significantly higher than in similar studies by foreign colleagues; a similar indicator among patients with hip PJI was comparable with international statistics at 27.7%.

The total comorbidity index score in both groups in our study corresponded to an average risk of recurrence. Despite a higher comorbidity score, the effectiveness of the debridement stage was higher in patients with hip PJI. This might be related to the higher frequency of fistulous forms in patients with knee PJI, which are often associated with significant soft tissue inflammation, or possibly other risk factors. For example, our study found a significantly longer duration of debridement surgery with spacer implantation and associated higher intraoperative blood loss, which are predisposing risk factors for PJI recurrence.

An analysis of treatment outcomes in patients with knee PJI revealed a significant

negative impact of microbial associations with Gram(-) bacteria on the effectiveness of the first stage of surgical treatment. The presence of such pathogens increased the risk of failure by more than 2 times, confirming the results of earlier studies.

Staphylococci were the leading pathogens of PJI in both study groups, which can be attributed to their ability to form microbial biofilms. Despite the similar species structure of pathogens, except for the more frequent isolation of *Propionibacterium* sp. from patients with knee infection ($p = 0.04$), microbial associations more frequently caused knee PJI.

Negative effects of Gram(-) pathogens on the effectiveness of the sanitation stage of monobacterial hip PJI were also observed. The risk of recurrence was 7 times higher compared to Gram(+) pathogens. When monobacterial infection was localized in the knee joint, such a dependency was not found. A similar negative trend of Gram(-) pathogens' involvement in the etiology of PJI was also identified by B. Zmistowski et al, with the frequency of infection recurrence caused by Gram(-) and Gram(+) pathogens being 48% and 31%, respectively.

Limitations of the study

This study has limitations due to its retrospective nature and an uneven number of patients in the comparison groups. However, this limitation was mitigated by strict inclusion criteria in the study and adequate statistical data processing methods.

CONCLUSIONS

The study showed significant differences in the effectiveness of the debridement stage of two-stage treatment for patients with newly diagnosed PJI depending on the localization of the infectious focus. Infection in the knee joint was characterized by a higher recurrence rate compared to the hip joint. Prognostically unfavorable factors included the involvement of Gram-negative pathogens and microbial associations in the etiology of the infection, the presence of fistulas, and consequently, longer surgery duration and increased blood loss.

Further research is needed to identify the full range of the most significant risk factors for the development of recurrent infectious processes and to develop measures for their possible modification or mitigation of their negative effects depending on the localization of PJI.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bozhkova S.A. — research concept and design, manuscript writing and editing, data analysis and interpretation.

Preobrazhensky P.M. — data analysis and interpretation, manuscript writing.

Kochish A.A. — data collection and analysis, data statistical processing, manuscript writing.

Tikhilov R.M. — research concept, drafting the article.

Artyukh V.A. — data analysis and interpretation, manuscript editing.

Klitsenko O.A. — data statistical processing, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budget financing.

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.

REFERENCES:

1. Postler A., Lützner C., Beyer F., Tille E., Lützner J. Analysis of Total Knee Arthroplasty revision causes. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):55. doi: 10.1186/s12891-018-1977-y.
2. Boelch S.P., Jakuscheit A., Doerries S., Fraissler L., Hoberg M., Arnholdt J. et al. Periprosthetic infection is the major indication for TKA revision – experiences from a university referral arthroplasty center. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):395. doi: 10.1186/s12891-018-2314-1.

3. Premkumar A., Kolin D.A., Farley K.X., Wilson J.M., McLawhorn A.S., Cross M.B. et al. Projected Economic Burden of Periprosthetic Joint Infection of the Hip and Knee in the United States. *J Arthroplasty*. 2021;36(5): 1484-1489.e3. doi: 10.1016/j.arth.2020.12.005.
4. Kurtz S.M., Higgs G.B., Lau E., Iorio R.R., Courtney P.M., Parvizi J. Hospital Costs for Unsuccessful Two-Stage Revisions for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2022;37(2):205-212. doi: 10.1016/j.arth.2021.10.018.
5. Rava A., Bruzzone M., Cottino U., Enrietti E., Rossi R. Hip Spacers in Two-Stage Revision for Periprosthetic Joint Infection: A Review of Literature. *Joints*. 2019;7(2):56-63. doi: 10.1055/s-0039-1697608.
6. 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.
7. Ermakov A.M., Kliushin N.M., Ababkov Iu.V., Triapichnikov A.S., Koiushkov A.N. Efficiency of two-stage revision arthroplasty in management of periprosthetic knee and hip joint infection. *Genij Ortopedii*. 2018;24(3): 321-326. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-321-326. (In Russian).
8. Craig A., King S.W., van Duren B.H., Veysi V.T., Jain S., Palan J. Articular spacers in two-stage revision arthroplasty for prosthetic joint infection of the hip and the knee. *EFORT Open Rev*. 2022;7(2):137-152. doi: 10.1530/EOR-21-0037.
9. Ren X., Ling L., Qi L., Liu Z., Zhang W., Yang Z. et al. Patients' risk factors for periprosthetic joint infection in primary total hip arthroplasty: a meta-analysis of 40 studies. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):776. doi: 10.1186/s12891-021-04647-1.
10. Kong L., Cao J., Zhang Y., Ding W., Shen Y. Risk factors for periprosthetic joint infection following primary total hip or knee arthroplasty: a meta-analysis. *Int Wound J*. 2017;14(3):529-536. doi: 10.1111/iwj.12640.
11. Kunutsor S.K., Whitehouse M.R., Blom A.W., Beswick A.D. INFORM Team. Patient-Related Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(3):e0150866. doi: 10.1371/journal.pone.0150866.
12. 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.
13. Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(1):7-18. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1718.
14. Zimmerli W., Trampuz A., Ochsner P.E. Prosthetic joint infections. *N Engl J Med*. 2004;351(16):1645-1654. doi: 10.1056/NEJMra040181.
15. Charette R.S., Melnic C.M. Two-Stage Revision Arthroplasty for the Treatment of Prosthetic Joint Infection. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018;11(3):332-340. doi: 10.1007/s12178-018-9495-y.
16. Lazic I., Scheele C., Pohlig F., von Eisenhart-Rothe R., Suren C. Treatment options in PJI – is two-stage still gold standard? *J Orthop*. 2021;23:180-184. doi: 10.1016/j.jor.2020.12.021.
17. Pangaud C., Ollivier M., Argenson J.N. Outcome of single-stage versus two-stage exchange for revision knee arthroplasty for chronic periprosthetic infection. *EFORT Open Rev*. 2019;4(8):495-502. doi: 10.1302/2058-5241.4.190003.
18. Palazzo C., Nguyen C., Lefevre-Colau M.M., Rannou F., Poiraudou S. Risk factors and burden of osteoarthritis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2016;59(3):134-138. doi: 10.1016/j.rehab.2016.01.006.
19. Vina E.R., Kwok C.K. Epidemiology of osteoarthritis: literature update. *Curr Opin Rheumatol*. 2018;30(2): 160-167. doi: 10.1097/BOR.0000000000000479.
20. Bae K.J., Chae Y.J., Jung S.J., Gong H.S. Incidence and risk factors for periprosthetic joint infection: A common data model analysis. *Jt Dis Relat Surg*. 2022;33(2):303-313. doi: 10.52312/jdrs.2022.671.
21. Rodriguez-Merchan E.C., Delgado-Martinez A.D. Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Primary Total Knee Arthroplasty. *J Clin Med*. 2022;11(20):6128. doi: 10.3390/jcm11206128.
22. Xu C., Wang Q., Kuo F.C., Goswami K., Tan T.L., Parvizi J. The Presence of Sinus Tract Adversely Affects the Outcome of Treatment of Periprosthetic Joint Infections. *J Arthroplasty*. 2019;34(6):1227-1232.e2. doi: 10.1016/j.arth.2019.02.040.
23. Gabrielli A.S., Wilson A.E., Wawrose R.A., Dombrowski M., O'Malley M.J., Klatt B.A. The presence of a draining sinus is associated with failure of re-implantation during two-stage exchange arthroplasty. *J Bone Jt Infect*. 2022;7(2):55-60. doi: 10.5194/jbji-7-55-2022.
24. Bredeche F., Gounot I., Belgaid V., Macabeo C., Rouhana K., Aubrun F. et al. Anemia before reimplantation surgery - An overlooked modifiable risk factor of septic revision knee arthroplasty failure. *SICOT J*. 2020;6:47. doi: 10.1051/sicotj/2020046.
25. 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.
26. Preobrazhensky P., Bozhkova S., Kochish A., Tikhilov R., Kazemirsky A. Comparative analysis of pathogen structure in patients with PJI after primary total hip and knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021;141(11):1963-1969. doi: 10.1007/s00402-021-04139-w.
27. 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.
28. Efremov K., Benedetti Valentini M., De Maio F., Potenza V., Caterini R. et al. Periprosthetic hip and knee infections: comparison of etiology, perioperative management and costs. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2019;23 (2 Suppl):217-223. doi: 10.26355/eurrev_201904_17496.

29. Paharik A.E., Horswill A.R. The Staphylococcal Biofilm: Adhesins, Regulation, and Host Response. *Microbiol Spectr.* 2016;4(2):10.1128/microbiolspec.VMBF-0022-2015. doi: 10.1128/microbiolspec.VMBF-0022-2015.
30. Zmistowski B., Fedorka C.J., Sheehan E., Deirmengian G., Austin M.S., Parvizi J. Prosthetic joint infection caused by gram-negative organisms. *J Arthroplasty.* 2011;26 (6 Suppl):104-108. doi: 10.1016/j.arth.2011.03.044.

Authors' information

✉ *Andrey A. Kochish* — Cand. Sci. (Med.)

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

e-mail: kochishman@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8573-1096>

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

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

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Petr M. Preobrazhensky — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>

e-mail: pedro@yandex.ru

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

e-mail: rtikhilov@gmail.com

Vasily A. Artyukh — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: artyukhva@mail.ru

Olga A. Klitsenko — Cand. Sci. (Biol.)

<https://orcid.org/0000-0002-2686-8786>

e-mail: olkl@yandex.ru



Treating Periprosthetic Joint Infection With Silver-Impregnated Carbon-Coated Spacers: Mid-Term Outcomes

Leonid I. Malyuchenko¹, Nikolai S. Nikolaev^{1,2}, Vadim V. Yakovlev¹,
Elena V. Preobrazhenskaya¹

¹ Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary),
Cheboksary, Russia

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Abstract

Background. Periprosthetic joint infection (PJI) is a severe complication of arthroplasty. The widely accepted treatment standard for PJI is a two-stage revision arthroplasty involving the articulating spacers. The implant surface provides an ideal environment for bacterial adhesion, facilitating mature biofilm formation. To prevent bacterial adhesion effectively, the surface of the implanted device must be modified with an efficient coating. The ability of a modified coating based on two-dimensional linear carbon chains (2D LCC) with silver (Ag) impregnation to inhibit biofilm formation and provide efficient bacterial eradication has been investigated in several experimental studies. However, there is a lack of publications on clinical studies evaluating the effectiveness of such coatings.

The aim of the study – to assess mid-term outcomes of knee and hip PJI treatment using spacers coated with two-dimensional linear carbon chains impregnated with silver.

Methods. This study is based on the results of the examination and two-stage revision arthroplasty of 144 patients with newly diagnosed knee and hip PJI. Patients were divided into two groups: the first (main) group received articulating spacers coated with 2D LCC+Ag, while the second (control) group received articulating spacers with antibiotics. Anamnestic, clinical, laboratory, microbiological, and statistical methods were used in this study. The evaluation of short-term results was performed using the KSS, Harris, VAS, and EQ-5D-5L scales at 3 months after surgery, and mid-term results were assessed at 2 years.

Results. The study confirmed the high antibiofilm activity and safety of spacers coated with 2D LCC+Ag. Both groups showed a reduction in inflammation markers during treatment. Before the second stage of treatment, both groups experienced a statistically significant decrease in CRP, procalcitonin, and presepsin levels, as well as synovial cytosis and neutrophil content. The frequency of recurrences after two-stage treatment was significantly lower in the first group compared to the second group. In the mid-term period, the first group had higher scores on the KSS and Harris scales by 20.5 and 7.0 points, respectively. Results on the EQ-5D-5L were 10/0.08 points higher, and the intensity of pain according to VAS was three times lower in the first group.

Conclusions. The use of spacers coated with 2D LCC+Ag allows for a faster resolution of the inflammatory process, reduces the incidence of PJI recurrences, and predicts active protection of the implant surface from microbial colonization and biofilm formation. This, combined with antibiotic prophylaxis, provides a favorable therapeutic and preventive effect against PJI recurrence.

Keywords: arthroplasty, periprosthetic infection, implant-associated infection, microbial biofilms, antibacterial coating.

Cite as: Malyuchenko L.I., Nikolaev N.S., Yakovlev V.V., Preobrazhenskaya E.V. Treating Periprosthetic Joint Infection With Silver-Impregnated Carbon-Coated Spacers: Mid-Term Outcomes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):14-23. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7997>.

✉ Leonid I. Malyuchenko; e-mail: leonidmalyuchenko@icloud.com

Submitted: 22.03.2023. Accepted: 25.10.2023. Published Online: 09.11.2023.

© Malyuchenko L.I., Nikolaev N.S., Yakovlev V.V., Preobrazhenskaya E.V., 2023



Научная статья
УДК 616.72-089.844-022:615.281.9
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7997>

Среднесрочные результаты лечения перипротезной инфекции с применением спейсеров с углеродным покрытием, импрегнированных серебром

Л.И. Малюченко¹, Н.С. Николаев^{1,2}, В.В. Яковлев¹, Е.В. Преображенская¹

¹ ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, г. Чебоксары, Россия

² ФГБОУ ВО «Чувацкий государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

Реферат

Актуальность. Перипротезная инфекция (ППИ) — тяжелое осложнение эндопротезирования. общепризнанным стандартом лечения ППИ является двухэтапное ревизионное эндопротезирование с применением артикулирующих спейсеров. Поверхность имплантатов — идеальное место для бактериальной адгезии, способствующей образованию зрелой биопленки. Для создания предотвращающего адгезию бактерий барьера необходимо изменить поверхность имплантированного устройства с помощью эффективного покрытия. Способность модифицированного покрытия на основе двумерно упорядоченного линейно-цепочечного углерода (ДУ ЛЦУ+Ag) ингибировать образование биопленки и обеспечивать эффективное уничтожение бактерий изучалась в нескольких экспериментальных исследованиях. Однако отсутствуют публикации о результатах клинических исследований эффективности таких покрытий.

Цель исследования — оценить среднесрочные результаты использования спейсеров с покрытием на основе двумерно упорядоченного линейно-цепочечного углерода, легированного серебром, при лечении перипротезной инфекции коленного и тазобедренного суставов.

Материал и методы. Исследование основано на результатах обследования и двухэтапного ревизионного эндопротезирования 144 пациентов с впервые выявленной ППИ коленных (КС) и тазобедренных (ТБС) суставов. Пациенты были разделены на две группы: первую группу составили пациенты с артикулирующим спейсером, покрытым ДУ ЛЦУ+Ag, вторую группу — пациенты, которым был установлен артикулирующий спейсер с антибиотиками. В исследовании использовали анамнестический, клиничко-лабораторный, микробиологический, статистический методы. Оценка ближайших результатов выполнялась по шкалам KSS, Harris, ВАШ, EQ-5D-5L через 3 мес. после операции, среднесрочных — через 2 года.

Результаты. Исследование подтвердило высокую антибиопленочную активность и безопасность спейсера с покрытием на основе ДУ ЛЦУ+Ag. В динамике произошло снижение уровня маркеров воспаления в обеих группах. Перед вторым этапом лечения в группах произошло статистически значимое снижение СРБ, прокальцитонина и пресепсина, цитоза и содержания нейтрофилов в суставном пунктате. Частота рецидивов после двухэтапного лечения была статистически значимо ниже в первой группе по сравнению со второй. По шкалам KSS и Harris в среднесрочном периоде результат в первой группе был выше на 20,5 и 7,0 баллов соответственно. Результаты по шкале качества жизни EQ-5D-5L были выше на 10/0,08; по ВАШ выраженность болевого синдрома в первой группе была в 3 раза меньше.

Заключение. Использование спейсера с покрытием на основе ДУ ЛЦУ+Ag позволяет быстрее ликвидировать воспалительный процесс, снизить число рецидивов ППИ, прогнозировать активную защиту поверхности имплантата от колонизации микроорганизмами и формирования микробных биопленок, что в комплексе с медикаментозной антибиотикопрофилактикой обеспечивает хороший лечебно-профилактический эффект в отношении рецидива ППИ.

Ключевые слова: эндопротезирование суставов, перипротезная инфекция, имплантат-ассоциированная инфекция, микробные биопленки, антибактериальное покрытие.

Для цитирования: Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Яковлев В.В., Преображенская Е.В. Среднесрочные результаты лечения перипротезной инфекции с применением спейсеров с углеродным покрытием, импрегнированных серебром. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):14-23. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7997>.

Малюченко Леонид Игоревич; e-mail: leonidmalyuchenko@icloud.com

Рукопись получена: 22.03.2023. Рукопись одобрена: 25.10.2023. Статья опубликована онлайн: 09.11.2023.

© Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Яковлев В.В., Преображенская Е.В., 2023

BACKGROUND

Joint arthroplasty is currently recognized as the gold standard for the treatment of patients with stage III-IV osteoarthritis. Joint arthroplasty offers several advantages, including rapid relief of pain and full restoration of the patient's mobility within a short rehabilitation period [1, 2].

However, one of the major complications of joint arthroplasty is periprosthetic joint infection (PJI). PJI is a severe complication both for the patient, necessitating repeat surgeries, and for the healthcare system, leading to increased hospitalization duration and high economic costs [3]. The frequency of PJI after primary joint arthroplasty ranges from 0.5% to 3.0% [4], and it can reach up to 30% in revision procedures [5, 6, 7].

A significant complicating factor in the course of PJI is the rapid formation of bacterial biofilms on implanted metal structures [8]. The primary goal in treating implant-associated infections is the prevention of these processes [9].

The widely accepted treatment standard for PJI is a two-stage revision arthroplasty involving the use of articulating spacers, typically impregnated with antibiotics [10]. These spacers can be made of a single material, most commonly polymethylmethacrylate (PMMA), or can be composite (cement-metal, cement-polyethylene, cement-ceramic, etc.) [11]. PMMA is used as a matrix to provide antibiotic depot [10, 11]. Attempts have been made to incorporate antiseptics or particles of halogens and metals with antimicrobial activity (silver, zinc, copper, etc.) into PMMA, but such studies are scarce [12, 13]. Since microorganisms do not develop resistance to substances with broad bactericidal activity, creating new antimicrobial coatings for implant components represents a promising direction in the treatment of infectious complications in joint arthroplasty with spacer use [14, 15].

The implant surface provides an ideal environment for bacterial adhesion, facilitating mature biofilm formation [16]. To prevent bacterial adhesion effectively, the surface of the implanted device or material must be modified, either directly or with the use of an efficient coating [17].

The ability to modify the implant surface to minimize bacterial adhesion, inhibit biofilm formation, and ensure effective bacterial eradication for the protection of implanted biomaterials has been studied in several investigations. Some authors have demonstrated low efficiency in using diamond-like coatings containing a combination of sp²- and sp³-carbon high-energy bonds, limiting their application in traumatology and orthopedics [18, 19]. Results from other studies have revealed the advantages of coatings based on two-dimensional linear carbon chains (2D LCC) due to their structural characteristics, such as good adhesion to the surface of metal implants, strength, and biological compatibility [20]. D.V. Tapalsky and colleagues conducted a multicenter study aimed at assessing the antibacterial activity and biological compatibility of coatings for metal structures based on 2D LCC. The results showed that coatings based on 2D LCC+Ag provide a pronounced surface bactericidal effect and have the ability to prevent the formation of microbial biofilms on metal surfaces. Coatings based on 2D LCC are safe and do not induce cytotoxic effects [21].

However, there is a lack of publications in the literature regarding the results of clinical studies on the effectiveness of coatings based on 2D LCC..

The aim of this study — to assess mid-term outcomes using spacers coated with two-dimensional linear carbon chains impregnated with silver (2D LCC+Ag) in the treatment of periprosthetic joint infection in large joints of the lower extremities

METHODS

Study design

An open prospective cohort randomized study was conducted at the Center from 2017 to 2021. It was based on the results of examination and surgical treatment of patients with newly diagnosed periprosthetic joint infection (PJI) of the knee and hip joints.

The *inclusion criterion* for patients in the study was a confirmed case of PJI according to the criteria of the 2013 International Consensus Meeting on Periprosthetic Joint Infection [22].

Exclusion criteria patients under 18 years of age, pregnancy, and patient refusal to participate at any stage of the study.

After applying the inclusion and exclusion criteria, 144 patients were selected for the study: 82 with PJI of the hip and 62 with PJI of the knee, including 71 females (49.3%) and 73 males (50.7%).

Patients were randomized into two groups using random number generation with Excel software.

In the first (experimental) group, patients were implanted with an articulating spacer coated with two-dimensionally ordered linear-chain carbon with silver (DU LCUC+Ag). In the second (control) group, traditional articulating spacers with antibiotics were used (see Figure 1).

Patients in both groups were comparable in terms of gender and age (Table 1).

During the study, a thorough medical history was collected to identify comorbidities and potential risk factors that could have contributed

to the development of PJI. An analysis of the most commonly occurring somatic pathology was performed.

The treatment of PJI was performed using a two-stage revision arthroplasty method. The goal of the first stage was joint sanitation using a spacer in combination with mechanical treatment of pathological tissues. In the second stage, after infection control and assessment of clinical and laboratory parameters, a permanent endoprosthesis was implanted. All patients received empirical or etiotropic antibiotic therapy based on the antibiotic susceptibility of the pathogen isolated from the focus.

Outcome assessment

Comparative evaluation of pain syndrome and laboratory parameters (CRP level, ESR, D-dimer) in the first and second groups was conducted before and after treatment. The assessment of joint function based on functional rating scales was performed separately for the hip and knee joints.

The interval between the two stages of re-endoprosthesis was assessed in days and was statistically significantly shorter in the first group of patients than in the second group, with 64.5 (53–103) days in the experimental group and 78 (63.5–111.0) days in the control group, $p = 0.010$. After treatment, a comparative assessment of the severity of pain syndrome, quality of life, joint function (based on rating scales), and laboratory parameters (CRP level, ESR, procalcitonin, presepsin, cytosin, and neutrophil content in joint punctate before I and II stages of treatment) was conducted. The assessment of midterm functional

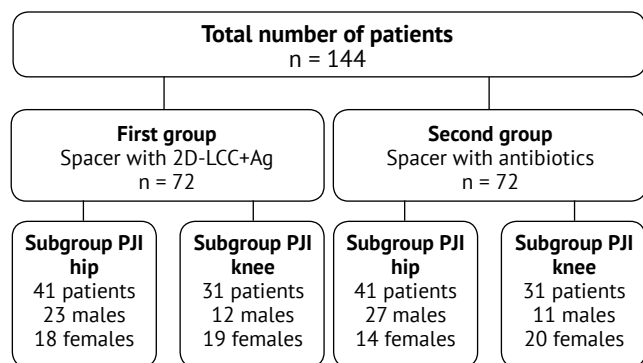


Fig. 1. Study flowchart

Table 1

Distribution of patients by gender and age

Indicator	First group		Second group		p
	n	%	n	%	
Males	35	48.6	38	52.8	0.617
Females	37	51.4	34	47.2	0.617
Mean age, years Me (Q1–Q3)	63.5 (57.5–70.0)		62.0 (54.5–69.0)		0.500

treatment results was performed 2 years after treatment using the KSS, Harris, VAS pain, EQ-5D-5L scales.

Statistical analysis

Statistical data processing involved calculating the mean and standard deviation ($M \pm \sigma$). In the absence of a normal distribution or for rank data, the median (Me), upper and lower quartiles (Q1–Q3) were determined.

Statistical significance of differences between data with a normal distribution was assessed using Student’s t-test, and for non-normally distributed or rank data, the Mann-Whitney nonparametric test was used. Differences in dynamics were evaluated using the Wilcoxon criterion. For qualitative data, differences were assessed using the χ^2 criterion. Statistical analysis was performed using Statistica for Windows 10.0,

and data were considered statistically significant at a probability of error (p) less than 0.05.

RESULTS

At baseline, there were no significant differences in general blood analysis parameters between the study groups. Baseline levels of inflammation markers were also comparable. However, both groups experienced a decrease in these markers during the course of treatment. The level of CRP was lower in the first group, while levels of procalcitonin and presepsin were comparable. The cellular count and neutrophil count in the joint punctate normalized in both groups, with all values falling within the reference range (Table 2).

The recurrence rate after the first stage of treatment in the first group was 2.8% (2 out of 72) compared to 11.1% (8 out of 72) in the second

Table 2

Results of laboratory examination of patients before stages I and II of treatment

Indicator	Term	First group (n = 72)	Second group (n = 72)	p
White blood cells, $\times 10^9/L$	Before stage I	7.9 (7.0–9.8)	8.5 (7.1–10.3)	0.287
	Before stage II	6.5 (5.9–8.0)*	7.2 (5.8–8.6)*	0.275
ESR (Erythrocyte sedimentation rate), mm/h	Before stage I	46.5 (29.5–69.5)	43.0 (25.5–73.5)	0.694
	Before stage II	20.5 (12.0–32.0)*	18.0 (10.0–34.0)*	0.379
Hemoglobin, g/L	Before stage I	121.0 (112.0–132.0)	122.0 (110.0–140.5)	0.361
	Before stage II	121.0 (111.0–130.0)	124.0 (113.5–136.0)	0.145
Red blood cells, $\times 10^{12}/L$	Before stage I	4.3 (4.0–4.7)	4.45 (4.1–4.8)	0.210
	Before stage II	4.4 (3.9–4.9)	4.4 (4.2–4.9)	0.225
Platelets, $\times 10^9/L$	Before stage I	316.5 (275.5–385.5)	337.5 (283.0–420.5)	0.266
	Before stage II	270.5 (232.0–314.0)	267.0 (222.0–330.5)	0.951
CRP (C-reactive protein), mg/L	Before stage I	17.6 (7.9–73.5)	39.1 (12.7–71.3)	0.082
	Before stage II	5.0 (2.6–8.2)*	5.0 (4.5–11.8)*	0.029
Procalcitonin, pg/mL	Before stage I	0.032 (0.02–0.076)	0.04 (0.02–0.0655)	0.414
	Before stage II	0.02 (0.02–0.032)*	0.023 (0.02–0.04)	0.09
Presepsin, pg/mL	Before stage I	300.0 (204.5–300.0)	300.0 (250.0–448.0)	0.055
	Before stage II	190.0 (150.0–191.0)	200.0 (200.0–200.0)	0.085
Cytosis, cells $\times 10^5/L$	Before stage I	17500.0 (4312.5–49250.0)	15000.0 (5370.0–45500.0)	0.881
	Before stage II	382.5 (110.0–1100.0)*	300.0 (150.0–814.0)*	0.921
Neutrophils, %	Before stage I	93.0 (88.5–95.0)	92.0 (88.5–95.0)	0.854
	Before stage II	12.0 (12.0–48.0)*	12.0 (12.0–70.0)*	0.885

*Differences in dynamics according to the Wilcoxon test at $p < 0.05$.

group ($p = 0.049$). There were no recurrences after the second stage in the first group, and the values remained the same at 2.8% (2 out of 72) compared to 20.8% (15 out of 72) in the second group ($p < 0.001$).

Functional status and pain levels, despite similar baseline values, were more favorable in the first group after the second stage of PJI treatment and in the midterm postoperative period. Pain levels among individuals without PJI recurrence were also better in the first group.

Quality of life was assessed using the EQ-5D-5L questionnaire, and the results after treatment were better in the first group than in the second group based on the EQ-VAS general well-being score and EQ-5D-5L score (Table 3).

The positive dynamics of laboratory parameters were accompanied by improved joint function. Two years after the completion of treatment, joint function was better in the first group, as assessed by the Harris score for hip joint and the KSS score for knee joint (Table 4, 5).

Table 3

Midterm results on the EQ-5D-5L questionnaire for patients without PJI recurrence

Indicator	First group (n = 70)	Second group (n = 57)
EQ-5D-5L, proportion	0.88 (0.84–1.00)	0.80 (0.64–0.88)
EQ-VAS, points	90.00 (90.00–95.00)	80.00 (70.00–90.00)

$p < 0.001$.

Table 4

Functional status of the hip joint according to the Harris scale in patients with PJI

Follow-up period	First group	Second group	p
Before stage I	28.0 (23.0–37.0)	28.0 (20.0–42.0)	0.286
Before stage II	38.0 (31.5–41.0)	37.0 (31.3–40.0)	0.818
2 years after stage II	91.0 (87.0–93.3)	84.0 (77.5–87.0)	<0.001

Table 5

Functional status of the knee joint according to the KSS scale in patients with PJI

Assessment scale	Follow-up period	First group	Second group	p
KSS Knee Score, points	Before stage I	32 (32–35)	32 (32–35)	0.946
	Before stage II	50 (37–50)	45 (31–45)	0.046
	2 years after stage II	90 (74–95)	70 (30–84)	0.002
KSS Functional Score, points	Before stage I	30 (30–30)	30 (30–30)	0.966
	Before stage II	35 (35–45)	35 (35–35)	0.047
	2 years after stage II	75 (71–95)	65 (47–83)	0.005

Pain levels before the first and second stages of treatment in the first and second groups were comparable (Table 6). However, midterm results were significantly better in the main group.

Microbiological analysis of biological material samples did not identify the pathogen in 21

patients (14.6%), and multiple microorganisms were isolated in 6 patients (4.2%). *Staphylococci*, including *S. aureus* (27.6%), and coagulase-negative *staphylococci* (38.3%) were the most common isolates, while *streptococci* were cultured in 13% of cases (Table 7).

Table 6

Pain score according to the VAS

Follow-up period	Main group	Control group	p
Before stage I	8.0 (7.0–8.5)	8.0 (7.0–9.0)	0.532
Before stage II	5.0 (4.0–6.0)	5.0 (5.0–6.0)	0.137
2 years after stage II	1.0 (1.0–2.0)	3.0 (1.0–4.0)	<0.001

Table 7

Results of microbiological examination of synovial fluid, tissue biopsies, and swabs from removed components

Microorganism	Positive results	
	n	%
Anaerobes	2	1.6
Gram-negative microorganisms	10	8.0
<i>Coagulase-negative staphylococci</i>	41	33.3
<i>Staphylococcus aureus</i>	34	27.6
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	13	10.6
<i>Staphylococcus hemolyticus</i>	1	0.8
<i>Staphylococcus lugdunensis</i>	3	2.4
<i>Staphylococcus warneri</i>	1	0.8
<i>Streptococcus sp.</i>	16	13.0
<i>Corynebacterium striatum</i>	2	1.6
Total	123	100.0

DISCUSSION

The study showed a statistically significant reduction in the recurrence rate of infection after using the 2D LCC+Ag coating compared to the results in the second group. It is worth noting that in most studies, an absolute reduction in the recurrence rate of 1.5–2.0 times was observed, but without statistical significance. This fact may be explained by the small number of observations, which is supported by the results of a meta-analysis conducted by M. Fiore and colleagues. The analysis of studies showed that the infection rate after revisions was 13.7% in the group of

patients with silver-containing coating implants and 29.2% in the group using implants without coating, indicating the effectiveness of silver-containing coatings in preventing infections ($p = 0.019$) [23].

In our study, the recurrence rate in the second group was 20.8%, which is consistent with the literature. For example, V.V. Pavlov and colleagues reported a recurrence rate of 19.5% in patients treated for hip and knee PJI [24]. V.A. Ivantsov and colleagues reported a 14.4% unsatisfactory outcome rate in knee joint PJI treatment [25]. The recurrence rate of hip joint

PJI in F. Schwolow's study was 14.4% with an average follow-up of 8 years [26]. According to A.S. Steinicke and colleagues, the infection-free survival of knee and hip endoprostheses was 77% (95% CI 64–89) after 1 year and 38% (95% CI 18–57) after 5 years [27]. The variation in recurrence rates among studies may be due to differences in the duration of follow-up.

The use of the new coating in our study resulted in lower leukocyte and neutrophil counts and a lower recurrence rate in the first group of patients. This indicates effective control of the infection process. T. Shirai and colleagues observed a less severe inflammatory response in patients using iodine-coated spacers [28].

The use of the new coating can also impact joint function and pain levels. Better joint function results (reference values of cell count and neutrophil content in the punctate, reduction in blood inflammatory markers) after the second stage of debridement were observed in the first group. This suggests faster infection control with the use of silver-doped carbon coating, better biocompatibility compared to uncoated spacers, which ultimately may positively affect joint function. The joint function assessed by Harris score for hip joint and KSS score for knee joint was better in the first group, and pain levels were less pronounced than in the second group [29, 30].

The effectiveness of PJI treatment is further confirmed by improved quality of life for patients. For example, J.L. Cahill and colleagues reported that patients whose PJI resolved had higher scores on quality of life and VAS compared to patients with PJI recurrence after two-stage revision [31]. A decrease in quality of life with the development of PJI is supported by the results of a study by N.R. Poulsen and colleagues, in which patients with PJI recurrence had worse quality of life than patients with resolution after two-stage revision [32]. Our study showed similar results.

CONCLUSIONS

The use of a spacer with a coating based on 2D LCC+Ag allows for faster resolution of the inflammatory process, achieving lower neutrophil and CRP levels in the blood, as well as reduced cytosol and neutrophil content in joint punctate. It also leads to a decrease in the recurrence rate of PJI in both knee and hip joints.

The faster and more effective resolution of PJI in the main group contributes to improved

prosthesis function. Patients in the main group achieved better knee and hip joints function results, higher quality of life according to the EQ-5D-5L and lower pain levels on the VAS scale.

The assessment of midterm results of PJI treatment provides grounds to predict active protection of the implant surface from microbial colonization and biofilm formation. This, combined with antibiotic prophylaxis, ensures a good therapeutic and preventive effect against PJI recurrence. To study the long-term results of using spacers coated with 2D LCC+Ag, further research is planned.

The results obtained confirm the justification for the wider use of spacers coated with 2D LCC+Ag for the treatment of periprosthetic infection, considering the need for revision surgery.

DISCLAIMERS

Author contribution

Malyuchenko L.I. — study concept and design, literature search and analysis, writing the article.

Nikolaev N.S. — study concept, drafting the article.

Yakovlev V.V. — data collection and processing, drafting the article.

Preobrazhenskaya E.V. — study concept and design, data analysis and interpretation, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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 conducted in accordance with the principles of the Helsinki Declaration (World Medical Association Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» (Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated June 19, 2003, No. 266). The conduct of the study was approved by the local ethics committee of the federal center of traumatology, orthopedics and arthroplasty of the Ministry of Health of Russia,

Cheboksary, with Protocol No. 1 dated January 16, 2017.

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

REFERENCES

1. Bilgen S., Eken G. Surgical site infection after total knee arthroplasty: a descriptive study. *Int Multispecialty J Heal.* 2016;2(2). Available from: https://www.researchgate.net/publication/301520334_Surgical_Site_Infection_After_Total_Knee_Arthroplasty_A_Descriptive_Study.
2. Niemeläinen M.J., Mäkelä K.T., Robertsson O., W-Dahl A., Furnes O., Fenstad A.M. et al. Different incidences of knee arthroplasty in the Nordic countries. *Acta Orthop.* 2017;88(2):173-178. doi: 10.1080/17453674.2016.1275200.
3. Tande A.J., Patel R. Prosthetic joint infection. *Clin Microbiol Rev.* 2014;27(2):302-345. doi: 10.1128/CMR.00111-13.
4. Fuchs M., von Roth P., Pfitzner T., Kopf S., Sass F.A., Hommel H. Contamination of irrigation fluid during primary total knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018;2(5):e027. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00027.
5. Grammatopoulos G., Kendrick B., McNally M., Athanasou N.A., Atkins B., McLardy-Smith P. et al. Outcome Following Debridement, Antibiotics, and Implant Retention in Hip Periprosthetic Joint Infection—An 18-Year Experience. *J Arthroplasty.* 2017;32(7):2248-2255. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.066.
6. Jhan S.W., Lu Y.D., Lee M.S., Lee C.H., Wang J.W., Kuo F.C. The risk factors of failed reimplantation arthroplasty for periprosthetic hip infection. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):255. doi: 10.1186/s12891-017-1622-1.
7. Akgün D., Müller M., Perka C., Winkler T. An often-unrecognized entity as cause of recurrent infection after successfully treated two-stage exchange arthroplasty: hematogenous infection. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018;138(9):1199-1206. doi: 10.1007/s00402-018-2972-5.
8. Koseki H., Yonekura A., Shida T., Yoda I., Horiuchi H., Morinaga Y. et al. Early staphylococcal biofilm formation on solid orthopaedic implant materials: in vitro study. *PLoS One.* 2014;9(10):e107588. doi: 10.1371/journal.pone.0107588.
9. Zimmerli W., Moser C. Pathogenesis and treatment concepts of orthopaedic biofilm infections. *FEMS Immunol Med Microbiol.* 2012;65(2):158-168. doi: 10.1111/j.1574-695X.2012.00938.x.
10. Shpinyak S.P., Barabash A.P., Lyasnikova A.V. The use of spacers in the treatment of infectious complications of total knee arthroplasty. *Modern problems of science and education.* 2015;5. (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21443>. (date of the application: 22.03.2023).
11. Komarov R.N., Novikov A.V., Mitrofanov V.N., Akulov M.M., Korytkin A.A. The use of spacers during peri-implant infection after hip arthroplasty. *Modern problems of science and education.* 2014;5. (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14954>. (date of the application: 22.03.2023).
12. Leung D., Spratt D.A., Pratten J., Gulabivala K., Mordan N.J., Young A.M. Chlorhexidine-releasing methacrylate dental composite materials. *Biomaterials.* 2005;26(34):7145-7153. doi: 10.1016/j.biomaterials.2005.05.014.
13. Evans A., Kavanagh K.A. Evaluation of metal-based antimicrobial compounds for the treatment of bacterial pathogens. *J Med Microbiol.* 2021;70(5):001363. doi: 10.1099/jmm.0.001363.
14. Ermakov A.M., Klyushin N.M., Ababkov Yu.V., Triapichnikov A.S., Koiushkov A.N. One-stage revision arthroplasty for management of periprosthetic hip infection. *Genij Ortopedii.* 2019;25(2):172-179. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-172-179.
15. Kose N., Otuzbir A., Pekşen C., Kiremitçi A., Doğan A. A silver ion-doped calcium phosphate-based ceramic nanopowder-coated prosthesis increased infection resistance. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(8):2532-2539. doi: 10.1007/s11999-013-2894-x.
16. Arciola C.R., Campoccia D., Speziale P., Montanaro L., Costerton J.W. Biofilm formation in Staphylococcus implant infections. A review of molecular mechanisms and implications for biofilm-resistant materials. *Biomaterials.* 2012;33(26):5967-5982. doi: 10.1016/j.biomaterials.2012.05.031.
17. Bazaka K., Jacob M.V., Crawford R.J., Ivanova E.P. Efficient surface modification of biomaterial to prevent biofilm formation and the attachment of microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2012;95: 299-311. doi: 10.1007/s00253-012-4144-7.
18. Grill A., Meyerson B.S. Development and status of diamond-like carbon. In: *Synthetic Diamond: Emerging CVD Science and Technology.* Ed. by K.E. Spear, J.P. Dismukes. New York: Wiley; 1994. p. 91-141.
19. Kazbanov V.V., Batalov M.S., Vishnevsky A.A. The peculiarities of biocompatibility and potential applications of titanium implants with diamond-like coatings based on modified carbon. *Health Ecology Issues.* 2015;(2):16-23. (In Russian). doi: 10.51523/2708-6011.2015-12-2-4.
20. Babaev V.G., Novikov N.D., Guseva M.B., Khvostov V.V., Savchenko N.F., Korobova Yu.G. et al. Films of linear-chain carbon — ordered ensembles of quantum wires — material for nanoelectronics. *Nanotechnology: development and applications — XXI century.* 2010;2(41):53-68. (In Russian).
21. Tapal'skii D.V., Nikolaev N.S., Ovsyankin A.V., Kochakov V.D., Golovina E.A., Matveenkov M.V. et al. Coatings based on two-dimensionally ordered linear chain carbon for protection of titanium implants from microbial colonization. *Traumatology and Orthopedics in Russia.* 2019;25(2):111-120. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-111-120.

22. 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.
23. Fiore M., Sambri A., Zucchini R. et al. Silver-coated megaprosthesis in prevention and treatment of periprosthetic infections: a systematic review and meta-analysis about efficacy and toxicity in primary and revision surgery. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021;31:201-220. doi: 10.1007/s00590-020-02779-z.
24. Pavlov V.V., Petrova N.V., Seraliev T.U. Two-stage treatment of periprosthetic infection: mid-term results. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019;25(4):109-116. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-109-116.
25. Ivantsov V.A., Lashkovsky V.V., Bogdanovich I.P., Lazarevich S.N. Treatment of deep periprosthetic infection of knee joint. *Journal of the Grodno State Medical University.* 2018;16(1):96-100. doi: 10.25298/2221-8785-2018-16-1-96-100.
26. Schwolow F., Füchtmeier B., Müller F. Factors associated with infection recurrence after two-stage exchange for periprosthetic hip infection. *Int Orthop.* 2022;46(5): 953-961. doi: 10.1007/s00264-022-05333-0.
27. Steinicke A.C., Schwarze J., Gosheger G., Moellenbeck B., Ackmann T., Theil C. Repeat two-stage exchange arthroplasty for recurrent periprosthetic hip or knee infection: what are the chances for success? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(4):1731-1740. doi: 10.1007/s00402-021-04330-z.
28. Shirai T., Tsuchiya H., Terauchi R., Tsuchida S., Mizoshiri N., Mori Y. et al. A retrospective study of antibacterial iodine-coated implants for postoperative infection. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(45):e17932. doi: 10.1097/MD.00000000000017932.
29. Kim D.Y., Seo Y.C., Kim C.W., Lee C.R., Jung S.H. Factors affecting range of motion following two-stage revision arthroplasty for chronic periprosthetic knee infection. *Knee Surg Relat Res.* 2022;34(1):33. doi: 10.1186/s43019-022-00162-2.
30. Gogelioglu F., Oguzkaya S., Misir A., Guney A. The effect of time spent with a dynamic spacer on clinical and functional outcomes in two-stage revision knee arthroplasty. *Indian J Orthop.* 2020;54(6):824-830. doi: 10.1007/s43465-020-00247-8.
31. Cahill J.L., Shadbolt B., Scarvell J.M., Smith P.N. Quality of life after infection in total joint replacement. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2008;16(1):58-65. doi: 10.1177/230949900801600115.
32. Poulsen N.R., Mechlenburg I., Søballe K., Lange J. Patient-reported quality of life and hip function after 2-stage revision of chronic periprosthetic hip joint infection: a cross-sectional study. *Hip Int.* 2018;28(4):407-414. doi: 10.5301/hipint.5000584.

Authors' information

✉ Leonid I. Malyuchenko

Address: 33, Fedora Gladkova Cheboksary str., 428020, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4199-7954>

e-mail: leonidmalyuchenko@icloud.com

Nikolai S. Nikolaev — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>

e-mail: nikolaevns@mail.ru

Vadim V. Yakovlev

<https://orcid.org/0000-0002-3467-1959>

e-mail: yvv-doc@mail.ru

Elena V. Preobrazhenskaya

<https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

e-mail: alenka_22@bk.ru

Results of Arthroscopic Treatment of Patients With Femoroacetabular Impingement Depending on the Type of Hip Deformity

Oleg E. Bogopolskiy, Pavel V. Filonov, Rashid M. Tikhilov

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

Abstract

Background. Femoroacetabular impingement (FAI) is one of the most common causes of pain syndrome and limited mobility in the hip joint among young and middle-aged individuals.

The aims of this study: 1) To evaluate the impact of the type of hip joint deformity in patients with FAI on treatment outcomes; 2) To identify the type of hip joint deformity that is optimal for correction using arthroscopy; 3) To determine the impact of the acetabular structure in conditions of borderline dysplasia on the treatment outcome.

Methods. A retrospective uncontrolled single-center study was conducted, including 121 patients (135 hip joints), among them 49 (40.5%) women and 72 (59.5%) men. Patients were divided into four groups based on the type of deformity. The first group included 33 (24.4%) joints with cam-type FAI, the second group — 72 (53.4%) joints with mixed-type, the third group — 17 (12.6%) joints with dysplasia (LCEA-O<25°) and cam-type deformity of the femoral head-neck junction, and the fourth group — 13 (9.6%) joints with a combination of dysplasia, cam-type deformity, and retroversion of the acetabulum. All patients underwent physical examination and radiographic diagnostics. In patients with borderline dysplasia, the version of the acetabulum was additionally assessed. The iHOT-33 and HOS scales were used to evaluate the preoperative status and postoperative results.

Results. The best treatment outcome was achieved in the first group of patients, which was statistically significantly different from the results in the third group. The treatment outcomes in the second group of patients did not show statistically significant differences from the first group according to the HOS questionnaire, but differed according to the iHOT-33 scale. The treatment outcomes in the fourth group of patients were almost indistinguishable on the iHOT-33 scale from the first group and on the HOS scale from the second group. In the third group, a statistically significant result on the HOS-Sport subscale was achieved in only 30% of patients, while in other groups it was not less than 58%. Other scales showed a slight superiority of treatment results in the first and fourth groups compared to the second and third groups. In the first years after surgery, all groups of patients showed a significant improvement in sports activity, but after 2 years, there was a tendency for a decrease in patients in the second and third groups.

Conclusions. The highest results of arthroscopic treatment were shown by patients in the first group with isolated cam-type deformity, slightly worse were results by patients in the second group (with mixed-type). In patients with borderline dysplasia, the effectiveness of arthroscopy depended on the structure of the anterior wall of the acetabulum. The worst result was observed in patients with borderline dysplasia and insufficiently developed anterior wall of the acetabulum — in that group of patients, it is worth preferring isolated periacetabular osteotomy or in combination with arthroscopy.

Keywords: femoroacetabular impingement, hip arthroscopy, acetabular dysplasia, acetabular retroversion.

Cite as: Bogopolskiy O.E., Filonov P.V., Tikhilov R.M. Results of Arthroscopic Treatment of Patients With Femoroacetabular Impingement Depending on the Type of Hip Deformity. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):24-34. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15530>.

✉ Oleg E. Bogopolskiy; e-mail: 9202211@gmail.com

Submitted: 23.08.2023. Accepted: 23.10.2023. Published Online: 17.11.2023.

© Bogopolskiy O.E., Filonov P.V., Tikhilov R.M., 2023



Результаты артроскопического лечения пациентов с фемороацетабулярным импинджментом в зависимости от типа деформации тазобедренного сустава

О.Е. Богопольский, П.В. Филонов, Р.М. Тихилов

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

Реферат

Актуальность. Фемороацетабулярный импинджмент (ФАИ) является одной из наиболее частых причин болевого синдрома и ограничения подвижности в тазобедренном суставе (ТБС) у лиц молодого и среднего возраста.

Цели исследования: 1) оценить влияние типа деформации тазобедренного сустава у пациентов с фемороацетабулярным импинджментом на результат лечения; 2) выявить тип деформации тазобедренного сустава, который является оптимальным для коррекции с использованием артроскопии; 3) определить влияние строения вертлужной впадины в условиях пограничной дисплазии на результат лечения.

Материал и методы. Выполнено ретроспективное неконтролируемое одноцентровое исследование, в которое вошел 121 пациент (135 тазобедренных суставов), в том числе 49 (40,5%) женщин и 72 (59,5%) мужчины. Пациенты были разделены на 4 группы по типу деформации. В группу 1 включено 33 (24,4%) сустава с сам-типом ФАИ, в группу 2 — 72 (53,4%) сустава с mixed-типом, в группу 3 — 17 (12,6%) суставов с дисплазией (LCEA-О<25°) и сам-типом деформации головки, в группу 4 — 13 (9,6%) суставов с сочетанием дисплазии, сам-типа деформации и ретроверсии вертлужной впадины. Всем пациентам выполняли физикальное обследование и лучевую диагностику. У пациентов с пограничной дисплазией дополнительно оценивали версию вертлужной впадины. Для оценки предоперационного статуса и послеоперационных результатов использовали шкалы iHOT-33 и NOS.

Результаты. Лучший результат лечения достигнут в группе 1 пациентов, что статистически значимо отличалось от результата в группе 3. Результаты лечения пациентов в группе 2 не имели статистически значимых отличий от группы 1 по опроснику NOS, однако отличались по шкале iHOT-33. Результаты лечения пациентов в группе 4 почти не отличались по шкале iHOT-33 от группы 1 и по шкале NOS от группы 2. В группе 3 по подшкале NOS-Sport статистически значимый результат был достигнут только у 30% пациентов, в то время как в остальных группах он был не ниже 58%. Остальные шкалы показали незначительное превосходство результатов лечения в группах 1 и 4 по сравнению с группами 2 и 3. В первые годы после операции все группы пациентов показывали существенное улучшение спортивной активности, однако спустя 2 года у пациентов групп 2 и 3 наблюдалась тенденция к снижению.

Заключение. Лучшие результаты артроскопического лечения показали пациенты группы 1 с изолированным сам-типом деформации. Несколько хуже пациенты группы 2 (с mixed-типом). У пациентов с пограничной дисплазией эффективность артроскопии зависит от строения передней стенки вертлужной впадины. Наихудший результат наблюдается у пациентов с пограничной дисплазией и недостаточно развитой передней стенкой вертлужной впадины — при их лечении стоит отдать предпочтение изолированной периацетабулярной остеотомии или в комбинации с артроскопией.

Ключевые слова: фемороацетабулярный импинджмент, артроскопия, дисплазия вертлужной впадины, ретроверсия вертлужной впадины.

Для цитирования: Богопольский О.Е., Филонов П.В., Тихилов Р.М. Результаты артроскопического лечения пациентов с фемороацетабулярным импинджментом в зависимости от типа деформации тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):24-34. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15530>.

Богопольский Олег Евгеньевич; e-mail: 9202211@gmail.com

Рукопись получена: 23.08.2023. Рукопись одобрена: 23.10.2023. Статья опубликована онлайн: 17.11.2023.

© Богопольский О.Е., Филонов П.В., Тихилов Р.М., 2023

BACKGROUND

Femoroacetabular impingement (FAI) is often the cause of pain syndrome and limited mobility in the hip joint in young and middle-aged patients [1, 2, 3]. FAI biomechanics comprises the repeated pathological contact of the edge of the acetabulum and articular labrum with the head and neck of the femur, which leads to the injury of the hip structures, pain syndrome, reduced range of motion, and, eventually, to the deterioration of patients' quality of life. Morphological classification of FAI includes three main types: cam-type, in which the sphericity of the femoral head is compromised and the offset of the femoral head and neck is reduced [4]; pincer-type - excessive coverage of the femoral head in a certain area, including local pincer deformation or total pincer deformation (*coxa profunda*) around the entire circumference; mixed type - a combination of both types of deformity [5].

Hip arthroscopy is a modern method of treating patients with FAI [6]. The outcome of surgical treatment of FAI depends on a number of factors [7], including the type of deformity. According to the literature, there is a decrease in treatment efficacy from cam-type to mixed-type and pincer-type [8]. However, the results of arthroscopic treatment of patients with cam-type FAI combined with borderline acetabular dysplasia are contradictory. Some authors note the high efficiency of this technique [9, 10], while others report a low degree of satisfaction and worse functional results of arthroscopic correction of FAI in these patients [11, 12].

Aims of the study: 1) to evaluate the influence of the type of hip deformity in patients with femoroacetabular impingement on the treatment outcome; 2) to identify the type of hip deformity that is optimal for arthroscopic correction; 3) to determine the influence of acetabular anatomy in borderline dysplasia on the treatment outcome.

METHODS

Study design

Type of the study: retrospective uncontrolled single-centered.

The study included patients with FAI confirmed by clinical and X-ray examinations who underwent hip arthroscopy between September 2014 and March 2022.

Exclusion criteria: patients with grade 2-3 osteoarthritis according to the classification of

N.S. Kosinskaya, with osteonecrosis of the femoral head, Legg-Calvé-Perthes disease, primary chondromatosis, and aged over 50 years.

During physical examination of patients, provocation tests confirming the clinical manifestation of FAI were used: flexion, adduction, internal rotation (FADIR), flexion, abduction, external rotation (FABER), Thomas test. All patients had at least two positive tests out of three. The study took into account the age, body mass index (BMI), duration of symptoms before surgical treatment and follow-up period after surgery.

Plain pelvic X-ray in the standing position and pelvic X-ray in a modified Dunn 45° view with 40° external rotation of the femur were used as a radiological method of examination. In the plain pelvic X-ray, we measured the lateral center-edge angle in the Ogata modification (LCEA-O), the Tönnis angle, the angle α of the outer part of the femoral head, the height of the articular gap in the lateral (LS) and medial (MS) sides of the sclerosed part of the acetabulum. In patients with borderline dysplasia (LCEA-O < 25°), the acetabular version was additionally evaluated. Using the modified Dunn 45° view, the angle α of the antero-superior aspect of the femoral head was measured. If the angle α did not exceed 42°, the femoral head/neck offset was additionally calculated. A decrease in offset of less than 0.17 confirmed the presence of a cam-deformity. Calculations and assessment of radiological parameters were carried out according to our method described earlier [13].

The study enrolled 121 patients: 49 (40.5%) women and 72 (59.5%) men. A total of 135 surgeries on hip joints were performed: 7 women and 7 men had both joints operated on.

Patients were divided into 4 groups according to the type of deformity. Group 1 included 33 (24.4%) joints with cam-type FAI, group 2 included 72 (53.4%) joints with mixed-type, group 3 included 17 (12.6%) joints with dysplasia (LCEA-O < 25°) and cam-type head deformity, and group 4 included 13 (9.6%) joints with a combination of dysplasia, cam-type deformity, and acetabular retroversion.

Surgical technique

Arthroscopic correction of intra-articular deformities and injuries was performed by a single surgeon via standard approaches. Arthroscopic correction of cam-deformities was performed

without distraction of the joint. After distraction of the joint, if acetabular labrum damage was detected, the acetabular rim was refixed using anchor fixators after its modeling resection, the extent of which depended on the pattern of deformity. Minimal resection of the acetabular rim was performed in patients with borderline dysplasia when suturing the acetabular labrum. If the acetabular labrum and cartilage were superficially damaged, smoothing of the damaged areas with a shaver and arthroscopic coagulator was performed. Unstable areas of the acetabular rim cartilage were resected.

Localization, pattern, and extent of the acetabular labrum and cartilage damage were assessed during the surgery. The Outerbridge classification [14] was used to evaluate cartilage damage of the femoral head. Damage to the cartilage of the acetabulum was evaluated according to the classification of M. Beck et al. [15].

Postoperative management

All patients were ambulated the next day after the surgery with restriction of the axial load on the operated joint. It was recommended to use crutches with the load on the operated limb of 15-20% of body weight in the first 3 weeks after surgery, followed by a gradual increase and bringing the load to full within 2 weeks.

Outcomes assessment

The minimum follow-up period after surgery was 1 year. All patients completed the International Hip Outcome Tool-33 (iHOT-33) and Hip Outcome Score (HOS) scales before the surgery and then, starting from the first year after surgery, annually online in

the Google forms. Data from the latest survey were used for analysis. Results range from 0 to 100, where higher scores correspond to better outcomes.

Statistical analysis

Database was created in the form of Excel tables. Statistical analysis was performed in Statistica 12 (StatSoft) X86 software for Windows.

The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of distribution. Analysis of variance (ANOVA) followed by post-hoc analysis was used to compare normally distributed variables between groups. The distribution of numerical variables of the iHOT-33 and HOS questionnaire scales differed from the normal distribution, so the Kruskal-Wallis test was used to evaluate quantitative parameters in four independent groups, followed by pairwise analysis using the Mann-Whitney U test. Considering the effect of multiple comparisons, the critical level of statistical significance p for these comparisons was assumed to be 0.0085 ($1 - 0.951/6 = 0.0085$ - taking into account six pairwise comparisons). The Wilcoxon's W-test was applied to compare the results of the questionnaire scales before and after treatment.

The level of statistical significance p in the study was assumed to be 0.05 .

RESULTS

There was no statistically significant difference between the patient groups in terms of age, BMI, duration of symptoms, angle α , joint gap size before surgery and follow-up period after surgery ($p > 0.05$) (Table 1).

Table 1

Characteristics of patients of all groups (M; SD)

Parameter	Group 1 (cam-type) (33 joints)	Group 2 (mixed-type) (72 joints)	Group 3 (dysplasia + cam-type) (17 joints)	Group 4 (dysplasia + retroversion + cam-type) (13 joints)
Age, years	32.3; 7.7	30.3; 7.4	39.9; 7.9	28.7; 4.9
BMI, kg/m ²	23.3; 4.4	23.7; 2.9	23.4; 3.6	23.0; 2.3
Duration of symptoms, months	33.3; 29	31.4; 29.6	33.9; 36.5	39.2; 39.9
Angle α AP*, deg.	58.2; 19.1	60.7; 19.1	55.5; 24.4	61.6; 20.5
Angle α Dunn, deg.	62.4; 12.1	63.1; 11.2	62.0; 15.4	62.4; 15.6
LS, mm	4.9; 0.7	4.8; 0.8	4.9; 1.0	4.7; 0.7
MS, mm	4.1; 0.9	4.3; 0.7	4.3; 0.8	4.8; 0.8
Follow-up duration, months	52.3; 22.1	44.7; 22.2	53.7; 25.8	58.1; 26.5

*AP — anterior-posterior setup.

Comparison of α LCEA-O angle and Tönnis angle showed a statistically significant difference between patients in groups 1 and 2 compared to groups 3 and 4 ($p < 0.01$). No statistically significant difference was obtained when comparing groups 1 and 2 ($p = 0.18$ for LCEA-O and $p = 1.0$ for Tönnis angle), as well as between groups 3 and 4 ($p = 1.0$ for LCEA-O and $p = 0.34$ for Tönnis angle) (Table 2).

Table 3 shows the characteristics of the acetabular labrum and cartilage injuries detected during surgical treatment.

The incidence of articular labrum ($p = 0.81$), acetabular cartilage ($p = 0.33$), and femoral head ($p = 0.14$) injuries was similar in all groups. However, despite the lack of statistical difference, cartilage injuries were more common in patients with dysplasia than in the other groups.

Damage to the acetabular labrum and acetabular cartilage was more often detected in the anterosuperior regions (Figs. 1, 2). The incidence of lesions' distribution by the section of acetabulum in all groups had comparable values.

Table 2

Values of LCEA-O and Tönnis angle in groups, deg. (M; SD)

Parameter	Group 1 (cam-type) (33 joints)	Group 2 (mixed-type) (72 joints)	Group 3 (dysplasia + cam-type) (17 joints)	Group 4 (dysplasia + retroversion + cam-type) (13 joints)
LCEA-O	29.1; 3.5	30.7; 3.9	2.0; 1.9	21.8; 2.1
Tönnis angle	3.9; 2.7	4.0; 2.5	8.6; 4.1	10.6; 2.7

Table 3

Quantity of lesions, discovered intraoperatively, and procedures to acetabular labrum, n (%)

Parameter	Group 1 (cam-type) (33 joints)	Group 2 (mixed-type) (72 joints)	Group 3 (dysplasia + cam-type) (17 joints)	Group 4 (dysplasia + retroversion + cam-type) (13 joints)
Acetabular labrum lesion	29 (87.9)	67 (93.1)	15 (88.2)	12 (92.3)
Fixation of damaged parts of acetabular labrum	20 (60.6)	62 (86.1)	14 (82.3)	12 (92.3)
Resection of damaged parts of acetabular labrum	0	1 (1.4)	0	0
Resection of superficial lesions of acetabular labrum	9 (27.3)	4 (5.6)	1 (5.9)	0
Acetabular cartilage lesion	21 (63.6)	41 (56.9)	13 (76.5)	6 (46.2)
Superficial lesion (Beck grade 1)	4 (12.1)	11 (15.3)	3 (17.6)	0
Deep cartilage lesion (Beck grade 2 and 3)	14 (42.4)	25 (34.7)	9 (53)	4 (30.8)
Flap lesion and cartilage desquamation (Beck grade 4 and 5)	3 (9.1)	5 (6.9)	1 (5.9)	2 (15.4)
Femoral head cartilage lesion	5 (15.2)	4 (5.6)	3 (17.6)	3 (23.1)
Superficial lesion (Outerbridge grade 1 and 2)	4 (12.2)	4 (5.6)	3 (17.6)	2 (15.4)
Deep lesion (Outerbridge grade 3 and 4)	1 (3)	0	0	1 (7.7)

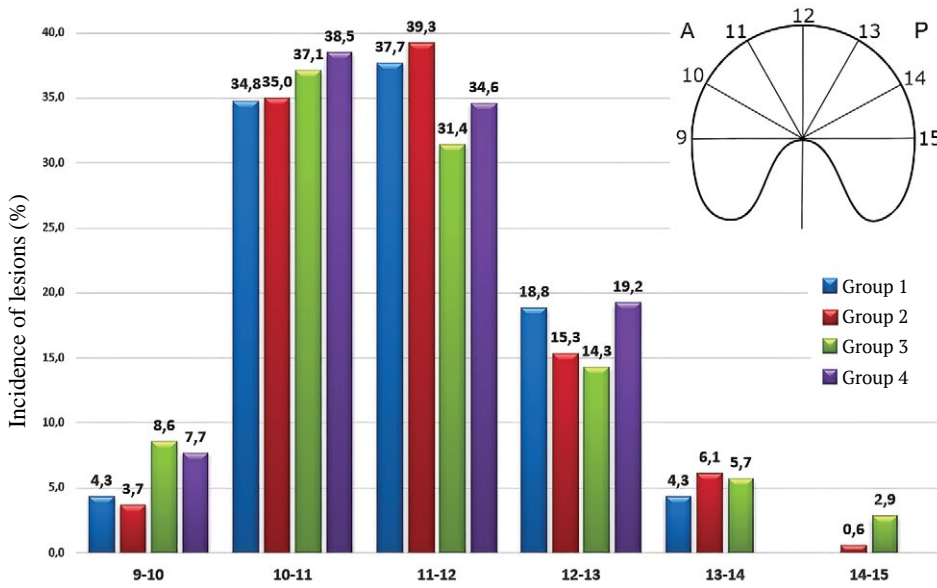


Fig. 1. Localization and incidence of acetabular labrum lesions determined by dividing the acetabulum according to the conventional dial, left-sided mark

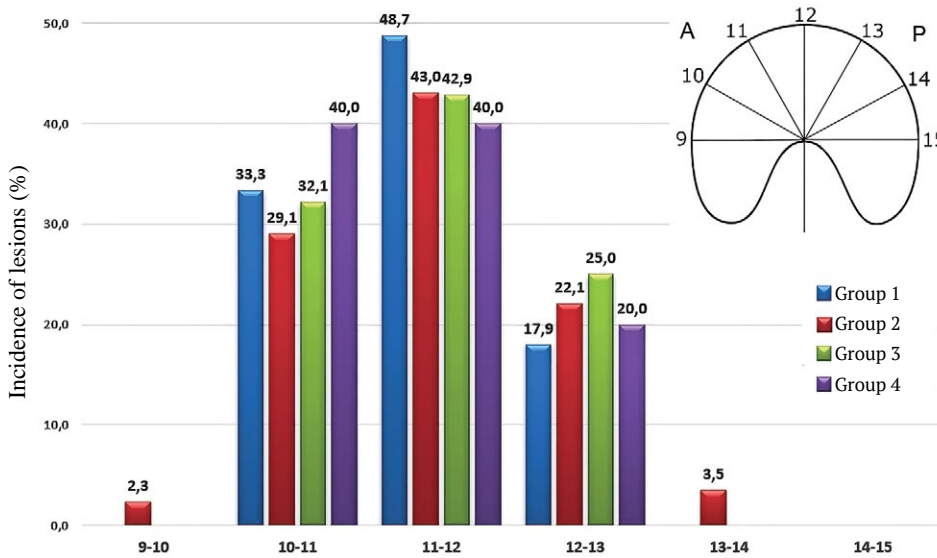


Fig. 2. Localization and incidence of acetabular cartilage lesions determined by dividing the acetabulum according to the conventional dial, left-sided mark

Neuropathy of the external cutaneous nerve was found in 18.5% (23 patients, 25 joints) of cases and of the pudendal nerve in 6.7% (9 patients) of cases. All these complications resolved spontaneously. There was no statistically significant difference in the incidence of complications between the groups ($p > 0.05$). No infectious complications were observed in the operated patients.

The data of iHOT-33 and HOS questionnaires before surgery were not statistically different between groups ($p > 0.05$). In the postoperative period, statistically significant improvement

was achieved in all groups based on the scales used ($p < 0.05$), except for the "Sport" section of the HOS questionnaire in group 3, where no statistically significant difference was found ($p = 0.55$) (Table 4).

However, comparing treatment results between groups according to the scales used, considering the correction for multiple comparisons of the four groups, the best result was obtained in group 1, which was statistically significantly different from group 3 according to both questionnaires (Table 5). Treatment results of group 2 patients

did not differ statistically significantly from group 1 according to the HOS questionnaire, but differed according to the iHOT-33. Treatment results of group 4 were comparable with group 1 according to the iHOT-33 scale and with group 2 according to the HOS scale.

In group 3 patients, the HOS-Sport subscale showed a substantial clinical benefit (SCB) [16] in only 30%, while in the other groups it was at least in 58%. Other scales showed insignificant

superiority of treatment results in groups 1 and 4 over groups 2 and 3 (Table 6).

All the patient groups showed a significant improvement in sports activity in the first years after surgery, but after 2 years, there was a tendency for its decrease in the patients of groups 2 and 3. The dynamics of changes in the results of treatment of patients with FAI based on the data of the HOS-Sport subscale in the average time from 1 to 7 years is presented in Figure 3.

Table 4

Pre- and postoperative iHOT-33 и HOS scores in groups (Me [Q25; Q75])

Parameter	Group 1 (cam-type) (33 joints)	Group 2 (mixed-type) (72 joints)	Group 3 (dysplasia + cam-type) (17 joints)	Group 4 (dysplasia + retroversion + cam-type) (13 joints)
iHOT-33 preop. p-value	52.1 [36.7; 63.5] p<0.01	55.8 [43.6; 70.6] p<0.01	46 [41.5; 51.2] p<0.01	54.4 [48.2; 59.1] p<0.01
iHOT-33 postop.	91.8 [85.8; 98.5]	87 [72.5; 94.2]	75.5 [68.2; 86.9]	95.2 [86.3; 96]
HOS-ADL preop. p-value	79.4 [67.6; 88.2] p<0.01	79.4 [66.9; 86.8] p<0.01	73.5 [69.1; 82.4] p<0.01	75 [66.2; 82.4] p<0.01
HOS-ADL postop.	98.5 [94.1; 100]	94.1 [89; 98.5]	89.7 [82.4; 95.6]	95.6 [86.8; 97.1]
HOS-Sport preop. p-value	66.7 [50; 75] p<0.01	55.6 [36.1; 72.2] p<0.01	58.3 [44.4; 66.7] p = 0.55	52.8 [22.2; 66.7] p<0.01
HOS-Sport postop.	94.4 [83.3; 100]	80.6 [72.5; 94.2]	61.1 [38.9; 86.1]	86.1 [75; 88.9]

iHOT-33 – international Hip Outcome Tool-33; HOS-ADL – Hip Outcome Score-Activities of Daily Living; HOS-Sport – Hip Outcome Score-Sports-Specific Subscale.

Table 5

Comparison of results between groups (Me [Q25; Q75])

Parameter	Group 1 (cam-type) (33 joints)	Group 2 (mixed-type) (72 joints)	Group 3 (dysplasia + cam-type) (17 joints)	Group 4 (dysplasia + retroversion + cam-type) (13 joints)	p*-value		
					group 1 vs group 3	group 1 vs group 4	group 2 vs group 4
iHOT-33	52.1 [36.7; 63.5]	55.8 [43.6; 70.6]	46 [41.5; 51.2]	54.4 [48.2; 59.1]	p = 0.0004	p = 0.9029	p = 0.0737
p*-value	p = 0.0073		p = 0.0413	p = 0.0044			
HOS-ADL	79.4 [67.6; 88.2]	79.4 [66.9; 86.8]	73.5 [69.1; 82.4]	75 [66.2; 82.4]	p = 0.0057	p = 0.057	p = 0.927
p*-value	p = 0.0302		p = 0.0702	p = 0.3358			
HOS-Sport	66.7 [50; 75]	55.6 [36.1; 72.2]	58.3 [44.4; 66.7]	52.8 [22.2; 66.7]	p = 0.001	p = 0.0947	p = 0.8118
p*-value	p = 0.0247		p = 0.0115	p = 0.0364			

* Level of statistical significance p-value <0.0085.

Table 6

Frequency of minimal clinically important difference (MCID) and SCB achievement in groups, %

Scale	Group 1			Group 2			Group 3			Group 4		
	NCI	MCID	SCB	NCI	MCID	SCB	NCI	MCID	SCB	NCI	MCID	SCB
HOS-ADL	7.69	3.85	88.46	16.95	5.08	77.97	31.25	0.00	68.75	9.09	0.00	90.91
HOS -Sport	27.27	9.09	63.64	19.61	21.57	58.82	53.85	15.38	30.77	18.18	18.18	63.64
iHOT-33	0.00	10.34	89.66	16.67	23.33	60.00	25.00	12.50	62.50	0.00	16.67	83.33

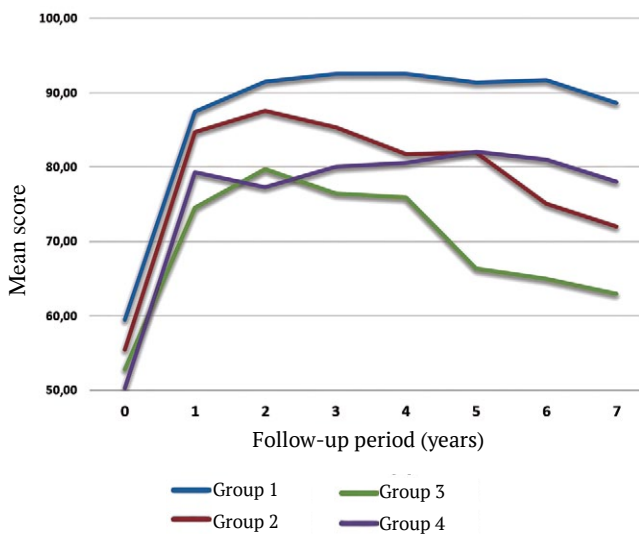


Fig. 3. Changes in treatment results of patients with FAI according to the HOS-Sport subscale

DISCUSSION

At the present moment of arthroscopic hip surgery development, the scientific community does not only actively search for the expansion of the possibilities of this method, but also thoroughly analyzes unsatisfactory results of treatment. Most authors mention as predictors of failure such factors as osteoarthritis preceding surgical treatment, decreased joint gap size in general or in the external region, discongruence of the articular surfaces, true acetabular dysplasia, and a significant increase in the angle α [17, 18, 19]. C. Kyin et al. pointed out an increase in age as one of the important predictors of FAI surgical treatment failure. Their statement was based on the analysis of 13 articles evaluating the results of arthroscopic treatment of 1571 joints [20]. Considering this fact, we excluded patients older than 50 years from our study.

The type of hip deformity also affects the treatment outcome. It is known that arthroscopic correction of cam-type FAI shows the best results, while mixed-type FAI is slightly behind in the treatment results. H.G. Said et al. analyzed the dependence of the results of arthroscopic treatment of FAI on its type based on the treatment of 90 hip joints and concluded that cam-type is more favorable compared to mixed-type [21]. We obtained similar results comparing the treatment efficacy of groups 1 and 2, which showed statistically significant improvement in group 1 according to the iHOT-33 questionnaire and marked, but not statistically significant, differences according to both HOS subscales compared to group 2.

Patients with a combination of FAI and borderline hip dysplasia are of particular interest, and the use of arthroscopy alone in these patients yields inconsistent results according to the literature [22]. Acetabular dysplasia has its own specific mechanism of biomechanics disturbance, which consists in the appearance of microinstability and decrease in the contact surface area, which increases the concentration of mechanical load on the anterosuperior part of the acetabulum [23]. These changes in load distribution lead to differences in the pattern of intra-articular injuries in patients with and without dysplasia. There was no statistically significant difference between all groups in the incidence of articular labrum, acetabular cartilage, and femoral head injuries, but acetabular cartilage injuries were more common in group 3. Similar data were obtained by I.K. Bolia et al. in 2018. Based on the analysis of arthroscopic treatment of 2429 patients, of which 305 were with borderline dysplasia, they found that with approximately the same frequency of

detection of deep acetabular cartilage lesions, the size of these lesions was larger in patients with borderline dysplasia than in patients with normal femoral head coverage [24].

The difference in results between patients in groups 3 and 4, with borderline dysplasia present in both groups, is particularly noteworthy. A statistically significant difference ($p = 0.0044$) between the groups was obtained according to the iHOT-33 questionnaire. Differences according to the HOS-Sport subscale ($p = 0.0364$) were statistically insignificant, but considering the data of the post-hoc analysis, it is possible to conclude that there were significant differences between the groups. No significant difference between the groups ($p = 0.335$) on the HOS-ADL subscale against the background of statistically significant improvement in the postoperative period in group 3 seems to indicate a satisfactory clinical outcome for everyday life. Overall, the treatment outcome of patients in group 4 was comparable to that of groups 1 and 2.

Presumably, the outcome of group 4 patients was favorably affected by better femoral head coverage of the anterior wall of the acetabulum due to retroversion. S. Chen et al. studied the correlation between the distribution of the contact mechanical load on the acetabulum and the anterior central edge angle (ACEA), which reflects the development of the anterior column. Authors have found, based on computer modeling of the acetabular structure of 9 patients with true and borderline dysplasia, that for the same value of the Wiberg angle (LCEA), with decreasing ACEA, there is a significant concentration of mechanical load in the anterosuperior region of the acetabulum [25]. Another group of authors led by J.C. Christensen, based on the analysis of 173 patient outcomes, found that older patients with borderline dysplasia and anterior wall deficiency have significantly worse iHOT-12 arthroscopic outcomes compared to other patient groups [11]. Due to the limitation of our study, we could not evaluate the significance of the femoral neck anteversion, but its value above 25° also shifts the mechanical load to the anterior acetabulum. E.O. Chaharbakhshi et al. analyzed the results of arthroscopic treatment of 12 hips with borderline dysplasia and excessive femoral neck anteversion. Authors concluded that these patients showed significantly worse

scores on the mHHS, NAHS, and HOS-SSS scales and lower satisfaction with surgery compared to the control group, which included study subjects with normal head coverage and anteversion [26].

Despite the good two-year treatment outcome of patients with borderline dysplasia and weak anterior acetabular wall, we believe that in order to achieve a more stable result, we should consider periacetabular osteotomy rather than arthroscopy as a method of surgical treatment for these patients. Another option is simultaneous performance of periacetabular osteotomy and hip arthroscopy, which can be quite effective according to M.S. Lee et al. [27].

Limitations

Measurements and comparison of values of femoral neck anteversion and anterior center-edge angle (ACEA) were not performed due to the absence of X-ray in false profile and pelvis and knee computed tomography in preoperative examination protocol prior to conducting current study. Patients with pincer-type FAI were excluded from the study due to their small numbers.

CONCLUSIONS

The result of arthroscopic correction of FAI depends on many factors, including the type of deformity. The best results are achieved when correcting cam- and mixed-type FAI. The effectiveness of arthroscopy in patients with cam deformity and borderline dysplasia depends on the structure of the anterior acetabular wall. The worst outcome is observed in patients with borderline dysplasia without retroversion of the acetabulum. When treating this group of patients, isolated periacetabular osteotomy or in combination with arthroscopy may be preferable.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bogopolskiy O.E. — data collection and processing, data analysis and interpretation, statistical analysis of results, writing the article.

Filonov P.V. — data collection and processing, data analysis and interpretation, drafting the article.

Tikhilov R.M. — study concept and design, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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.

REFERENCES

- Leunig M., Casillas M.M., Hamlet M., Hersche O., Nötzli H., Slongo T. et al. Slipped capital femoral epiphysis: early mechanical damage to the acetabular cartilage by a prominent femoral metaphysis. *Acta Orthop Scand.* 2000;71(4):370-375. doi: 10.1080/000164700317393367.
- Myers S.R., Eijer H., Ganz R. Anterior femoroacetabular impingement after periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(363):93-99.
- Ganz R., Parvizi J., Beck M., Leunig M., Nötzli H., Siebenrock K.A. Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(417):112-120. doi: 10.1097/01.blo.0000096804.78689.c2.
- Hanzlik S., Riff A.J., Wuerz T.H., Abdulian M., Gurin D., Nho S.J. et al. The Prevalence of Cam Morphology: A Cross-Sectional Evaluation of 3,558 Cadaveric Femora. *Front Surg.* 2021;7:588535. doi: 10.3389/fsurg.2020.588535.
- Griffin D.R., Dickenson E.J., O'Donnell J., Agricola R., Awan T., Beck M. et al. The Warwick Agreement on femoroacetabular impingement syndrome (FAI syndrome): an international consensus statement. *Br J Sports Med.* 2016;50(19):1169-1176. doi: 10.1136/bjsports-2016-096743.
- Gatz M., Driessen A., Eschweiler J., Tingart M., Migliorini F. Arthroscopic surgery versus physiotherapy for femoroacetabular impingement: a meta-analysis study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(7):1151-1162. doi: 10.1007/s00590-020-02675-6.
- Domb B.G., Chen S.L., Go C.C., Shapira J., Rosinsky P.J., Meghpara M.B. et al. Predictors of Clinical Outcomes After Hip Arthroscopy: 5-Year Follow-up Analysis of 1038 Patients. *Am J Sports Med.* 2021;49(1):112-120. doi: 10.1177/0363546520968896.
- Flecher X., Wettstein M., May O. Limitations of arthroscopy for managing coxa profunda. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019;105(8S):S267-S274. doi: 10.1016/j.otsr.2019.09.016.
- Cvetanovich G.L., Levy D.M., Weber A.E., Kuhns B.D., Mather R.C. 3rd, Salata M.J. et al. Do Patients With Borderline Dysplasia Have Inferior Outcomes After Hip Arthroscopic Surgery for Femoroacetabular Impingement Compared With Patients With Normal Acetabular Coverage? *Am J Sports Med.* 2017;45(9):2116-2124. doi: 10.1177/0363546517702855.
- Evans P.T., Redmond J.M., Hammarstedt J.E., Liu Y., Chaharbakhshi E.O., Domb B.G. Arthroscopic Treatment of Hip Pain in Adolescent Patients With Borderline Dysplasia of the Hip: Minimum 2-Year Follow-Up. *Arthroscopy.* 2017;33(8):1530-1536. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.008.
- Christensen J.C., Marland J.D., Miller C.J., Horton B.S., Whiting D.R., West H.S. Trajectory of clinical outcomes following hip arthroscopy in female subgroup populations. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6(1):25-32. doi: 10.1093/jhps/hnz011.
- Yoon S.J., Lee S.H., Jang S.W., Jo S. Hip Arthroscopy of a Painful Hip with Borderline Dysplasia. *Hip Pelvis.* 2019;31(2):102-109. doi: 10.5371/hp.2019.31.2.102.
- Bogopolskiy O.E. Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(4):155-168. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-1636.
- Outerbridge R.E. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B:752-757. doi: 10.1302/0301-620X.43B4.752.
- Beck M., Kalhor M., Leunig M., Ganz R. Hip morphology influences the pattern of damage to the acetabular cartilage: femoroacetabular impingement as a cause of early osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(7):1012-1018. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.15203.
- Nwachukwu B.U., Chang B., Fields K., Rebolledo B.J., Nawabi D.H., Kelly B.T. et al. Defining the «Substantial Clinical Benefit» After Arthroscopic Treatment of Femoroacetabular Impingement. *Am J Sports Med.* 2017;45(6):1297-1303. doi: 10.1177/0363546516687541.
- Philippon M.J., Briggs K.K., Carlisle J.C., Patterson D.C. Joint space predicts THA after hip arthroscopy in patients 50 years and older. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(8):2492-2496. doi: 10.1007/s11999-012-2779-4.
- Rosinsky P.J., Chen J.W., Glein R.M., Jimenez A.E., Brayboy C., Domb B.G. Lateral to Medial Joint Space Ratio is Predictive of Survivorship After Primary Hip Arthroscopy. *Arthroscopy.* 2023;39(2):300-307. doi: 10.1016/j.arthro.2022.06.025.
- Thomas G.E., Palmer A.J., Batra R.N., Kiran A., Hart D., Spector T. et al. Subclinical deformities of the hip are significant predictors of radiographic osteoarthritis and joint replacement in women. A 20 year longitudinal cohort study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22(10):1504-1510. doi: 10.1016/j.joca.2014.06.038.
- Kyin C., Maldonado D.R., Go C.C., Shapira J., Lall A.C., Domb B.G. Mid- to Long-Term Outcomes of Hip Arthroscopy: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2021;37(3):1011-1025. doi: 10.1016/j.arthro.2020.10.001.

21. Said H.G., Masoud M.A., Morsi M.M.A., El-Assal M.A. Outcomes of hip arthroscopy for femoroacetabular impingement: The effect of morphological type and chondrolabral damage. *SICOT J.* 2019;5:16. doi: 10.1051/sicotj/2019012.
22. Murata Y., Fukase N., Dornan G., Martin M., Soares R., Pierpoint L. et al. Arthroscopic Treatment of Femoroacetabular Impingement in Patients With and Without Borderline Developmental Dysplasia of the Hip: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(8):23259671211015973. doi: 10.1177/23259671211015973.
23. Harris J.D., Lewis B.D., Park K.J. Hip Dysplasia. *Clin Sports Med.* 2021;40(2):271-288. doi: 10.1016/j.csm.2020.11.004.
24. Bolia I.K., Briggs K.K., Locks R., Chahla J., Utsunomiya H., Philippon M.J. Prevalence of High-Grade Cartilage Defects in Patients With Borderline Dysplasia With Femoroacetabular Impingement: A Comparative Cohort Study. *Arthroscopy.* 2018;34(8):2347-2352. doi: 10.1016/j.arthro.2018.03.012.
25. Chen S., Zhang L., Mei Y., Zhang H., Hu Y., Chen D. Role of the Anterior Center-Edge Angle on Acetabular Stress Distribution in Borderline Development Dysplastic of Hip Determined by Finite Element Analysis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;10:823557. doi: 10.3389/fbioe.2022.823557.
26. Chaharbakhshi E.O., Hartigan D.E., Perets I., Domb B.G. Is Hip Arthroscopy Effective in Patients With Combined Excessive Femoral Anteversion and Borderline Dysplasia? A Match-Controlled Study. *Am J Sports Med.* 2019;47(1):123-130. doi: 10.1177/0363546518812859.
27. Lee M.S., Fong S., Owens J.S., Mahatme R.J., Kim D.N., Gillinov S.M. et al. Outcomes After Concomitant Hip Arthroscopy and Periacetabular Osteotomy: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2023 Apr 25;11(4):23259671231160559. doi: 10.1177/23259671231160559.

Authors' information

✉ Oleg E. Bogopolskiy

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

<https://orcid.org/0000-0002-4883-0543>

e-mail: 9202211@gmail.com

Pavel V. Filonov

<https://orcid.org/0000-0001-7758-0128>

e-mail: drpavelfilonov@gmail.com

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

e-mail: rtikhilov@gmail.com

Effect of Radical Hip Reconstruction in Children With Hip Subluxation on Sagittal Balance and Type of Vertical Posture: Mid-Term Results

Pavel I. Bortulev¹, Sergei V. Vissarionov^{1,2}, Dmitriy B. Barsukov¹, Ivan Yu. Pozdnykin¹, Makhmud S. Poznovich¹, Tamila V. Baskaeva¹

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. Hip instability in the form of hip subluxation, regardless of its etiology, leads not only to the formation of excessive pelvic anteversion and lumbar hyperlordosis, but also to the early development of hip osteoarthritis. The lack of information in the world literature on possible changes in sagittal balance parameters in this category of patients after triple pelvic osteotomy requires such studies.

Aim of the study is to evaluate the spino-pelvic sagittal balance and the type of vertical posture in children with hip subluxation of different genesis after radical reconstructive intervention in the mid-term follow-up period.

Methods. The study is based on the analysis of clinical and X-ray results of 50 patients (50 hip joints) aged 10 to 17 years with hip subluxation operated on between 2018 and 2019. The patients were divided into two groups: group I consisted of 30 patients (30 hip joints) with Crowe type I dysplasia; group II consisted of 20 patients (20 hip joints) with Legg-Calvé-Perthes disease. All children underwent triple pelvic osteotomy.

Results. Different approaches to triple pelvic osteotomy in patients with hip instability of various genesis allowed to significantly affect the spino-pelvic sagittal balance and the type of vertical posture. In all patients there was a decrease in the sacral slope value, spino-sacral angle, the magnitude of lumbar lordosis, as well as a change in the sagittal vertical axis value from strongly negative to neutral.

Conclusions. Analysis of mid-term results of surgical treatment of children with hip instability in the form of hip subluxation and Legg-Calvé-Perthes disease using 3D modeling and prototyping of individual guides showed that the triple pelvic osteotomy leads to the reduction of both excessive pelvic anteversion and lumbar hyperlordosis, resulting in the transformation of physiologically disadvantageous hyperlordotic type of vertical posture into harmonious one.

Keywords: children, hip dysplasia, Legg-Calvé-Perthes disease, hip subluxation, spino-pelvis balance, triple pelvic osteotomy, 3D modeling.

Cite as: Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Poznovich M.S., Baskaeva T.V. Effect of Radical Hip Reconstruction in Children With Hip Subluxation on Sagittal Balance and Type of Vertical Posture: Mid-Term Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):35-48. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15533>.

✉ Pavel I. Bortulev; pavel.bortulev@yandex.ru

Submitted: 30.08.2023. Accepted: 18.10.2023. Published Online: 15.11.2023.

© Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Poznovich M.S., Baskaeva T.V., 2023

Влияние радикальной реконструкции тазобедренного сустава у детей с подвывихом бедра на показатели сагиттального баланса и тип вертикальной осанки: среднесрочные результаты

П.И. Бортулёв¹, С.В. Виссарионов^{1,2}, Д.Б. Барсуков¹, И.Ю. Поздникин¹,
М.С. Познович¹, Т.В. Баскаева¹

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. Нестабильность тазобедренных суставов в виде подвывиха бедра вне зависимости от его этиологии приводит не только к формированию чрезмерной антеверсии таза и гиперлордозу поясничного отдела позвоночника, но и к раннему развитию коксартроза. Отсутствие в мировой литературе сведений о возможных изменениях параметров сагиттального баланса у данной категории пациентов после выполнения тройной остеотомии таза диктует необходимость проведения таких исследований.


Цель исследования — оценить состояние сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений и тип вертикальной осанки у детей с подвывихом бедра различного генеза после выполнения радикального реконструктивного вмешательства в среднесрочном периоде наблюдения.


Материал и методы. Исследование основано на анализе результатов клинко-рентгенологического обследования 50 пациентов (50 тазобедренных суставов) в возрасте от 10 до 17 лет с подвывихом бедра, прооперированных в период с 2018 по 2019 г. Пациенты были разделены на две группы: группу I составили 30 пациентов (30 тазобедренных суставов) с дисплазией I степени по Crowe; группу II — 20 пациентов (20 тазобедренных суставов) с болезнью Легга – Кальве – Пертеса. Всем детям выполнена тройная остеотомия таза.

Результаты. Различные подходы к выполнению тройной остеотомии таза у пациентов с нестабильностью тазобедренного сустава различного генеза позволили значительно повлиять на состояние сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений и тип вертикальной осанки. У всех пациентов произошло уменьшение угла наклона крестца, позвоночно-крестцового угла, величины поясничного лордоза, а также изменение значения сагиттальной вертикальной оси из резко негативного к нейтральному.

Заключение. Анализ среднесрочных результатов хирургического лечения детей с нестабильностью тазобедренного сустава в виде подвывиха бедра и болезнью Легга – Кальве – Пертеса с применением технологии 3D-моделирования и прототипирования индивидуальных шаблонов-направителей показал, что выполнение тройной остеотомии таза приводит к уменьшению как избыточной антеверсии таза, так и гиперлордоза поясничного отдела позвоночника, в результате чего происходит трансформация физиологически невыгодного гиперлордотического типа вертикальной осанки в гармоничный.

Ключевые слова: дети, дисплазия тазобедренного сустава, болезнь Легга – Кальве – Пертеса, подвывих бедра, позвоночно-тазовые соотношения, тройная остеотомия таза, 3D-моделирование.

 **Для цитирования:** Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С., Баскаева Т.В. Влияние радикальной реконструкции тазобедренного сустава у детей с подвывихом бедра на показатели сагиттального баланса и тип вертикальной осанки: среднесрочные результаты. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):35-48. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15533>.

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

Рукопись получена: 30.08.2023. Рукопись одобрена: 18.10.2023. Статья опубликована онлайн: 15.11.2023.

© Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С., Баскаева Т.В., 2023

BACKGROUND

The concept of forming a certain type of vertical posture in humans is based on the magnitude of the lumbar lordosis, which, in turn, directly depends on the value of the only individual morphological pelvic index, pelvic incidence (PI) [1, 2, 3, 4]. It has been determined that there is an excessive pelvic anteversion at high PI values, which is expressed in an increase in sacral slope (SS) and a decrease in pelvic tilt (PT) values [5]. As a result of such radiographic anatomical condition, a hyperlordotic type of vertical posture is formed. On the contrary, when PI values are low, pelvic retroversion is observed, characterized by SS decrease and PT increase with the formation of the hypolordotic type of vertical posture. Thus, it can be stated that the formation of human vertical posture is primarily influenced by the spatial position of the pelvis in the sagittal plane.

Recent studies on the state of sagittal balance in children and adults with various hip pathologies have proven the formation of the types of lumbar lordosis and vertical posture in general that are unfavorable for such patients in terms of the development and course of degenerative changes in the lumbosacral spine. In particular, it has been found that children with hip instability due to hip subluxation, which most often has either a dysplastic genesis or is formed as a result of Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD), are characterized by the hyperlordotic type of vertical posture [6, 7]. It should be noted that children with dysplastic hip subluxation have a characteristic increase in PI values compared to the values in the asymptomatic population, while children with LCPD have a slight decrease in PI values. Despite these differences, we can conclude that hip subluxation, regardless of the etiology and PI values, leads to an excessive anterior rotation of the pelvis and, as a consequence, hyperlordosis of the lumbar spine. The obtained data once again prove that any pathologic changes in the hip have a direct impact on the anatomy of the pelvis, which together form the severity of the lumbosacral lordosis. Today, it has been proven by numerous authors that the only way to restore the lost stability in the hip due to its subluxation in senior children with hip dysplasia and LCPD is radical reconstructive surgery, and the optimal technique is the triple pelvic osteotomy [8, 9, 10, 11, 12]. However, studies investigating possible

changes in the type of vertical posture and sagittal balance parameters in children with hip instability of various genesis are sporadic [13].

Aim of the study is to evaluate the spino-pelvic sagittal balance and the type of vertical posture in children with hip subluxation of different genesis after radical reconstructive intervention in the mid-term follow-up period.

METHODS

Design of the study

Type of the study: multicenter cohort retrospective study.

Inclusion criteria:

- age between 10 and 17 years;
- no history of hip surgery, including soft tissue and minimally invasive surgeries;
- instability of one hip joint in the form of hip subluxation of dysplastic genesis and LCPD;
- absence of severe deformity of joint components requiring intra-articular manipulations and modeling resection;
- no need for surgical correction of the spatial position of the proximal femur via its osteotomy;
- no spinal pathology of any etiology, neuro-orthopedic, genetic and systemic diseases.

Exclusion criteria:

- age less than 10 and more than 18 years;
- bilateral pathologic process;
- pronounced asphericity of the femoral head and/or sharply pathologic radiometric values of the proximal femur;
- hip joint effusion of any genesis;
- flexion-adduction contracture in the hip joint;
- congenital malformations of the spine, including neutral or alternating, verified neurological, systemic and genetic diseases.

The study enrolled 50 patients (50 hips) aged 10 to 17 years (13.0 ± 2.3 years) with hip instability in the form of hip subluxation, treated at the Center's clinic between 2018 and 2019. All patients underwent triple pelvic osteotomy to eliminate the instability of the hip joint and restore correct radiographic anatomical relationships. Children were divided into two groups: I — 30 patients (30 hips) with dysplastic hip subluxation (Crowe grade I); II — 20 patients (20 hips) with hip subluxation as a result of LCPD. Treatment results were evaluated at 40.5 ± 3.9 months after the surgery.

The clinical study was conducted according to the classic well-known procedure. In order to obtain objective information on the presence of impairments in the execution of everyday functions directly related to pain in the lumbosacral spine, all patients completed the Oswestry disability questionnaire [14] (excluding the section "Sexual life" due to the age limit). Taking this into account, the calculations were performed according to the authors' recommendations, which refer to cases of not completing any of the sections. Radiological methods included hip X-rays in the anteroposterior and axial views in the supine position, teleradiography of the spine in the sagittal view in the standing position with maximum capture of the lower extremities, and multislice spiral computed tomography (MSCT).

Radiometry of the following parameters was performed: acetabular vertical inclination angle (Sharp angle), Wiberg angle, neck-shaft angle (NSA), antetorsion angle (AA), bone coverage (BC), acetabular retroversion index (ARI), thoracic kyphosis (TK), global lumbar lordosis (GLL), pelvic incidence (PI), sacral slope (SS), pelvic tilt angle (PT), sagittal vertical axis (SVA) and spine-sacral angle (SSA). Three-dimensional planning of the upcoming intervention was performed for all patients at the preoperative stage in order to accomplish accurate individual

intraoperative reorientation of the acetabulum after osteotomy of the pubic, sciatic, and iliac bones. Reduction of the acetabular fragment in group I patients was performed in the anterior external direction due to the underdevelopment of the anterior superior acetabular rim, which is typical for hip dysplasia. In addition, taking into account literature data on the state of sagittal spino-pelvic balance (SSPB) in children without musculoskeletal diseases and patients with hip subluxation of various genesis [15, 16, 17], as well as the important role of PI in the formation of lumbar lordosis and vertical posture in general, group I patients underwent additional posterior translation of the acetabular component to reduce PI values by no more than 15 mm. In group II patients, acetabular rotation was exclusively external because there was a deficit of lateral coverage of the femoral head (Fig. 1).

Immediately before surgery, patient-specific templates were 3D-printed, which were subsequently used during surgery. Their use provided determination of the exact level of iliac bone osteotomy allowing an individual reduction maneuver to change the spatial position of the acetabulum to the optimal individual value to restore the stability of the hip (Fig. 2).

Radiometry of the obtained data was performed in Surgimap v. 2.3.2.1 (USA) software.

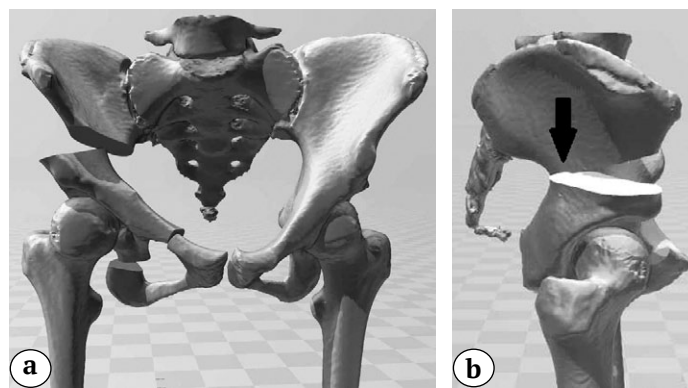


Fig. 1 (a, b). Stage of triple pelvic osteotomy with 3D modeling of optimal individual acetabular correction: a, b – external anterior rotation of the acetabular fragment in a patient with Crowe type I right hip dysplasia (arrow indicates posterior translation)

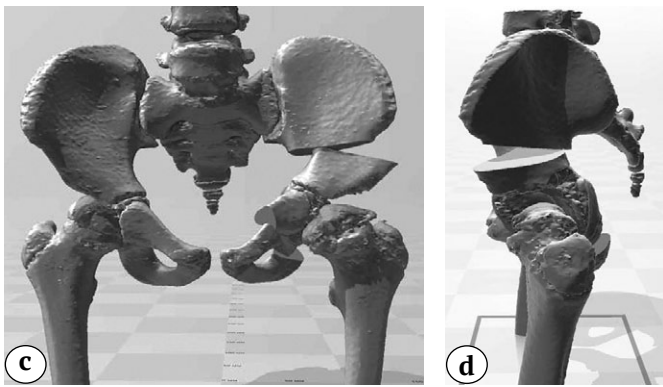


Fig. 1. (c, d). Stage of triple pelvic osteotomy with 3D modeling of optimal individual acetabular correction:
c, d — external rotation of the acetabular fragment in a patient with hip subluxation in LCPD

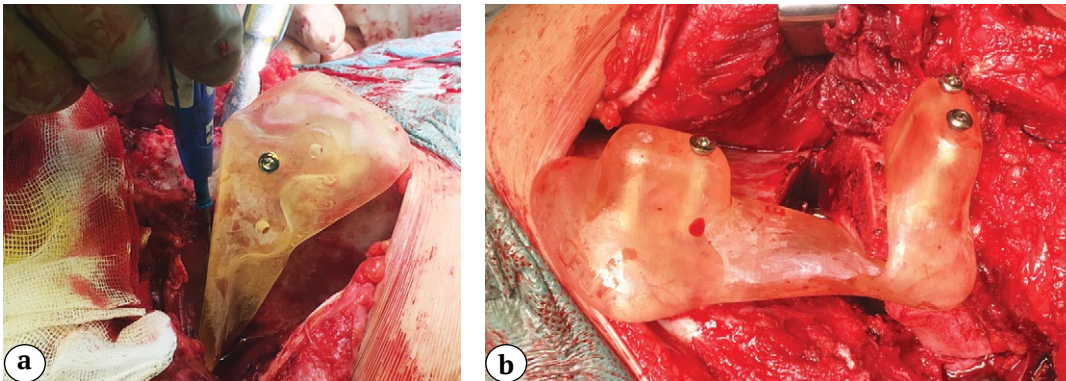


Fig. 2. Intraoperative application of customized templates:
a — to determine the level and direction of the iliac body osteotomy;
b — to achieve an individual adequate correction of the acetabular position during reduction

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using Excel 2010 and SPSS Statistic v.26, (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) software. Descriptive statistics were used to calculate arithmetic mean (M), standard deviations (SD), median (Me) with 25th and 75th percentiles (Q1-Q3). Correlation analysis was performed using Pearson's chi-square test (strength of correlation was considered as $0.01 \leq \rho \leq 0.29$ — weak; $0.30 \leq \rho \leq 0.69$ — moderate; $0.70 \leq \rho \leq 1.00$ — strong). Regression analysis (paired linear and quadratic regression model) was performed to assess the degree of influence of one attribute on another, as well as to determine the variant of influence. Examination of the sample share was carried out according to the values of the coefficient of multiple determination (R^2).

RESULTS

On admission to the department, all patients had complaints typical for hip subluxation, i.e. lameness and moderate pain in the affected hip.

This resulted in psychoemotional discomfort and social disadaptation of children due to their inability to live a normal life like their peers (inability to participate in active games and sports). The mean values of the Oswestry disability index were $19.1 \pm 9.6\%$ in group I and $17.4 \pm 6.9\%$ in group II, which indicates the presence of pathologic changes in the lumbar spine that do not require therapy, but require restrictions in the activity and physical exercises. Shortening of the lower limb was 1.4 ± 0.5 cm in patients of both study groups. Goniometry revealed changes in the range of motion on the affected side typical for each etiologic cause of hip subluxation, which manifested in restricted hip abduction common to all patients included in the study, as well as in excessive rotational movements in group I patients and limited internal rotation in group II patients.. Examination of physiologic spinal curvatures revealed lumbar hyperlordosis in 22 (73.3%) patients of group I and in 12 children (60%) of group II. Changes in the radiographic anatomical structure of the hip and parameters describing the

sagittal balance in patients with Crowe grade I hip subluxation and in LCPD have been described in details in previous studies [6, 7].

All patients underwent triple pelvic osteotomy to restore the stability of the hip joint, taking into account the details of its performance described above. All patients underwent complex rehabilitation starting the first day after the surgery. In the mid-term follow-up period only 2 (7%) patients of group I and 1 (5%) patient of group II still had complaints of gait disorders, which, first of all, was due to the poor execution of rehabilitation procedures. Hip pain was resolved in patients of both study groups. Average physiologic values of the range of motion in the operated joint were achieved in all patients (Table 1).

Clinical study of the state of physiologic spinal curvature in patients of both groups showed a consistent decrease in the severity of the initial hyperlordosis. The mean values of the Oswestry disability index were $2.8 \pm 3.1\%$ and $2.4 \pm 2.6\%$ in groups I and II, respectively, which may indicate an improvement in the biomechanical state and balance in the lumbosacral spine.

Table 1

Hip goniometry values at mid-term follow-up, deg., M±SD

Motion	Group I	Group II
Flexion	113±3	115±2
Abduction	39±3	28±3
Internal rotation	42±3	18±3
External rotation	45±4	35±3

Average values describing the anatomy and orientation of the acetabulum, as well as the stability of the hip joint as a whole, were within reference values in all patients after radical surgical correction of the pelvic component and elimination of hip instability after triple pelvic osteotomy. The absence of significant defects in the correction of the acetabular fragment position in both frontal and horizontal planes after triple pelvic osteotomy demonstrates the high efficiency of the application of individual guides for the reduction to ensure the optimal position of the acetabulum (Table 2).

Analysis of the results showed 95% identity between the planned and achieved correction of the acetabular fragment after performing the reduction reorientation maneuver, which is especially relevant in patients with dysplastic hip instability due to the need for multiplanar correction (Fig. 3).

The study of the values of pelvic indices, the values of physiologic spine curvatures and their correlations in group I patients showed that the correction of hip subluxation with posterior translation of the acetabulum by triple pelvic osteotomy resulted in a significant decrease in the values of the pelvic incidence, as well as a decrease in the values of the sacral slope to its normal value in the asymptomatic population. As a result of the surgery, the initially existing lordosis (hyperlordosis) of the lumbar spine approached physiological normal values. The values of the spine-sacral angle did not differ from those of healthy children. This indicates not only the return of the trunk as a whole to the mid-sagittal line in relation to the pelvis, but also the derotation of the

Table 2

Main X-ray parameters of the anatomical structure and stability of the hip, sagittal balance in patients of both groups

Parameter	Group I, M±SD Me (Q1–Q3)	Group II, M±SD Me (Q1–Q3)	Reference values in asymptomatic population of children [18, 19, 20]
Sharp angle, deg.	36.2±4.8 36 (32–40)	34.0±3.3 34 (30.8–35.5)	35–45
Wiberg angle, deg.	32.7±3.9 33 (30–35)	35.4±4.0 36 (32.0–38.5)	25–40
BC, %	93.3±5.9 95 (90–100)	98.5±2.4 100 (95–100)	85–100
ARI, %	4.8±3.2 5 (3–6)	3.0±3.0 2.2 (1–5)	до 20

End of Table 2

Main X-ray parameters of the anatomical structure and stability of the hip, sagittal balance in patients of both groups

Parameter	Group I, M±SD Me (Q1–Q3)	Group II, M±SD Me (Q1–Q3)	Reference values in asymptomatic population of children [18, 19, 20]
NSA, deg.	141.5±5.3 141.5 (138.3–145.0)	138.5±5.8 140 (135.0–141.8)	125–145
AA, deg.	35.5±3.7 36.7 (32.7–38.0)	15.3±2.0 15 (13.3–16.0)	10–30
PI, deg.	43.1±4.0 43.2 (41.6–46.0)	44.2±5.2 44.7 (42.6–51.1)	45.4±10.7
PT, deg.	4.1±2.1 4.3 (3.0–6.3)	6.2±2.4 6 (5.7–9.0)	10.3±6.5
SS, deg.	39.0±3.6 39 (36.9–40.7)	38.0±5.6 37 (33.8–42.8)	35.4±8.1
TK, deg.	35.0±4.3 35 (32.8–37.2)	34.4±3.8 35 (31.8–36.7)	37.1±9.9
GLL, deg.	44.9±7.2 44.2 (41.3–49.3)	41.6±6.2 42.2 (35.9–46.0)	39.6±12.4
SVA, mm	0.8±10.0 0.9 (-6.6–6.6)	0.3±9.0 4.2 (-8.2–6.0)	0.1±2.3
SSA, deg.	132.8±7.0 134 (130–138)	130.5±8.3 131 (124–138)	130.4±8.1

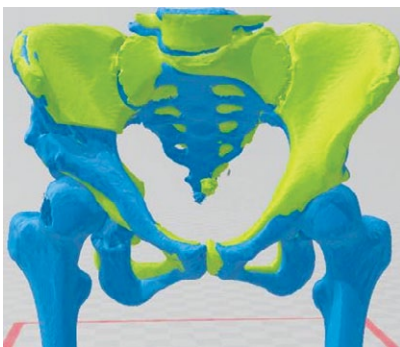


Fig. 3. Identity of planned individual (green) and achieved (blue) acetabular positions after reorienting reduction in a patient with dysplastic hip subluxation

latter from the position of excessive anteversion. At the same time, the preoperative global negative imbalance characterized by a pronounced posterior displacement of SVA in relation to the sacral promontory approached the state of neutral compensated balance, as evidenced by SVA values in the mid-term follow-up period after radical reconstructive surgery (Fig. 4).

The above-mentioned values also changed in group II patients after surgical treatment, resulting in a slight increase in the morphologic PI value and an average 6% decrease in SS values compared with initial ones. The values of all pelvic indices came close to the average values in healthy children. Due to the change in the spatial position of the pelvis in the sagittal plane, the lumbar lordosis decreased compared to the preoperative values. In addition, similarly to group I patients, the values of the spine-sacral angle did not differ from the norm, and the values of SVA came close to neutral from negative, indicating stabilization of the global balance of the trunk in the sagittal plane (Fig. 5).

The correlation analysis shown in Figure 6 revealed direct strong positive correlations between the main sagittal balance values in both study groups, indicating the restoration of kinematic links maintaining the dynamic phenomenon of sagittal balance.

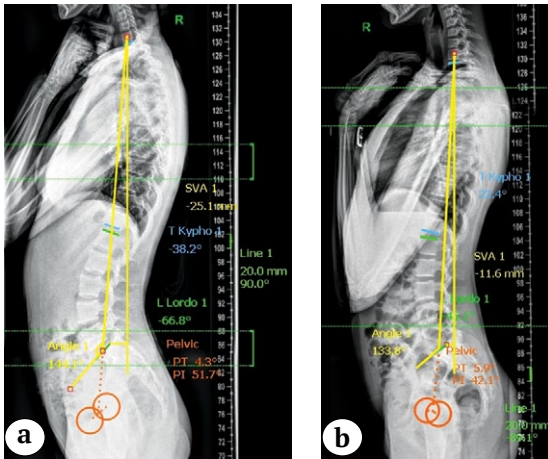


Fig. 4. Teleradiographs of the spine in the sagittal view of a 14-year-old patient with Crowe type I left hip dysplasia before radical reconstruction (a) and 38 months after (b). Explanation in the text

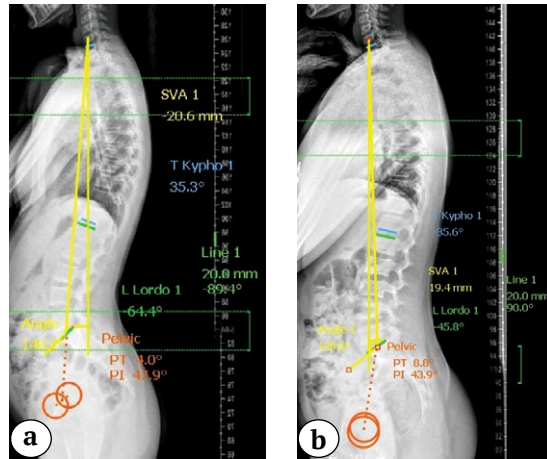


Fig. 5. Teleradiographs of the spine in the sagittal view of an 11-year-old patient with right hip subluxation as a result of LCPD before radical reconstruction (a) and 36 months after (b). Explanation in the text

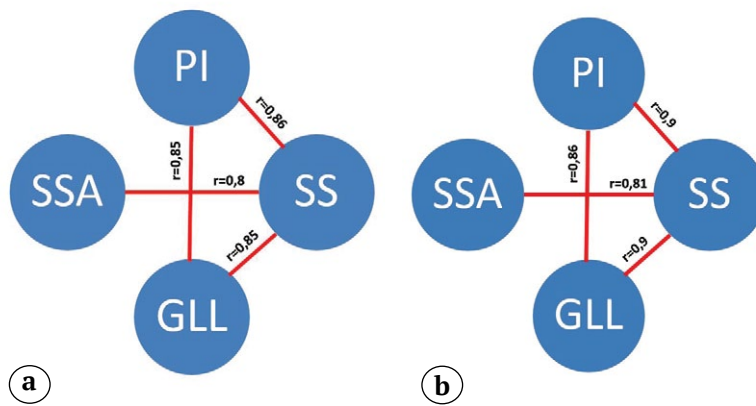


Fig. 6. Correlations between sagittal balance values in patients with hip subluxation of dysplastic genesis (a) and in case of LCPD (b)

The correlation between the main SSPB in children with Crowe grade I dysplasia in the mid-term follow-up period is shown in the results of regression analysis (Fig. 7).

The coefficient of determination (R^2) of the indicated SSPB values was higher than 0.73 and did not differ significantly from the linear and quadratic models. This brought the signs closer to the linear regression. More than 70% of the sample can be justified by this regression formula, so the approximation can be recognized as good.

Regression analysis results, indicating the correlation between the main SSPB in children with hip subluxation in LCPD at mid-term follow-up, are shown in Fig. 8.

The coefficient of determination (R^2) for SSPB was above 0.75 and did not differ significantly from the linear and quadratic models. This brought the signs closer to the linear regression. More than 75% of the sample could be justified by this regression formula, so the approximation could also be considered good.

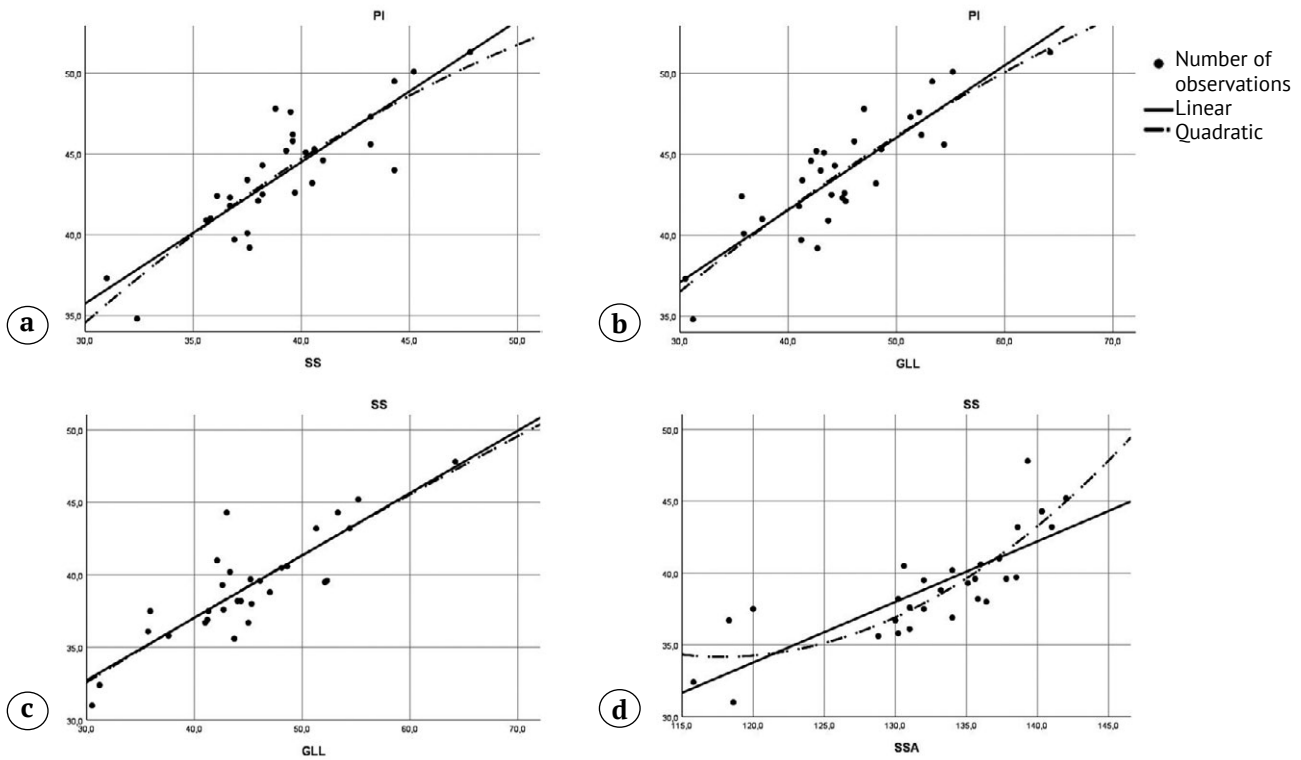


Fig. 7. Relationship between SPSB in group I patients: a – between PI and SS; b – between PI and GLL; c – between SS and GLL; d – between SSA and SS

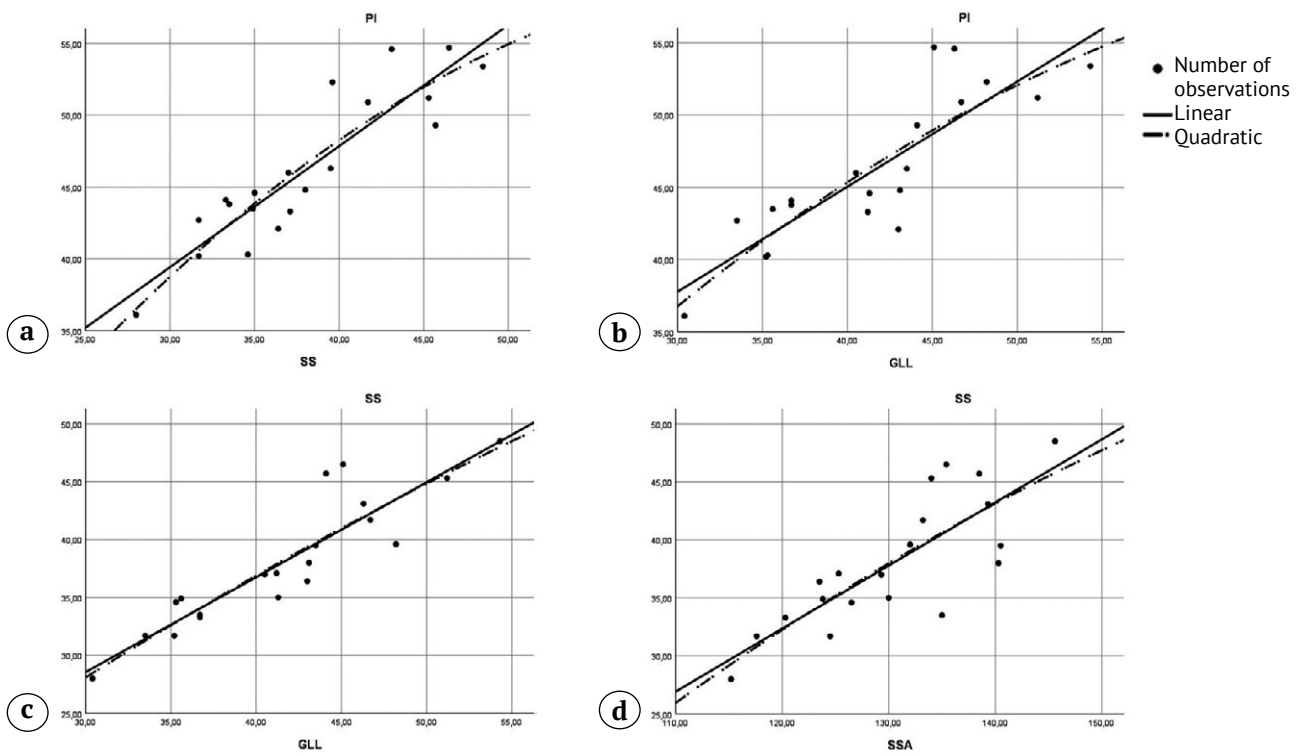


Fig. 8. Results of regression analysis showing the relationships between spino-pelvic sagittal balance in group II patients: a – between PI and SS; b – between PI and GLL; c – between SS and GLL; d – between SSA and SS

On the basis of the obtained data, we can conclude that due to achievement of the optimal individual position of the acetabulum and restoration of stability of the hip joint in general, all patients have transformed the hyperlordotic type of vertical posture into a harmonious one, according to the improved classification of P. Rousouly [21], in which the occurrence and course of degenerative-dystrophic changes in the lumbosacral spine will not differ from similar processes in the asymptomatic people.

DISCUSSION

Since the first detailed description of SSPB followed by the identification of possible ways of lumbar lordosis formation, on which the type of human vertical posture depends, the interest of the world orthopedic community in this topic has been growing annually [5, 22]. Currently, the literature details possible variants of sagittal balance changes in adult patients with various orthopedic spine diseases, femoroacetabular impingement, and hip osteoarthritis [23, 24, 25, 26, 27]. Moreover, there are studies on the nuances of acetabular component positioning during the performance of total hip arthroplasty that depend on SSPB [28, 29, 30, 31].

Nowadays, there are few publications on the state of sagittal balance in children with various pathologies of the musculoskeletal system [6, 7, 32, 33, 34, 35]. At the same time, the studies devoted to changes in the state of SSPB after reconstructive surgeries are sporadic [13, 36].

In one of the studies, dedicated to evaluation of changes in SSPB and vertical posture after transposition of the greater trochanter in patients with its hypertrophy, I.Yu. Pozdnyukov et al. concluded that this operation led to a decrease in excessive pelvic anteversion and hyperlordosis. As a result, the hyperlordotic vertical posture changes into a harmonious one [36]. At the same time, such changes in the type of lumbar lordosis, in our opinion, are primarily associated with changes in the biomechanics of the gluteus medius muscle, since PI values in this category of patients had no differences both before and after surgery.

We found the only article dedicated to assessment of the possibilities of surgical balance correction in children with hip instability [13]. According to the results of the study, the authors conclude that various reconstructive surgeries on the pelvic and femoral articular components result in the reduction of the existing hyperlordosis by decreasing PI values. However, it should be noted that the different nosological and age groups of patients, the presence of various types of contractures in the hip joint, and the performance of corrective osteotomy of the femur in the vast majority of cases did not allow us to adequately assess the true impact of the techniques of surgical stabilization of the hip on the change in SSPB and vertical posture. In addition, no patient with hip instability of dysplastic etiology underwent triple pelvic osteotomy.

In our study, different approaches to triple pelvic osteotomy in patients with hip subluxation of different genesis allowed to significantly affect SSPB and vertical posture. In particular, in patients with Crowe grade I dysplasia, adequate antero-superior coverage of the femoral head combined with posterior translation of the acetabulum led to a decrease in PI, SS, SSA, and lumbar lordosis values until they reached the physiologic normal values.

These results confirm the findings of a team of authors from Japan, who found that the patients with acetabular dysplasia were characterized by pelvic anteversion and hyperlordosis, and anterior and external rotation of the acetabulum contributed to the reduction of the latter and was preventive for the development of "hip-spine" syndrome [37].

In addition, according to the correlation analysis, the direct positive correlation between PI and SS increased from 0.3 to 0.86, which may indicate the restoration of complex kinematic links in the system "hip joints - lumbar spine". In patients with subluxation of the femur in LCPD, the reorientation of the acetabulum, taking into account its normal development, during triple pelvic osteotomy was performed strictly in an external direction in order to achieve a BC of at least 95% according to the basic principle of "containment therapy" in this category of patients [38, 39, 40].

As a result of the surgical intervention, there were no significant changes in PI values, while SS, SSA and lumbar lordosis values reached the average physiologic levels. Correlation analysis showed an increase in the direct positive correlation between PI and GLL from 0.6 to 0.9, which also indicates the restoration of links in the kinematic system "hip joints - lumbar spine". Patients in both study groups showed a persistent tendency to transform the negative imbalance into a neutral one, as evidenced by the dynamics of changes in SVA values. In addition, regardless of the etiology of hip subluxation after surgical stabilization of the hip, taking into account the features of its performance, there was a conversion of the hyperlordotic type of vertical posture into a harmonious type, which enables prevention of the development of "hip-spine" syndrome and early degenerative dystrophic changes in the lumbosacral spine in this category of patients.

CONCLUSIONS

Analysis of mid-term results of surgical treatment of children with hip instability in the form of hip subluxation and Legg-Calvé-Perthes disease using 3D modeling and prototyping of individual guides showed that the triple pelvic osteotomy leads to the reduction of both excessive pelvic anteversion and lumbar hyperlordosis. The achieved optimal correction of the acetabulum with restoration of hip stability ensured the transformation of the physiologically disadvantageous hyperlordotic type of vertical posture into a harmonious one, which is confirmed by bringing the main radiographic parameters of sagittal balance closer to the values in the asymptomatic population of children.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bortulev P.I. — study concept and design, data collection and processing, literature search and analysis, writing the article.

Vissarionov S.V. — study design, drafting the article.

Barsukov D.B. — data collection and processing, drafting the article.

Pozdnikin I.Yu. — data collection and processing, drafting the article.

Poznovich M.S. — data collection and processing, drafting the article.

Baskaeva T.V. — data collection, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budget financing.

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, protocol No 21-4, 22.11.2021.

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

REFERENCES

1. Vaz G., Roussouly P., Berthonnaud E., Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J.* 2002;(11):80-87. doi: 10.1007/s005860000224.
2. Legaye J., Duval-Beaupère G., Hecquet J., Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J.* 1998;7(2):99-103. doi: 10.1007/s005860050038.
3. Li Y., Sun J., Wang G. Lumbar lordosis morphology correlates to pelvic incidence and erector spinae muscularity. *Sci Rep.* 2021;11(1):802. doi: 10.1038/s41598-020-80852-7.
4. Bailey J.F., Shefi S., Soudack M., Kramer P.A., Been E. Development of Pelvic Incidence and Lumbar Lordosis in Children and Adolescents. *Anat Rec (Hoboken).* 2019;302(12):2132-2139. doi: 10.1002/ar.24209.
5. Roussouly P., Pinheiro-Franco J.L. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5 (Suppl 5):609-618. doi: 10.1007/s00586-011-1928-x.

6. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Ovechkina A.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu. Clinical and Roentgenological Criteria of Spine-pelvis Ratios in Children with dysplastic Femur Subluxation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(3):74-82. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82.
7. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y., Baskov V.E., Baskaeva T.V. et al. Evaluation of Radiological Parameters of the Spino-Pelvic Complex in Children with Hip Subluxation in Legg-Calve-Perthes Disease. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):19-28. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-19-28.
8. Farsetti P., Caterini R., De Maio F., Potenza V., Efremov K., Ippolito E. Tönnis triple pelvic osteotomy for the management of late residual acetabular dysplasia: mid-term to long-term follow-up study of 54 patients. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28(3):202-206. doi: 10.1097/BPB.0000000000000575.
9. Kamosko M.M., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Grigoriev I.V. Transposition of the acetabulum after triple pelvic osteotomy in the treatment of children with hip dysplasia. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;3(3):76-85 (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-3-76-85.
10. van Hellemond G.G., Sonneveld H., Schreuder M.H., Kooijman M.A., de Kleuver M. Triple osteotomy of the pelvis for acetabular dysplasia: results at a mean follow-up of 15 years. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(7):911-915. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.15307.
11. Saqib M., Salman M., Hayat S., Khan M.A., Ullah S. Developmental Dysplasia Of The Hip In Older Children; Prospects Of Functional And Radiological Outcome Following A Single Stage Triple Procedure. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2019;31(3):427-431.
12. de Kleuver M., Kooijman M.A., Pavlov P.W., Veth R.P. Triple osteotomy of the pelvis for acetabular dysplasia: results at 8 to 15 years. *J Bone Joint Surg Br*. 1997;79(2):225-229. doi: 10.1302/0301-620x.79b2.7167.
13. Leunig M., Ganz R. The evolution and concepts of joint-preserving surgery of the hip. *Bone Joint J*. 2014; 96-B(1):5-18. doi:10.1302/0301-620X.96B1.32823.
14. Camurcu I.Y., Yildirim T., Buyuk A.F., Gursu S.S., Bursali A., Sahin V. Tönnis triple pelvic osteotomy for Legg-Calve-Perthes disease. *Int Orthop*. 2015;39(3):485-490. doi: 10.1007/s00264-014-2585-6.
15. Rosello O., Solla F., Oborocianu I., Chau E., ElHayek T., Clement J.L. et al. 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.
16. Pailhé R., Cavaignac E., Murgier J., Cahuzac J.P., de Gauzy J.S., Accadbled F. Triple osteotomy of the pelvis for Legg-Calve-Perthes disease: a mean fifteen year follow-up. *Int Orthop*. 2016;40(1):115-122. doi: 10.1007/s00264-015-2687-9.
17. Chelpachenko O.B., Zherdev K.V., Fisenko A.P., Butenko A.S., Yatsyk S.P., Dyakonova E.Yu. et al. Surgical correction of trunk balance in spinal deformities and in instability of hip joints. *Russian Journal of Pediatric Surgery*. 2020;24(4):256-265. (In Russian). doi: 10.18821/1560-9510-2020-24-4-256-265.
18. Kamosko M.M., Baindurashvili A.G. Dysplastic coxarthrosis in children and adolescents (clinic, pathogenesis, surgical treatment). St. Petersburg: SpetsLit; 2010. p. 54-72.
19. Direito-Santos B., França G., Nunes J., Costa A., Rodrigues E.B., Silva A.P. et al. Acetabular retroversion: Diagnosis and treatment. *EFORT Open Rev*. 2018 12;3(11):595-603. doi: 10.1302/2058-5241.3.180015.
20. Hesarikia H., Rahimnia A., Emami Meybodi M.K. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults. *Minerva Ortop Traumatol*. 2018;69(2):44-48. doi: 10.23736/S0394-3410.18.03867-5.
21. Chevillotte T., Chan S.K., Grobost P., Laouissat F., Darnis A., Silvestre C. et al. Quantifying the Spinal Lordosis Ratio Unique to the Type of Spinal Sagittal Alignment in a Normal Population. *Global Spine J*. 2022;21925682221133748. doi: 10.1177/21925682221133748.
22. Duval-Beaupère G., Robain G. Visualization on full spine radiographs of the anatomical connections of the centres of the segmental body mass supported by each vertebra and measured in vivo. *Int Orthop*. 1987;11(3):261-269. doi: 10.1007/BF00271459.
23. Soydan Z., Bayramoglu E., Altas O. The Impact of Spinopelvic Alignment on the Facet Joint Degeneration. *Global Spine J*. 2023. A head of print. doi: 10.1177/21925682231162813.
24. Cho Y., Jo D.J., Hyun S.J., Park J.H., Yang N.R. From the Spinopelvic Parameters to Global Alignment and Proportion Scores in Adult Spinal Deformity. *Neurospine*. 2023;20(2):467-477. doi: 10.14245/ns.2346374.187.
25. Labelle H., Mac-Thiong J.M., Roussouly P. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5(Suppl 5):641-646. doi: 10.1007/s00586-011-1932-1.
26. Burton D.A., Karkenny A.J., Schulz J.F., Hanstein R., Gomez J.A. Sagittal spinopelvic changes after posterior spinal fusion in adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop*. 2020;14(6):544-553. doi: 10.1302/1863-2548.14.200155.

27. Rivière C., Hardijzer A., Lazennec J.Y., Beulé P., Muirhead-Allwood S., Cobb J. Spine-hip relations add understandings to the pathophysiology of femoro-acetabular impingement: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(4):549-557. doi: 10.1016/j.otsr.2017.03.010.
28. Batra S., Khare T., Kabra A.P., Malhotra R. Hip-spine relationship in total hip arthroplasty — Simplifying the concepts. *J Clin Orthop Trauma.* 2022;29:101877. doi: 10.1016/j.jcot.2022.101877.
29. Louette S., Wignall A., Pandit H. Spinopelvic Relationship and Its Impact on Total Hip Arthroplasty. *Arthroplasty Today.* 2022;17:87-93. doi: 10.1016/j.artd.2022.07.001.
30. Mancino F., Cacciola G., Di Matteo V., Perna A., Proietti L., Greenberg A. et al. Surgical implications of the hip-spine relationship in total hip arthroplasty. *Orthop Rev (Pavia).* 2020;12(Suppl 1):8656. doi: 10.4081/or.2020.8656.
31. Zagra L., Benazzo F., Dallari D., Falez F., Solarino G., D'Apolito R. et al. Current concepts in hip-spine relationships: making them practical for total hip arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2022;7(1):59-69. doi: 10.1530/EOR-21-0082.
32. Kuleshov A.A., Vetrile M.S., Zakharin V.R., Ovsyankin A.V., Kuzminova E.S., Lisyansky I.N. et al. Comparative characteristics of sagittal balance in normal children and with spondylolisthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2021;29(1):25-33. (In Russian). doi: 10.17816/vto105177.
33. Prudnikova O.G., Aranovich A.M. Clinical and radiological aspects of the sagittal balance of the spine in children with achondroplasia. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2018;(6)4:6-12. (In Russian). doi: 10.17816/pToRS646-12.
34. Abelin K., Vialle R., Lenoir T., Thévenin-Lemoine C., Damsin J.P., Forin V. The sagittal balance of the spine in children and adolescents with osteogenesis imperfecta. *Eur Spine J.* 2008;17(12):1697-1704. doi: 10.1007/s00586-008-0793-8.
35. Barsukov D.B., Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Pozdnykin I.Yu., Baskayeva T.V. Evaluation of radiological indices of the spine and pelvis ratios in children with a severe form of slipped capital femoral epiphysis. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2022;10(4):365-374. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS111772.
36. Pozdnykin I.Y., Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Baskaeva T.V. Changes in sagittal vertebral-pelvic ratios in children with a high position of the large trochanter after surgical treatment. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2023;11(3):315-326. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS472122.
37. Okuzu Y., Goto K., Okutani Y., Kuroda Y., Kawai T., Matsuda S. Hip-Spine Syndrome: Acetabular Anteversion Angle Is Associated with Anterior Pelvic Tilt and Lumbar Hyperlordosis in Patients with Acetabular Dysplasia: A Retrospective Study. *JBJS Open Access.* 2019;4(1):e0025. doi: 10.2106/JBJS.OA.18.00025.
38. Ziebarth K., Kaiser N., Slongo T. Triple osteotomy for patients with Legg-Calve-Perthes disease. *Oper Orthop Traumatol.* 2022;34(5):323-332. (In German). doi: 10.1007/s00064-022-00784-5.
39. 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.
40. Slongo T., Ziebarth K. Femoral head reduction osteotomy to improve femoroacetabular containment in Legg-Calve-Perthes disease. *Oper Orthop Traumatol.* 2022;34(5):333-351. (In German). doi: 10.1007/s00064-022-00779-2.

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

Dmitriy 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

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

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



Osteonecrosis of the Femoral Head: Another Legacy of COVID-19?

Alexey A. Myasoedov¹, Igor I. Shubnyakov¹, Andrei P. Sereda^{1,2}, Vitaliy V. Karelkin¹, Elizaveta A. Yunkina¹, Georgiy V. Berezin¹

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. Recovery from COVID-19 does not always proceed without complications, especially in patients who have suffered severe forms of the disease. Most researchers confirm a significant increase in the incidence of osteonecrosis of the femoral head (ONFH) after COVID-19. However, there is no clear opinion on the individual aspects of the development and course of the disease. This is an extremely important issue that allows us to identify the main risk groups for the development of post-COVID-19 osteonecrosis and, consequently, to perform the earliest possible screening of this complication.

Aims of the study: 1) To evaluate the impact of the past COVID-19 on epidemiologic parameters and clinical course of osteonecrosis of the femoral head in patients; 2) to study the causes of its development.

Methods. We have analyzed the data of medical histories of 674 patients diagnosed with osteonecrosis of the femoral head who sought medical care in 2018 and in 2022. Patients were divided into 4 groups according to the presumed causes of development of the disease. The first group enrolled 183 patients who underwent COVID-19 and received steroid therapy (ST). The second group included 78 patients who underwent COVID-19 without ST therapy. The third group consisted of 103 patients with ONFH that manifested in 2022 without COVID-19 in the previous medical history. The comparison group was made up of 310 patients who developed ONFH in 2018 before the appearance of the SARS-CoV-2 virus.

Results. The sample of patients with COVID-19-associated osteonecrosis differed significantly from patients without COVID-19, in terms of gender, age, time of disease onset, extent of the femoral head damage, and disease progression rate ($p < 0.001$). The level of early ONFH diagnosis was extremely low, not differing from that in the pre-pandemic period.

Conclusions. The COVID-19 pandemic has increased the incidence of ONFH, significantly modifying both its epidemiology and clinical picture. Nevertheless, the vigilance of practitioners remains extremely low, which affects the timely diagnosis of the disease.

Keywords: COVID-19, osteonecrosis of the femoral head, avascular necrosis, diagnosis of osteonecrosis, steroids.

Cite as: Myasoedov A.A., Shubnyakov I.I., Sereda A.P., Karelkin V.V., Yunkina E.A., Berezin G.V. Osteonecrosis of the Femoral Head: Another Legacy of COVID-19? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):49-58. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16764>.

✉ Alexey A. Myasoedov; e-mail: myasoedov_alexei@mail.ru

Submitted: 04.10.2023. Accepted: 12.12.2023. Published: 15.12.2023.

© Myasoedov A.A., Shubnyakov I.I., Sereda A.P., Karelkin V.V., Yunkina E.A., Berezin G.V., 2023



Остеонекроз головки бедренной кости — еще одно наследие COVID-19?

А.А. Мясоедов¹, И.И. Шубняков¹, А.П. Середа^{1,2}, В.В. Карелкин¹, Е.А. Юнкина¹, Г.В. Березин¹

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

Актуальность. Выздоровление после COVID-19 не всегда проходит без осложнений, особенно у пациентов, перенесших тяжелые формы заболевания. Большинство исследователей подтверждают значительный рост частоты развития остеонекроза головки бедренной кости (ОГБК) вследствие перенесенного COVID-19. При этом нет четкого мнения относительно индивидуальных аспектов развития и течения заболевания. Это является крайне важным моментом, позволяющим выделить основные группы риска развития остеонекроза после перенесенного COVID-19 и, как следствие, осуществить максимально ранний скрининг данного осложнения.

Цели исследования: 1) оценить влияние перенесенного COVID-19 на эпидемиологические показатели и клиническое течение остеонекроза головки бедренной кости у пациентов; 2) изучить причины его развития.

Материал и методы. Проанализированы данные медицинской документации 674 пациентов с диагнозом «остеонекроз головки бедренной кости», обратившихся за медицинской помощью в 2018 и в 2022 гг. Пациенты были разделены на 4 группы по предполагаемым причинам развития заболевания: первая группа — 183 пациента, перенесших COVID-19 и получавших лечение глюкокортикостероидами (ГКС); вторая группа — 78 пациентов, перенесших COVID-19 без терапии ГКС; третья группа — 103 пациента с ОГБК, дебютировавшем в 2022 г. и без COVID-19 в анамнезе. Четвертую группу (сравнения) составили 310 пациентов, у которых ОГБК развился в 2018 г., до появления вируса SARS-CoV-2.

Результаты. Пациенты с остеонекрозом, ассоциированным с COVID-19, значительно отличались от пациентов, не болевших COVID-19, по полу, возрасту, срокам дебюта заболевания, объему поражения головки бедренной кости и скорости течения патологического процесса ($p < 0,001$). Уровень ранней диагностики ОГБК был крайне низким, не отличаясь от такового в допандемийный период.

Заключение. Пандемия COVID-19 привела к увеличению частоты ОГБК, серьезно изменив как его эпидемиологию, так и клиническую картину. Тем не менее настороженность практикующих врачей остается крайне низкой, что сказывается на своевременной диагностике заболевания.

Ключевые слова: COVID-19, остеонекроз головки бедренной кости, аваскулярный некроз, кортикостероиды.

Для цитирования: Мясоедов А.А., Шубняков И.И., Середа А.П., Карелкин В.В., Юнкина Е.А., Березин Г.В. Остеонекроз головки бедренной кости — еще одно наследие COVID-19? *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):49-58. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16764>.

Мясоедов Алексей Андреевич; e-mail: myasoedov_alexei@mail.ru

Рукопись получена: 04.10.2023. Рукопись одобрена: 12.12.2023. Статья опубликована: 15.12.2023.

© Мясоедов А.А., Шубняков И.И., Середа А.П., Карелкин В.В., Юнкина Е.А., Березин Г.В., 2023

BACKGROUND

Osteonecrosis of the femoral head (ONFH) is a severe, rapidly progressing disease affecting mainly young people of working age. Attempts to solve the problem by performing hip arthroplasty in this case seem questionable due to their high physical activity and, as a consequence, premature failure of the artificial joint. Before the COVID-19 pandemic, the share of the discussed pathology in the structure of requests for orthopedic care, according to various sources, amounted to 5-15% of cases [1, 2]. We have identified the main risk groups for the development of ONFH, as well as the criteria for its early diagnosis, allowing the most effective use of techniques aimed at preventing or delaying hip arthroplasty [3, 4, 5]. Unfortunately, the new coronavirus infection has changed this situation, as evidenced by the constant increase in the number of publications devoted to this topic [6, 7]. When analyzing them, we have found a number of interesting features that make it difficult to systematize the information obtained.

Some authors suggest a diametrically opposite approach when highlighting the key points of the studies. Thus, a number of authors underline the importance of the isolated problem of the increased incidence of COVID-19-associated ONFH [7, 8]. Others focus not on the increase in incidence, but on the aggressive course of ONFH in the category of patients being considered [9, 10]. At the same time, the main mechanism of vascular thrombosis in the femoral head remains unclear. Undoubtedly, uncontrolled use of steroids may be one of the reasons for ONFH development [11, 12, 13, 14]. The widespread use of steroids in the treatment of patients with SARS in 2003 to reduce the inflammatory infiltration of the lungs and improve oxygenation led to the subsequent development of ONFH in almost a quarter of patients [15, 16]. However, we cannot exclude the possibility of direct damage to the vascular wall by the virus by analogy with the described thrombosis of various organs in meningococemia, HIV, hepatitis, rubella, and varicella [17, 18, 19, 20]. It is also worth noting that a significant part of the studies we have found are based on limited series of observations.

Aims of the study: 1) to evaluate the impact of the past COVID-19 on epidemiologic parameters

and clinical course of osteonecrosis of the femoral head in patients; 2) to study the causes of its development.

METHODS

A single-center retrospective cross-sectional study was based on the medical histories of 674 patients with confirmed non-traumatic osteonecrosis of the femoral head who had sought medical care at the Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics in 2018 and 2022.

According to the study design, the patients were divided into 4 groups. Group 1 consisted of 183 patients with ONFH due to severe form of COVID-19 that had required steroid therapy during inpatient treatment. Group 2 consisted of 78 patients with milder forms of COVID-19 treated in hospital or at home without steroids. Group 3 included 103 patients with ONFH that had developed in 2022 with no prior COVID-19 infection. Group 4 (comparison group) was made up of 310 patients who had suffered from ONFH in 2018 before the appearance of the SARS-CoV-2 virus.

Exclusion criterion for the Groups 1 and 2 was the detection of ONFH prior to COVID-19 disease. Cases of post-traumatic ONFH were exclusion criteria for all study groups.

To assess the validity of the results obtained, the first stage was to analyze the ratio of patients excluded from the study in 2022 and 2018. In parallel, the total number of ONFH cases was compared according to the year of referral.

At the second stage, an intergroup analysis was performed according to the following parameters.

1. Distribution of patients by age and gender.
2. Extent of the femoral head defect.

Calculation was based on the results of computed tomography. The average damage radius was calculated according to the formula:

$$(R_1+R_2+R_3) : N,$$

where R_1 is minimum, R_2 – mean, R_3 – maximum damage radius, respectively, N – number of measurements.

Then the size of necrosis focus was determined according to the formula:

$$4/3 \pi R^3,$$

where R is previously calculated average damage radius.

The final calculation of the ratio of the osteonecrosis focus size to the healthy bone tissue was performed according to the formula:

$$(\text{focus size} / \text{head volume}) \times 100\%.$$

The foci were divided by size in accordance with the classification of M.E. Steinberg: up to 15% of the femoral head volume – small, 15-30% - medium, more than 30% – large [21].

3. The rate of pathologic process progression was assessed by the duration of the "lucid interval" from the appearance of primary pain syndrome caused by bone marrow edema to the development of secondary pain syndrome, which is a marker of impression fracture of the loaded pole of the femoral head.

4. Period from COVID-19 (from the onset of coronavirus infection according to medical records) to the onset of primary hip pain for Groups 1 and 2. This indicator was not monitored for patients in Groups 3 and 4.

At the third stage of the study, the criteria influencing early diagnosis were evaluated:

- awareness of COVID-19 patients about the risks of developing ONFH;
- frequency of patients' referral at the onset of the first symptoms of disease;
- frequency of diagnosing the disease at the first visit;
- time and reasons for delayed diagnosis, provided that the patient was referred timely.

Statistical analysis

Calculations were performed in Excel for Windows (Microsoft, USA) and SPSS v. 26.0 software. Descriptive statistics methods were used to summarize the primary results obtained from individual patient registration cards: mathematical expectation, standard deviation, median, quartiles,

minimum/maximum. The Pearson's chi-square test, paired and unpaired Student's t-test were used for comparison of qualitative parameters. For parameters with non-normal distribution, non-parametric tests were used, in particular, the Mann-Whitney test and the Wilcoxon's test. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS

The number of patients excluded from the study according to the above-mentioned criteria relative to the total number of cases between 2022 and 2018 showed no statistically significant difference. However, a statistically significant increase in the overall incidence of ONFH was found in 2022. Also in 2022, there was a decrease in the incidence of osteonecrosis of non-traumatic genesis due to an increase in COVID-19-related ONFH cases (Table 1).

Subsequent intergroup analysis showed a quantitative predominance of patients receiving steroid therapy for COVID-19 (Group 1) over all other forms of ONFH in 2022 (Groups 2 and 3). Also, patients in Group 1 differed statistically significantly by age and gender from all other studied groups. However, there were no statistically significant differences in all the previously mentioned criteria between patients with COVID-19 without steroid therapy (Group 2), with other forms of osteonecrosis in 2022 (Group 3), and patients with ONFH in 2018 (Group 4) (Table 2).

When studying the extent of the femoral head damage, it was found that patients who had received steroids in COVID-19 treatment had exclusively large and medium-sized foci, which significantly distinguished Group 1 from all other groups, in which no statistically significant

Table 1

Comparative characteristics of patients with ONFH

Parameter	2022	2018	p 2022 vs 2018
Total number of referrals, n	592	509	<0.001
Patients excluded from the study, n / %	228 / 38.5	198 / 38.9	0.503
Patients included in the study, n	364	310	<0.001
Increase in cases of non-traumatic ONFH in 2022, %	14.8	-	-
Etiology of ONFH			
COVID-19 / other causes, n	261 / 103	310	<0.001
% ratio	71.7 / 28.3	100	-

Table 2

Comparison of patients in the four groups by number of ONFH cases, gender, and age

Parameter	2022			2018	p 1 vs 2 1 vs 3 1 vs 4	p 2 vs 3	p 2 vs 4	p 3 vs 4
	Group 1 (1)	Group 2 (2)	Group 3 (3)	Group 4 (4)				
Number of cases, n	183	78	103	310		<0.001	<0.001	<0.001
Age, years	56/18	43/11	41.5/11.6	42.4/12.3		0.873	0.236	0.353
Me / interquartile range (min-max)	(21–79)	(25–58)	(27–60)	(25–57)	<0.001 in all comparisons	–	–	–
Age >50 years, n/%	134 / 73.2	9 / 11.5	12 / 11.6	35 / 11.3		0.960	0.502	0.601
Male / female n % ratio	102 / 81 55.7 / 44.3	57 / 21 73.1 / 26.9	75 / 28 72.8 / 27.2	226 / 84 72.9 / 27.1		0.786	0.202	0.516

difference in the extent of the femoral head damage was recorded. There was also a persistent tendency for the prevalence of medium-sized foci over small foci and small foci over large foci. In at least 80% of cases in Groups 2, 3, and 4, the development of large foci was associated with initial steroid therapy for comorbid pathology. In Group 1 no such tendency was noted. In turn, larger foci in patients receiving steroids for therapy of severe forms of COVID-19 led to more rapid development of impression fracture of the femoral head, whereas no statistically significant difference in this parameter was observed between Groups 2, 3, and 4 (Table 3).

When comparing Groups 1 and 2 in terms of the time elapsed from COVID-19 to the development of primary pain syndrome in the hip joint, a statistically significant relationship between the time of disease manifestation and steroid therapy was established. Thus, in patients of Group 1, the time from the moment of convalescence to the period of the first pain in the joint was shorter and varied less in contrast to Group 2. It should also be noted that several patients in Group 1 complained of primary pain syndrome occurring during COVID-19 steroid therapy, while in Group 2 such cases were absent (Table 4).

Table 3

Comparison of patients by extent of the femoral head damage, steroids intake, comorbidities, and rate of development of the femoral head impression fracture

Parameter	2022			2018	p 1 vs 2 1 vs 3 1 vs 4	p 2 vs 3	p 2 vs 4	p 3 vs 4	
	Group 1 (1)	Group 2 (2)	Group 3 (3)	Group 4 (4)					
Extent of the femoral head damage	–	24 / 30.8	31 / 30.1	93 / 30		0.541	0.338	0.526	
under 15%, n / %	103 / 56.3	43 / 55.1	57 / 55.3	171 / 55.2		0.790	0.432	0.801	
15–30%, n / %	80 / 43.7	11 / 14.1	15 / 14.6	46 / 14.8		0.756	0.371	0.534	
over 30%, n / %									
Initial steroid therapy* in case of foci >30%, n / %	6 / 7.5	8 / 81.8	12 / 80	37 / 80.4	<0.001 in all comparisons	<0.001	<0.001	0.603	
Time to an impression fracture development, months									
Me / interquartile range (min-max)	6/4.6 (3–12)	8/4.1 (3–17)	8.2/4 (3–16)	8/3.9 (3–16)		0.514	0.385	0.472	
						–	–	–	

* For diseases prior to SARS-CoV-2 infection.

As the survey showed, none of the patients who underwent COVID-19 were warned about the possibility of this complication. The vast majority of patients, regardless of the etiology of osteonecrosis, sought outpatient care at the first manifestations of the disease. Timely diagnosis of COVID-19-associated and non-COVID-19-associated ONFH was 10.6% and 10.7% of

cases, respectively. The rest of the patients were observed by neurologists with suspicion of lumbar spine pathology. In this case, the diagnosis was made only when a bright clinical picture due to the femoral head collapse developed at 4.2 and 6.0 months for COVID-19-associated and non-COVID-19-associated osteonecrosis, respectively (Table 5).

Table 4

Time to development of primary hip pain syndrome depending on steroids intake

Parameter	Group 1 (1)	Group 2 (2)	p 1vs2
Time to primary manifestations of ONFH, months Me / interquartile range (min-max)	3/5 (0-18)	8/7 (0-17)	<0.001 in all comparisons
Occurrence of hip pain during steroid therapy for COVID-19, n / %	11 / 6	0	

Table 5

Physicians' vigilance and timely diagnosis in patients with COVID-19-associated and non-COVID-19-associated osteonecrosis

Parameter	Cases of osteonecrosis with COVID-19 in medical history n = 261	Cases of non-COVID-19-associated osteonecrosis, n = 413	p
Warned about the risk of ONFH, n	0	0	-
Contacted the outpatient clinic at the first symptoms of ONFH, n / %	235 / 90	365 / 88.4	0.268
Timely diagnosis of ONFH, n / %	25 / 10.6	39 / 10.7	0.704
Observed by neurologists without suspected ONFH, n / %	210 / 89.4	326 / 89.3	0.621
Timing of diagnosis from ONFH onset, months Me / interquartile range (min-max)	4.2/1.3 (2-17)	6/2.1 (1-18)	<0.001 -

DISCUSSION

Recovery from COVID-19 is not always without complications, especially in patients who have had severe forms of the disease. In addition to general manifestations, such as weakness, dyspnea, anxiety, and depression, there are more and more frequent reports of osteonecrosis of the femoral head associated with COVID-19 [22, 23]. According to a number of authors, this is extremely alarming, as ONFH is characterized by a rapidly progressing course [24, 25]. It can easily be assumed that the increase in the number of

such patients will become a heavy burden for the health care system [26, 27]. Therefore, timely diagnosis is crucial for the treatment of early stages of osteonecrosis, allowing the preservation of the affected joint. This necessity is dictated by the indication of ischemia foci significantly exceeding 30% of the femoral head volume [13, 28]. These changes reduce the possibilities of organ-preserving treatment methods to the use of decompression only at the stage of bone marrow edema [29, 30, 31]. In turn, early screening of ONFH is almost impossible without

understanding the conditions of development and features of the clinical course of ONFH [32, 33, 34].

The COVID-19 pandemic has not only caused an increase in the overall incidence of ONFH in the patient population, but has also largely crowded out other forms of non-traumatic osteonecrosis compared to 2018. A similar trend was noted by J.O. Okewunmi et al. When analyzing over one million hip arthroplasties, they indicated a significant increase in ONFH in 2021 compared to the pre-pandemic 2016. [32]. We have found that the increased incidence of COVID-19-associated ONFH (more than 70%) occurred in patients receiving steroid therapy for severe coronavirus infection, which fully confirms the results of the study by J.O. Okewunmi et al.

A more detailed analysis revealed significant heterogeneity of COVID-19-treated patients according to the criterion of steroid intake in the acute phase of the disease. Thus, the mean age and gender of patients in the Group 2 (COVID-19 treatment without steroids) was comparable to the group of patients without coronavirus infection. Patients in Group 1 (COVID-19 + steroids) were on average significantly older. This feature was predominantly associated with atypical age of osteonecrosis development. The maximum recorded age was 79 years, whereas in other groups this parameter did not exceed 60 years. A similar trend can be observed in the study by A.V. Glukhov et al. According to their data, the frequency of ONFH after coronavirus infection in patients older than 50 years approached 30% [35]. We have revealed a tendency of ONFH development in patients over 60 years of age who had mild forms of COVID-19 but received steroids for concomitant pathology.

The extent of the femoral head damage also showed a significant difference between the first and other study groups. The patients in this group had only medium and large damage foci with no small foci, while medium and small foci were predominant in other groups. At the same time, large foci in these groups were clearly associated with steroid therapy, whereas in Group 1 (COVID-19 + steroids) no such correlation was found. It should also be noted that the patients in Group 1 developed the fracture of the loaded

pole of the femoral head significantly earlier compared to other study groups.

The study of the time of development of the primary pain syndrome from the moment of convalescence from new coronavirus infection also showed a significant difference. Patients in the first group began to feel pain syndrome much earlier than patients in other groups in which hormone therapy was not used. In addition, in the first group there were precedents of primary pain syndrome at the stage of steroid therapy, while in the second group there were no such cases.

We have been unable to find a clear association of SARS-CoV-2 virus with the development of ONFH. Nevertheless, the early onset of pain syndrome, more rapid and extensive damage to the femoral head indirectly testify to the combined effect of the virus and hormonal therapy. Again, it should be noted that steroids were used in severe forms of COVID-19, which means that the viral load and the probability of microthrombosis were higher. On this basis, patients who underwent COVID-19, especially those who required steroid therapy, should necessarily be aware of the risk of osteonecrosis and symptoms indicating the development of this disease. In this case, the earlier development of the fracture of the loaded pole of the femoral head in the first group of COVID-19 patients was probably also due to the extensive foci and, therefore, more aggressive course of the disease compared with other cases of ONFH development.

We have revealed extremely low alertness of physicians regarding the risk of this complication. Thus, despite numerous publications, the diagnosis of ONFH at the early stages in this category of patients did not exceed 11% of cases. In all other cases, the clinical picture was mistaken for lumbar spine pathology, for which patients received conservative treatment up to the development of the femoral head collapse. Therefore, it is worth highlighting that all physicians, regardless of their specialty, should be warned about the high risks and possible negative consequences of late diagnostics of ONFH. This will most likely allow early diagnosis (before the osteonecrosis focus is delimited) and treatment, enabling in some cases to count on the preservation of the damaged joint.

Limitation of the study

Our study, like most similar studies, has a significant limitation in terms of the size of the study groups, but the factors we have identified should be considered by specialists working with patients who have suffered COVID-19.

CONCLUSIONS

With the development of the COVID-19 pandemic, the structure of osteonecrosis of the femoral head has undergone significant epidemiologic, pathomorphologic, and, accordingly, clinical changes. We have managed to record a significant increase in this pathology and an increase in the average age of patients compared to the pre-pandemic values. Also in the first group, an atypical gender distribution of patients was observed. In addition, a more aggressive course of the disease was recorded due to the initially larger extent of the femoral head damage, especially in patients treated with steroids for the coronavirus infection. Nevertheless, the vigilance of practitioners remains extremely low. This approach is likely to increase the need for primary and, consequently, revision hip arthroplasty in future, significantly burdening the health care system as a whole.

DISCLAIMERS

Author contribution

Myasoedov A.A. — study concept, data analysis and interpretation, statistical analysis of results, writing the article.

Shubnyakov I.I. — data analysis and interpretation, statistical analysis of results, writing the article.

Sereda A.P. — data collection and processing, drafting the article.

Karelkin V.V. — data collection and processing.

Yunkina E.A. — data collection and processing.

Berezin G.V. — data collection and processing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

- Guidelines on hip surgery. Ed. by R. Tikhilov, I. Shubnyakov. St. Petersburg; 2014. Vol. 1. p. 155-173. (In Russian).
- Mont M.A., Cherian J.J., Sierra R.J., Jones L.C., Lieberman J.R. Nontraumatic Osteonecrosis of the Femoral Head: Where Do We Stand Today? A Ten-Year Update. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(19):1604-1627. doi: 10.2106/JBJS.O.00071.
- Hines J.T., Jo W.L., Cui Q., Mont M.A., Koo K.H., Cheng E.Y. et al. Osteonecrosis of the Femoral Head: an Updated Review of ARCO on Pathogenesis, Staging and Treatment. *J Korean Med Sci.* 2021;36(24):e177. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e177.
- Mont M.A., Salem H.S., Piuizzi N.S., Goodman S.B., Jones L.C. Nontraumatic Osteonecrosis of the Femoral Head: Where Do We Stand Today?: A 5-Year Update. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(12):1084-1099. doi: 10.2106/JBJS.19.01271.
- Korytkin A.A., Zykin A.A., Zakharova D.V., Novikova Y.S. Bone grafting enhanced by platelet-rich plasma in treatment of avascular necrosis of femoral head. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018;24(1):115-122. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-1-115-122.
- Sinha P.R., Mallick N., Sahu R.L. Avascular Necrosis of the Hip after the COVID-19 Pandemic. *J Pharm Bioallied Sci.* 2023;15(Suppl 1):S661-S664. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_87_23.
- Hassan A.A.A., Khalifa A.A. Femoral head avascular necrosis in COVID-19 survivors: a systematic review. *Rheumatol Int.* 2023;43(9):1583-1595. doi: 10.1007/s00296-023-05373-8. Epub ahead of print.
- Shetty G.M. Double Trouble-COVID-19 and the Widespread Use of Corticosteroids: Are We Staring at an Osteonecrosis Epidemic? *Indian J Orthop.* 2021;56(2):226-236. doi: 10.1007/s43465-021-00546-8.
- Dhanasekararaja P., Soundararajan D., Kumar K.S., Pushpa B.T., Rajkumar N., Rajasekaran S. Aggressive Presentation and Rapid Progression of Osteonecrosis of the Femoral Head After COVID-19. *Indian J Orthop.* 2022;56(7):1259-1267. doi: 10.1007/s43465-022-00635-2.
- Agarwala S., Vijayvargiya M., Sawant T., Kulkarni S. Bisphosphonates for Post-COVID Osteonecrosis of the Femoral Head: Medical Management of a Surgical Condition. *JBJS Open Access.* 2022;7(4):e22.00060. doi: 10.2106/JBJS.OA.22.00060.

11. Leung T., Chan A., Chan E., Chan V., Chui C., Cowling B. et al. Short-and potential long-term adverse health outcomes of COVID-19: a rapid review. *Emerg Microbes Infect.* 2020;9(1):2190-2199. doi: 10.1080/22221751.2020.1825914.
12. Mahase E. Covid-19: What do we know about «long covid»? *BMJ.* 2020;370:m2815. doi: 10.1136/bmj.m2815.
13. 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.
14. Powell C., Chang C., Naguwa S.M., Cheema G., Gershwin M.E. Steroid induced osteonecrosis: An analysis of steroid dosing risk. *Autoimmun Rev.* 2010;9(11):721-743. doi: 10.1016/j.autrev.2010.06.007.
15. Zhang S., Wang C., Shi L., Xue Q. Beware of steroid-induced avascular necrosis of the femoral head in the treatment of COVID-19-Experience and lessons from the SARS epidemic. *Drug Des Devel Ther.* 2021;15:983-995. doi: 10.2147/DDDT.S298691.
16. Guo K.J., Zhao F.C., Guo Y., Li F.L., Zhu L., Zheng W. The influence of age, gender and treatment with steroids on the incidence of osteonecrosis of the femoral head during the management of severe acute respiratory syndrome: A retrospective study. *Bone Joint J.* 2014; 96-B(2):259-262. doi: 10.1302/0301-620X.96B2.31935.
17. Edler C., Schröder A.S., Aepfelbacher M., Fitzek A., Heinemann A., Heinrich F. et al. Dying with SARS-CoV-2 infection-an autopsy study of the first consecutive 80 cases in Hamburg, Germany. *Int J Legal Med.* 2020;134(4):1275-1284. doi: 10.1007/s00414-020-02317-w.
18. Fahmy O.H., Daas F.M., Salunkhe V., Petrey J.L., Cosar E.F., Ramirez J. et al. Is microthrombosis the main pathology in coronavirus disease 2019 severity? A systematic review of the postmortem pathologic findings. *Critical Care Explor.* 2021;3(5):e0427. doi: 10.1097/CCE.0000000000000427.
19. Chacko A., Babu M., Thomas D.K. Osteonecrosis of bilateral femoral head in a post COVID-19 patient: Case report. *Int J Res Orthop.* 2021;7(3):674-678. doi: 10.18203/issn.2455-45.
20. Wichmann D., Sperhake J.-P., Lütgehetmann M., Steurer S., Edler C., Heinemann A. et al. Autopsy findings and venous thromboembolism in patients with COVID-19: a prospective cohort study. *Ann Intern Med.* 2020;173(4):268-277. doi: 10.7326/M20-2003.
21. Steinberg M.E., Hayken G.D., Steinberg D.R. A quantitative system for staging avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77:34-41.
22. Muthu S., Jeyaraman M., Selvaraj P., Jeyaraman N., Potty A.G., Gupta A. Dose-Response Meta-Analysis of Corticosteroid Effects in SARS Outbreak: A Model for Risk Stratification and Screening Strategy for Osteonecrosis of Femoral Head Post-Corticosteroid Therapy for COVID-19. *Life (Basel).* 2023;13(4):907. doi: 10.3390/life13040907.
23. Disser N.P., De Micheli A.J., Schonk M.M., Konnaris M.A., Piacentini A.N., Edon D.L. et al. Musculoskeletal Consequences of COVID-19. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(14):1197-1204. doi: 10.2106/JBJS.20.00847.
24. Takashima K., Iwasa M., Ando W., Uemura K., Hamada H., Mae H. et al. MRI screening for osteonecrosis of the femoral head after COVID-19. *Mod Rheumatol.* 2023:road095. doi: 10.1093/mr/road095.
25. Zhang S., Wang C., Shi L., Xue Q. Beware of Steroid-Induced Avascular Necrosis of the Femoral Head in the Treatment of COVID-19-Experience and Lessons from the SARS Epidemic. *Drug Des Devel Ther.* 2021;15: 983-995. doi: 10.2147/DDDT.S298691.
26. Sereda A.P., Shubnyakov I.I., Dzhavadov A.A., Mametov M.V., Tikhilov R.M. Economics of Total Hip Arthroplasty: Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(4):175-182. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1778.
27. Musil D., Šnorek M., Gallo J., Jahoda D., Stehlík J. Economic Analysis of the Costs of Hospital Stay of Patients with Infection as a Complication of Total Replacements - Part 2: Total Hip Arthroplasty. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2019;86(4):241-248. (In Czech).
28. Snowden G.T., Clement N.D., Zhang S., Xue Q., Simpson A.H.R.W. Orthopaedic long COVID - the unknown unknowns: are we facing a pandemic of avascular necrosis following COVID-19? *Bone Joint Res.* 2022;11(1): 10-11. doi: 10.1302/2046-3758.111.BJR-2021-0505.
29. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Myasoedov A.A., Irzhansky A.A. Comparison of different core decompression techniques for treatment of early stages of osteonecrosis of the femoral head. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016;22(3):7-21. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-22-3-7-21.
30. Zhao D., Zhang F., Wang B., Liu B., Li L., Kim S.Y. et al. Guidelines for clinical diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults (2019 version). *J Orthop Translat.* 2020;21:100-110. doi: 10.1016/j.jot.2019.12.004.
31. Hoogervorst P., Campbell J.C., Scholz N., Cheng E.Y. Core Decompression and Bone Marrow Aspiration Concentrate Grafting for Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Bone Joint Surg Am.* 2022;104(Suppl 2):54-60. doi: 10.2106/JBJS.20.00527.
32. Okewunmi J.O., Duey A.H., Zubizarreta N., Kodali H., Poeran J., Hayden B.L. et al. Did the COVID-19 Pandemic Coincide With an Increase in Osteonecrosis as Indication for Total Hip Arthroplasty in Older Patients? *J Arthroplasty.* 2023:S0883-5403(23)00643-5. doi: 10.1016/j.arth.2023.06.007.
33. Chen F., Hao L., Zhu S., Yang X., Shi W., Zheng K. et al. Potential Adverse Effects of Dexamethasone Therapy on COVID-19 Patients: Review and Recommendations. *Infect Dis Ther.* 2021;10(4):1907-1931. doi: 10.1007/s40121-021-00500-z.
34. Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Shmelev A.V. Pathological changes in the osteoarticular system during COVID-19 drug therapy (review of literature). *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2022;181(2):85-91. (In Russian). doi: 10.24884/0042-4625-2022-181-2-85-91.
35. Glukhov A.V., Lapukhin A.O., Gusev S.S. Early diagnosis and treatment of aseptic bone necrosis amid COVID-19 consequences. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations.* 2023;(3):29-37. (In Russian). doi: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-29-37.

Authors' information

✉ *Alexey A. Myasoedov* — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0009-0007-5995-7287>

e-mail: myasoedov_alexei@mail.ru

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>

e-mail: shubnyakov@mail.ru

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

e-mail: drsereda@gmail.com

Vitaliy V. Karelkin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0005-3020-2417>

e-mail: vvkarelkin@rniito.ru

Elizaveta A. Yunkina

<https://orcid.org/0009-0004-4087-595X>

e-mail: eazemlyanskaya@rniito.ru

Georgiy V. Berezin

<https://orcid.org/0009-0000-9331-9704>

e-mail: gvberezin@rniito.ru

Results of Surgical Treatment of Ankle and Posterior Malleolus Fractures Using Different Surgical Techniques

Gennadii D. Sergeev^{1,2}, Igor' G. Belen'kiy^{1,2}, Yurii V. Refitskii¹, Boris A. Maiorov^{1,2,3}, Viktor E. Savello^{1,3}

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, Leningrad Region, Vsevolozhsk, Russia

Abstract

Background. Almost half of the patients with ankle fractures have fracture of the posterior malleolus. Conclusions of the existing studies are contradictory and do not provide a decisive answer to the question of the need for fixation of the posterior tibial fragment.

Aim of the study – to compare the radiologic and functional outcomes of osteosynthesis of the posterior tibial fragment in unstable ankle fractures using closed reduction and minimally invasive technique and direct open reduction using posterolateral and posteromedial surgical approaches.

Methods. Prospective multicenter study enrolled 132 patients with complex ankle and posterior malleolus fractures. They were divided into three groups depending on the technique of fixation of posterior tibia. Functional and radiologic results of treatment were assessed at 12, 24, and 48 weeks after osteosynthesis. The AOFAS and Neer scales were used.

Results. Bone union occurred in all patients at an average of 8.3 ± 0.8 weeks after surgery. Analysis of postoperative CT scans showed that the use of posterior approaches provided statistically significantly more precise reduction of the fragments of posterior tibia. Functional results of patients of the second (posterolateral approach) and third (posteromedial approach) groups at 24 and 48 weeks of follow-up were statistically significantly superior to those of the first group. The median AOFAS score at 48 weeks of follow-up was 86 for group 2 patients and 90 for group 3. The median scores on the Neer scale were 88 and 94 points respectively.

Conclusions. Posterior approaches in the surgical treatment of patients with complex ankle and posterior malleolus fractures allow for more precise fragment open reduction compared to closed one. These patients also show better mid-term functional outcomes.

Keywords: ankle fracture, posterior malleolus fracture, tibia fracture, posteromedial approach, posterolateral approach.

Cite as: Sergeev G.D., Belen'kiy I.G., Refitskii Yu.V., Maiorov B.A., Savello V.E. Results of Surgical Treatment of Ankle and Posterior Malleolus Fractures Using Different Surgical Techniques. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):59-68. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16493>.

✉ Igor' G. Belen'kiy; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Submitted: 27.09.2023. Accepted: 09.11.2023. Published Online: 22.11.2023.

© Sergeev G.D., Belen'kiy I.G., Refitskii Yu.V., Maiorov B.A., Savello V.E., 2023

Результаты лечения пациентов с переломами лодыжек и заднего края большеберцовой кости с использованием различных вариантов хирургической техники

Г.Д. Сергеев^{1,2}, И.Г. Беленький^{1,2}, Ю.В. Рефицкий¹, В.Е. Савелло^{1,3},
Б.А. Майоров^{1,2,3}

¹ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

³ ГБУЗ ЛО «Всеволожская клиническая межрайонная больница», г. Всеволожск, Россия

Реферат

Актуальность. Почти у половины пациентов перелом лодыжек сопровождается повреждением заднего края большеберцовой кости (ББК). Результаты проведенных исследований противоречивы и не дают однозначного ответа на вопрос о необходимости фиксации заднего фрагмента ББК.


Цель исследования — сравнить рентгенологические и функциональные результаты различных вариантов остеосинтеза фрагмента заднего края большеберцовой кости при нестабильных переломах лодыжек с использованием заднелатерального и заднемедиального хирургических доступов.


Материал и методы. В проспективное с ретроспективной группой сравнения многоцентровое исследование включены 132 пациента со сложными переломами лодыжек и заднего отдела ББК, которые были разделены на три группы в зависимости от методики фиксации заднего края. В первой группе (70 пациентов) репозиция фрагмента заднего края ББК выполнялась закрытым способом, а его остеосинтез был выполнен малоинвазивно стягивающими винтами, проведенными в направлении спереди назад. Во второй группе (33 пациента) выполняли открытую репозицию и внутреннюю фиксацию фрагмента заднего края ББК из заднелатерального хирургического доступа. В третьей группе (29 пациентов) были выполнены открытая репозиция и остеосинтез заднего края ББК через заднемедиальный или модифицированный заднемедиальный доступ. Оценка функциональных и рентгенологических результатов лечения производилась в сроки 12, 24 и 48 нед. после операции остеосинтеза по шкалам AOFAS и Neer.

Результаты. Консолидация перелома у всех пациентов наступила в среднем через $8,3 \pm 0,8$ нед. Анализ срезов послеоперационной СКТ показал, что применение задних доступов обеспечило статистически значимо более точную репозицию фрагментов заднего края ББК. Функциональные результаты пациентов второй (заднелатеральный доступ) и третьей (заднемедиальный доступ) групп на сроках наблюдения 24 и 48 нед. статистически значимо превосходили показатели первой группы. По шкале AOFAS на сроке 48 нед. после операции медиана значений у пациентов второй группы составила 86 баллов, у пациентов третьей — 90 баллов, по шкале Neer — 88 и 94 баллов соответственно.

Заключение. Применение задних доступов при хирургическом лечении пациентов со сложными переломами лодыжек и заднего края большеберцовой кости позволяет добиться более точной открытой репозиции отломков по сравнению с закрытой. Эти пациенты демонстрируют более высокие среднесрочные функциональные результаты.

Ключевые слова: перелом лодыжек, перелом большеберцовой кости, заднемедиальный доступ, заднелатеральный доступ, остеосинтез лодыжек.

 **Для цитирования:** Сергеев Г.Д., Беленький И.Г., Рефицкий Ю.В., Савелло В.Е., Майоров Б.А. Результаты лечения пациентов с переломами лодыжек и заднего края большеберцовой кости с использованием различных вариантов хирургической техники. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):59-68. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16493>.

 Беленький Игорь Григорьевич; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Рукопись получена: 27.09.2023. Рукопись одобрена: 09.11.2023. Статья опубликована онлайн: 22.11.2023.

© Сергеев Г.Д., Беленький И.Г., Рефицкий Ю.В., Савелло В.Е., Майоров Б.А., 2023

BACKGROUND

Ankle fractures account for 4-9% of all bone fractures, with 46% of these injuries associated with the damage to the posterior malleolus [1, 2].

Although trauma surgeons have extensive experience in treating patients with comminuted ankle fractures, the need for osteosynthesis of the posterior edge of the tibia is still under discussion. The previously accepted tactics of refraining from fixation if the fragment's size is less than 25-33% of the articular surface is now giving way to the approach that all damaged structures of the ankle should be restored [3]. The results of various studies have demonstrated that the presence of a fracture of the posterior tibial edge, regardless of the size of the fragment, negatively affects treatment outcomes [3, 4].

The attempt to systematize approaches to the surgical treatment of posterior malleolus fractures has led to the creation of relatively new classifications of these injuries based on the multislice spiral computed tomography (MSCT) data. N. Haraguchi et al. proposed to divide the posterior tibial edge fractures into three types depending on the size of the fragment [5]. J. Bartoníček et al. divided these injuries into four types depending on the degree of involvement of the fibular notch in the fracture [6]. Both authors believe that all fractures of the posterior malleolus that can technically be fixed should be fixed. Only the so-called shell-shaped fractures according to the classification of N. Haraguchi or extrainsural fractures according to the classification of J. Bartoníček require fixation of the distal tibiofibular syndesmosis with a positional screw due to the lack of technical possibility to perform osteosynthesis of the posterior malleolus [5, 6].

Technically, osteosynthesis of the posterior tibial fracture can be performed using closed reduction with the anterior-posterior insertion of screws or open reduction with their posterior-anterior insertion. In the scientific literature, there is no common opinion regarding the functional results of surgical treatment of such patients depending on the applied method of fixation. K. Pilskog et al. report similar results in assessing ankle joint function when using traditional and posterior approaches [1]. On the other hand, S. Erinç and N. Cam, when evaluating the functional results using the SF-36 and FAOS

scales, obtained data in favor of using posterior approaches [7].

The existence of such contradictions determined the relevance of our comparative study.

Aim of the study is to compare the radiologic and functional outcomes of osteosynthesis of the posterior tibial fragment in unstable ankle fractures using closed reduction and minimally invasive technique and direct open reduction using posterolateral and posteromedial surgical approaches.

METHODS

Study design

Type of the study: multicenter cohort prospective study with retrospective comparison group.

The study was performed on the basis of St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine and Interdistrict Clinical Hospital of Vsevolozhsk. The study enrolled 132 patients, including 31 men and 101 women, who were admitted as inpatients from January 2021 to December 2022 inclusive. Patients' mean age was 52.0 ± 14.1 years.

Inclusion criteria:

- patient age older than 18 years;
- isolated closed injury with 44B3 and 44C1.3, C2.3 and C3.3 types of fractures according to the AO/ASIF classification;
- no chronic diseases in the stage of sub- and decompensation, oncologic pathology and constant therapy with steroids;
- no more than 30 days since the injury;
- osteosynthesis of the posterior edge of the tibia, lateral and/or medial malleoli;
- possibility to evaluate short- and mid-term functional results.

Exclusion criteria:

- age under 18 years;
- ankle fractures without damage to the posterior edge of the tibia, or as part of polytrauma or multiple fractures;
- chronic diseases in the stage of sub- and decompensation, oncologic pathology or constant therapy with steroids;
- old injury;
- performed conservative treatment of the ankle fracture;
- inability to assess short- and mid-term functional results.

All patients underwent osteosynthesis of the malleoli and the posterior edge of the tibia. The groups were divided depending on the method of reduction of the fragment of the posterior edge of the tibia and the surgical approach used for fixation. On admission to the hospital, all patients underwent conventional X-ray examination in two views and multislice spiral computed tomography (MSCT) to clarify the fracture pattern and to determine the degree of involvement of the posterior tibial edge.

The first group (retrospective comparison group) included 70 patients who underwent closed reduction of the posterior edge fragment and minimally invasive osteosynthesis with anterior-posterior lag screws. This clinical group was represented by 20 (29%) males and 50 (71%) females. The mean age of the patients was 52.0 ± 14.0 years. Ankle fracture type 44B3 according to the AO/ASIF classification was diagnosed in 56 (80%) patients, type 44C1.3 in 4 (6%) patients, type 44C2.3 in 2 (3%) patients, and type 44C3.3 in 8 (11%) patients. According to the classification of J. Bartoníček, the patients were distributed as follows: 38 (54%) patients had a type 2 fracture, 20 (29%) had a type 3 fracture, and 12 (17%) had a type 4 fracture.

The second group consisted of 33 patients, including 6 (18%) men and 27 (82%) women. In this group, open reduction and internal fixation of the fragment of the posterior edge of the tibia from the posterolateral surgical approach were performed. The mean age of the patients was 52.8 ± 14.4 years. Type 44B3 fracture according to the AO/ASIF classification was diagnosed in 27 (82%) patients, type 44C3 fracture – in 6 (18%) patients. Type 2 fracture according to the classification of J. Bartoníček in this group of patients was observed in 18 (55%) cases, type 3 – in 9 (27%) and type 4 – in 6 (18%) cases.

The third group was represented by 29 patients, 5 (17%) males and 24 (83%) females. Patients in this group underwent open reduction and osteosynthesis of the posterior malleolus via the posteromedial or modified posteromedial approach. It was beyond the scope of this study to investigate the feasibility of these two posteromedial approaches for specific types of posterior edge fracture. Therefore, the patients were included in one clinical group. Of 29 patients, 17 (59%) were treated for AO/ASIF type 44B3 ankle fracture, 3 (10%) patients were

diagnosed with type 44C1, 5 (17%) with type 44C2, and 4 (14%) with type 44C3 ankle fracture. Three (10%) patients had Bartoníček type 2 fracture, 16 (55%) patients had type 3 fracture and 10 (34%) patients had a type 4 fracture according to MSCT data.

The choice of surgical approach for fixation of the posterior fragment of the tibia in patients of the second and third groups was made taking into account the MSCT images.

Surgical technique

Patients in the first group underwent surgery in the supine position. First of all, they underwent fixation of the fibula via the lateral approach with a 1/3 tubular plate and 3.5 mm screws. Then via the medial or anteromedial approach two partially threaded 4.0 mm cancellous screws were introduced to fix the medial malleolus. Closed reduction of the fragment of the posterior edge of the tibia was performed under intraoperative X-ray control. Its fixation was carried out with anterior-posterior 3.5 mm lag screws. At the final stage of the surgery, the stability of the distal tibiofibular syndesmosis was assessed by performing the intraoperative stress tests and X-rays. If necessary, a positional screw was placed.

The surgical technique applied in patients of the second and third groups is described in details in our previous works [8, 9]. We should note that the patients in the second group were placed on the operating table in the supine position for convenient posterolateral approach and fixation of the fragments of the posterior edge of the tibia and the lateral malleolus. Osteosynthesis of the posterior malleolus was performed with either 3.5 mm lag screws or a 1/3 tubular plate and 3.5 mm screws. Osteosynthesis of the medial malleolus was performed in the same patient position from the traditional medial approach with partially threaded 4.0 mm cancellous screws.

Patients of the third group were operated on in the supine position. The injured lower extremity was abducted in the hip joint and flexed in the knee joint. In this position, a posteromedial approach was performed, and the posterior and medial malleoli were fixed. After that, the injured lower limb was extended, and osteosynthesis of the lateral malleolus was carried out via traditional lateral approach. In this group, the implants were similar to those used in the patients of the second group. Intraoperative stress tests and X-ray

examination were also performed to check the condition of the distal tibiofibular syndesmosis in patients of the second and third groups, and the results were taken into account to decide whether a positional screw should be inserted.

Postoperative management

In the postoperative period, all patients were allowed to walk with additional support on crutches. During the first 6 weeks, it was recommended to limit the axial load on the operated limb, only touching the floor with the foot. From the 7th week until the fracture healing, partial weight bearing with additional support on crutches was allowed. Removal of the positional screw was performed 10-12 weeks after the osteosynthesis.

Assessment of outcomes

Control X-rays in AP and lateral views were performed 4, 8, and 10 weeks after osteosynthesis to assess the bone union. Criteria for the fibular fracture were bone callus formation and disappearance of the fracture line (bone union under conditions of relative stability) or disappearance of the fracture line (bone union under conditions of absolute stability). The criterion for the medial and posterior malleoli fractures was the disappearance of the fracture line in control X-rays.

In the early postoperative period, the patients underwent control CT on a GE Revolution CT ES 512 (General Electric, USA) to determine the accuracy of reduction and correct position of the implants. The size of the posterior edge fragment was measured using the RadiAnt DICOM Viewer software (Medixant, Poland).

During the study, we performed a comparative analysis of the following parameters: size of the posterior tibial fragment, determined in sagittal slices of MSCT; duration of surgery; duration of hospital stay; residual displacement of the posterior tibial fragment according to sagittal slices of the control MSCT; range of motions and joint function according to the AOFAS [10] and Neer [11] scales at 12, 24 and 48 weeks after the surgery.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using Statistica 8.0 software (StatSoft Inc., USA).

Populations of variables of each of the studied parameters were tested for compliance with the law of normal distribution. The Kolmogorov-

Smirnov and Shapiro-Wilk tests were used for this purpose. The distribution in the sample of the duration of surgical intervention values corresponded to the normal distribution. Therefore, the obtained results are presented as mean value with standard deviation ($M \pm \sigma$). In the samples of all other parameters the distribution differed from normal, therefore they are presented as median with lower and upper quartiles — Me (Q1; Q3). In the comparative analysis, the parameters of the second and third groups were alternately compared with the similar parameters of the first group. The parametric Student's t-test was used for variables with normal distribution. For variables with a distribution other than normal, the nonparametric Mann-Whitney U-test was used. Relative values are presented as percentages. Differences between samples were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS

The numerical values of the studied parameters as well as the calculated p values are presented in Tables 1 and 2.

The duration of hospital stay and the duration of surgery were not statistically significantly different in all three groups of patients. However, it can be noted that the surgery with the use of posteromedial approach lasted on average 12-13 minutes more than the other two variants of intervention, but this difference is statistically insignificant ($p = 0.0533$).

According to MSCT data, the patients of the first group were diagnosed with statistically significantly larger fragments of the posterior edge of the tibia -1.34 cm (1.1; 1.73).

After osteosynthesis, the residual displacement of the posterior tibial fragment in the patients of the first group was statistically significantly greater than in the patients of the second and third groups ($p = 0.0009$ and $p = 0.0004$, respectively). Radiologically detectable displacement of the posterior tibial fragment in patients of the second and third groups did not exceed 0.5 mm on average, while in case of closed reduction the average displacement amounted to 0.91 mm. It should be noted that the residual displacement exceeded 2 mm in 10 (14%) patients of the first group, while in the second group such displacement was observed in 1 (3%) patient. No patient in the third group had signs of displacement.

Table 1

Studied parameters in all groups of patients with the level of statistical significance

Parameter	Group 1	Group 2		Group 3	
		Value	p	Value	p
Duration of hospital stay, days	14.7 (10; 17)	14 (12; 20)	0.146397	13 (12; 15)	0.871732
Duration of surgery, min.	82.5±33.1	83.9±21.7	0.823438	95.5±20.2	0.053277
Size of the posterior tibial fragment, cm	1.34 (1.10; 1.73)	1.1 (0.9; 1.6)	0.014867	1.0 (0.7; 1.5)	0.000549
Residual displacement of the posterior tibial fragment after surgery, mm	0.91 (0.6; 1.5)	0.45 (0; 1.05)	0.000944	0.5 (0.2; 0.85)	0.000416

Values are presented as Me (Q1; Q3) for variables with non-normal distribution and as $M\pm\sigma$ for variables with normal distribution. Statistically significant values are highlighted in bold.

Table 2

Functional results of patients of all groups over time, Me (Q1; Q3)

Term	Parameter	Group 1	Group 2		Group 3	
			Value	p	Value	p
12 weeks	Range of motions, deg.	40 (35; 45)	45 (40; 50)	0.000213	40 (35; 45)	0.282958
	AOFAS, points	69 (65; 72)	70 (65; 76)	0.171804	67 (64; 70)	0.102455
	Neer scale, points	69 (68; 72)	70 (68; 74)	0.692336	68 (64; 70)	0.342917
24 weeks	Range of motions, deg.	65 (60; 70)	75 (65; 80)	0.000379	65 (60; 70)	0.398068
	AOFAS, points	80 (76; 82)	84 (80; 85)	0.000956	86 (82; 90)	0.000001
	Neer scale, points	78 (76; 80)	84 (80; 86)	0.000007	88 (84; 92)	0.000000
48 weeks	Range of motions, deg.	75 (70; 80)	80 (75; 85)	0.009953	80 (75; 85)	0.025007
	AOFAS, points	86 (82; 88)	86 (85; 90,5)	0.037621	90 (86; 95)	0.000155
	Neer scale, points	85 (83; 88)	88 (86; 92)	0.000050	94 (94; 96)	0.000000

Values are presented as Me (Q1; Q3) for variables with non-normal distribution and as $M\pm\sigma$ for variables with normal distribution. Statistically significant values are highlighted in bold.

Bone union was achieved in all patients at an average of 8.3 ± 0.8 weeks after osteosynthesis.

Functional assessment of the treatment results was performed at 12, 24 and 48 weeks. At 12 weeks after surgery, only patients of the second group showed statistically significantly ($p = 0.0002$) greater range of motion in the ankle. On average, this parameter was 45° (40; 50). No significant differences between the groups at this follow-up were observed according to the AOFAS and Neer scales.

Twenty-four weeks after osteosynthesis, the range of motion in the ankle in the second group was 75° (65; 80) and was statistically

significantly ($p=0.0004$) greater than in the first and third groups. When analyzing the individual questionnaires based on the AOFAS and Neer scales, we found that the scores of patients in the second group were statistically significantly ($p = 0.001$ and $p<0.001$, respectively) higher than those in the first group. The third group also had better functional results than the first group. This difference was statistically significant ($p<0.001$ for both scales).

The final examination with evaluation of the function of the operated ankle was performed 48 weeks after the surgery. At this time, the average range of motion in the second and third groups

was 80° (75; 85) and was statistically significantly ($p = 0.001$ and $p = 0.025$, respectively) greater than that of the first group patients - 75° (70; 80). When assessed by the AOFAS and Neer scales, the ankle function of patients in the second and third groups was statistically significantly better than in the first group. It should be noted that at 48 weeks, the medians of the samples of scores of the first and second groups were close (AOFAS - 86 and 86 points respectively at $p = 0.04$, Neer - 85 and 88 points respectively at $p < 0.001$). However, the analysis of the lower and upper quartile values indicates that in the second group, a greater proportion of patients demonstrated better functional outcomes.

Complications

There were no cases of infection, failure of fixation and other complications in the first group.

One patient (3%) from the second group developed a deep surgical site infection at 2 weeks, which affected the functional outcome. The patient underwent several revision surgeries and the course of etiotropic antibiotic therapy. It was decided to leave the implants until the bone union. Eighteen weeks after the osteosynthesis, the hardware was removed, and the infectious process was resolved. At 48 weeks, the range of motion in the ankle joint of the patient was 40°, and the functional scores were 52 and 46 according to the AOFAS and Neer scales, respectively.

In the third group, failure of fixation of the medial malleolus fragment and secondary displacement of the fragments were found in control X-rays of one (3%) patient 6 weeks after the surgery. However, the patient refused to undergo the second operation. On the follow-up 48 weeks after the osteosynthesis, the range of motion in the ankle joint was 60°, the AOFAS score was 56 points, and the Neer score was 50 points, which corresponds to an unsatisfactory result.

DISCUSSIONS

In the surgical treatment of ankle fractures complicated by the damage to the posterior edge of the tibia, it was conventionally considered that the posterior tibial fragment, which size is 25-33% of the articular surface, did not need fixation [1, 12, 13]. This approach was supported by biomechanical studies. Their results indicated that the posterior part of the articular surface of the tibia did not play any role in the axial load on

the ankle joint by the body weight. In this regard, its damage does not lead to biomechanical disorders in joint motions [14, 15].

The opposite point of view is confirmed by the results of other studies, which are systematized in the publication of S. Odak et al. Based on the studied publications, the authors make the following conclusion: despite the fact that the posterior tibial edge does not bear a pronounced functional load, its fracture leads to an abnormal redistribution of this load and the development of instability in the ankle joint. This may be a predisposing factor for the development of posttraumatic osteoarthritis [2]. Because of this, surgeons began to aim for full restoration of the structural integrity of the ankle joint during surgical treatment of ankle fractures with damage to the posterior malleolus [12, 16]. This approach is fully consistent with the principles of surgical treatment of intraarticular fractures [13].

Anatomical reduction of the articular surface fragments in most cases involves their manipulation under direct vision. Posteromedial, modified posteromedial and posterolateral approaches provide the best visualization with the least number of complications [17, 18]. We compared the radiologic and functional results of the surgical treatment of patients with comminuted ankle fractures using posterior approaches with the results of patients after minimally invasive osteosynthesis of the posterior malleolus and lateral and medial malleoli fractures fixed via conventional approaches. In our opinion, a comparative analysis of the values of the second and third groups is of no scientific significance. This is confirmed by the study of S. Zhong et al. where the authors demonstrated that the choice of approach should have been made on the basis of MRI data and the surgeon's clinical experience. Similar functional and radiologic results were obtained using both posteromedial and posterolateral approaches [19].

The problem of choice of the best approach for osteosynthesis in case of fractures of the posterior malleolus remains unsolved. The posteromedial approach is more convenient, as it is performed in the conventional supine position of the patient and provides visualization of 64% of the posterior surface of the tibia. The modified posteromedial approach increases this percentage up to 91. Moreover, it is convenient to perform reduction and fixation of the medial malleolus fracture

via this approach. Posterolateral approach is performed with patient in prone or decubitus position, which is less convenient. Only 40% of the posterior surface of the tibia is visualized via this approach, which is slightly less than that of posteromedial one [20]. The advantage is that the posterolateral surgical approach can also be used for osteosynthesis of a lateral malleolus fracture if the level of the fracture allows for this procedure. Thus, it seems reasonable to use the posteromedial approach when the fracture of the posterior tibia is associated with the fracture of the medial malleolus, and posterolateral approach when fracture of the posterior tibia is accompanied by the fracture of the lateral malleolus at the same level. In addition, posteromedial surgical approach is preferable when the anterolateral approach is necessary (e.g., for revision of the anterior portion of the distal tibiofibular syndesmosis), as well as in high fractures of the fibula when the posterolateral fixation is not possible. There are several posterior tibial fractures in which both posterolateral and posteromedial surgical approaches can be used for osteosynthesis. In this case, in our opinion, the choice should depend on the surgeon's preference. The main thing is that the surgery should result in the most accurate reduction of the fragment of the posterior malleolus and its stable fixation.

During the study, we found that the duration of hospital stay, as well as the duration of surgery, did not depend on the chosen surgical approach for the reduction and fixation of the posterior malleolus.

Residual displacement of the posterior tibial fragment after osteosynthesis was assessed using sagittal CT slices. A common sign of unsatisfactory reduction is the presence of a "step" of more than 2 mm between the fragments of the articular surface visualized in X-rays [8, 9, 21]. The first group of patients is characterized not only by a statistically significantly larger average residual displacement of the posterior tibial fragment after closed reduction, but also by a greater proportion of patients in whom this displacement exceeds the threshold of 2 mm. This indicates that open reduction provides better restoration of the articular surface of the ankle joint.

According to the data of foreign authors, traditional closed reduction and fixation of the posterior tibial fragment with anterior-

posterior lag screws is associated with a high frequency of unsatisfactory posterior fragment reduction [22, 23]. C. Drijfhout van Hooff et al. report that 42% of patients operated on using the conventional technique had unsatisfactory posterior fragment reduction [22]. In the study by D. Vidović et al. the results of a randomized comparative study of closed and open reduction of the posterior malleolus are presented. According to their data, incongruence of the articular surface was observed in 23% of cases with minimally invasive fixation and only in 4% of cases with reduction and osteosynthesis under direct vision [23]. E. Fernández-Rojas et al. in their study also conclude that posteromedial and posterolateral approaches are preferable for osteosynthesis of the posterior edge of the tibia [21].

Congruence of the distal articular surface of the tibia along with such factors as the initial fracture dislocation and residual subluxation of the talus after osteosynthesis is associated with a higher risk of posttraumatic osteoarthritis. According to a systematic literature review, the overall incidence of degenerative changes in the ankle joint is 33.5%. However, some authors note that the size of the posterior edge fragment does not affect the development of posttraumatic osteoarthritis [2].

We evaluated the functional results of patients in all three groups over time. The most significant difference in the AOFAS and Neer scores was observed at 24 weeks after the surgery. The median scores of patients in the second and third groups were significantly higher than in the first group. This indicates a more favorable course of the rehabilitation process in patients who underwent open reduction of the posterior tibial fragment. This statement is confirmed by the functional results of the patients of the second and third groups of our study, observed at 48 weeks postoperatively. A statistically significant superiority over the first group was observed for all corresponding functional parameters. In addition, the values of the upper quartiles of the statistics population of scores at 48 weeks postoperatively indicate that a greater proportion of the patients of the second and third groups compared to the first group showed excellent functional results (their AOFAS and Neer scores exceeded 90 points).

Foreign researchers studying the efficacy of surgical treatment of patients with malleoli and posterior tibial fractures via posterior approaches

also obtained the values similar to those of our study according to the AOFAS scale. Thus, S. Zhong et al. reported that at the follow-up period of 12 months the mean values in patients who underwent surgery via posteromedial approach were 92.5 points. In the posterolateral approach group at the same period of time, the mean score was 91.4 points [19]. L. Yang et al. evaluated the functional outcome in patients with comminuted ankle fractures after fixation of the posterior edge of the tibia via the posterolateral approach. The mean AOFAS score was 81.35 ± 6.15 at 6 months and 90.56 ± 4.98 at the final examination. The authors did not specify the time of the final examination, but based on the content of the publication, it was more than 2 years after surgery [3].

Limitations

Distribution of patients by groups was not randomized. Osteosynthesis in patients of the same study group was performed by different surgeons. The choice of surgical approach for fixation of the posterior edge of the tibia was determined by the operating surgeon on the basis of his/her skills, clinical experience, and radiologic picture. Insufficiently long follow-up period does not allow us to assess the signs of development of posttraumatic osteoarthritis.

CONCLUSIONS

The application of posterolateral or posteromedial approach for open reduction and osteosynthesis in the surgical treatment of patients with comminuted fractures of the ankle and posterior edge of the tibia allows for more accurate alignment of the fragments of the articular surface compared to closed reduction. In addition, patients who underwent surgery using posterior approaches demonstrate better mid-term functional results.

DISCLAIMERS

Author contribution

All authors made equal contributions to the study and the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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 St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, protocol No 10, 26.10.2021.

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

REFERENCES

- Pilskog K., Gote T.B., Odland H.E.J., Fjeldsgaard K.A., Dale H., Inderhaug E. et al. Traditional Approach vs Posterior Approach for Ankle Fractures Involving the Posterior Malleolus. *Foot Ankle Int.* 2021;42(4):389-399. doi: 10.1177/1071100720969431.
- Odak S., Ahluwalia R., Unnikrishnan P., Hennessy M., Platt S. Management of Posterior Malleolar Fractures: A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg.* 2016;55(1):140-145. doi: 10.1053/j.jfas.2015.04.001.
- Yang L., Yin G., Zhu J., Liu H., Zhao X., Xue L. et al. Posterolateral approach for posterior malleolus fixation in ankle fractures: functional and radiological outcome based on Bartonicek classification. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(7):4099-4109. doi: 10.1007/s00402-022-04620-0.
- Neumann A.P., Rammelt S. Ankle fractures involving the posterior malleolus: patient characteristics and 7-year results in 100 cases. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022;142(8):1823-1834. doi: 10.1007/s00402-021-03875-3.
- Haraguchi N., Haruyama H., Toga H., Kato F. Pathoanatomy of posterior malleolar fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(5):1085-1092. doi: 10.2106/JBJS.E.00856.
- Bartoníček J., Rammelt S., Tuček M. Posterior Malleolar Fractures: Changing Concepts and Recent Developments. *Foot Ankle Clin.* 2017;22(1):125-145. doi: 10.1016/j.fcl.2016.09.009.
- Erinç S., Cam N. Does it matter the fixation method of the posterior malleolar fragment in trimalleolar fractures? *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2021;88(3):204-210. (In English).
- Belen'kii I.G., Maiorov B.A., Kochish A.Y., Sergeev G.D., Refitskii Y.V., Savello V.E. et al. Posteromedial Approach in Fracture Fixation of Malleoli and Posterior Edge of Tibia. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(3): 16-28. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1800.
- Belen'kii I.G., Maiorov B.A., Kochish A.Y., Sergeev G.D., Savello V.E., Tul'chinskii A.E. et al. Unstable Fractures Osteosynthesis of Malleoli and Posterior Edge of the Tibia Using Posterolateral Surgical Approach. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(3):29-42. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-29-42.

10. 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.
11. Neer C.S. 2nd, Grantham S.A., Shelton M.L. Supracondylar fracture of the adult femur. A study of one hundred and ten cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1967;49(4):591-613.
12. Tenenbaum S., Shazar N., Bruck N., Bariteau J. Posterior Malleolus Fractures. *Orthop Clin North Am.* 2017;48(1):81-89. doi: 10.1016/j.ocl.2016.08.004.
13. Buckley R.E., Moran C.G., Apivatthakakul Th. AO principles of fracture management. Stuttgart: Thieme; 2018. 1120 p.
14. Vrahas M., Fu F., Veenis B. Intraarticular contact stresses with simulated ankle malunions. *J Orthop Trauma.* 1994;8(2):159-166. doi: 10.1097/00005131-199404000-00014.
15. Papachristou G., Efstathopoulos N., Levidiotis C., Chronopoulos E. Early weight bearing after posterior malleolar fractures: an experimental and prospective clinical study. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(2):99-104. doi: 10.1016/s1067-2516(03)70009-x.
16. Voronkevich I.A., Kulik V.I., Lavrentyev A.V. Ergonomics of osteosynthesis of "trimalleolar" fracture. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2002;(1):44-46. (In Russian).
17. Wang Y., Wang J., Luo C.F. Modified posteromedial approach for treatment of posterior pilon variant fracture. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:328. doi: 10.1186/s12891-016-1182-9.
18. Arrondo G.M., Joannas G. Complex Ankle Fractures: Practical Approach for Surgical Treatment. *Foot Ankle Clin.* 2020;25(4):587-595. doi: 10.1016/j.fcl.2020.08.002.
19. Zhong S., Shen L., Zhao J.G., Chen J., Xie J.F., Shi Q. et al. Comparison of Posteromedial Versus Posterolateral Approach for Posterior Malleolus Fixation in Trimalleolar Ankle Fractures. *Orthop Surg.* 2017;9(1):69-76. doi: 10.1111/os.12308.
20. Assal M., Dalmau-Pastor M., Ray A., Stern R. How to Get to the Distal Posterior Tibial Malleolus? A Cadaveric Anatomic Study Defining the Access Corridors Through 3 Different Approaches. *J Orthop Trauma.* 2017;31(4): e127-e129. doi: 10.1097/BOT.0000000000000774.
21. Fernández-Rojas E., Herrera-Pérez M., Vilá-Rico J. Posterior malleolar fractures: Indications and surgical approaches. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2023;67(2):160-169. doi: 10.1016/j.recot.2022.10.019.
22. Drijfhout van Hooff C.C., Verhage S.M., Hoogendoorn J.M. Influence of fragment size and postoperative joint congruency on long-term outcome of posterior malleolar fractures. *Foot Ankle Int.* 2015;36(6):673-678. doi: 10.1177/1071100715570895.
23. Vidović D., Elabjer E., Muškardin I.V.A., Milosevic M., Bekic M., Bakota B. Posterior fragment in ankle fractures: anteroposterior vs posteroanterior fixation. *Injury.* 2017;48(5):S65-S69. doi: 10.1016/S0020-1383(17)30743-X.

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

Gennadii D. Sergeev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>

e-mail: gdsergeev@gmail.com

Yurii V. Refitskii

<https://orcid.org/0000-0002-6437-6424>

e-mail: yur1140@yandex.ru

Boris A. Maiorov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>

e-mail: bmayorov@mail.ru

Viktor E. Savello — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4519-4844>

e-mail: prof_savello@emergency.spb.ru



Среднесрочные результаты хирургического лечения ризартроза методами интерпозиционной и суспензионно-интерпозиционной артропластики

К.А. Егиазарян, Г.К. Парсаданян, Д.С. Ершов, М.А. Скворцова,
А.П. Ратъев, А.В. Афанасьев

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Ризартроз наиболее часто встречается у людей, чей характер труда и активности ассоциирован с нагрузкой на кисть. На начальных стадиях заболевания эффективны консервативные методы лечения, однако на более поздних стадиях основным методом лечения является оперативное вмешательство. В течение последних лет большую популярность завоевали методики резекционной интерпозиционной и резекционной суспензионно-интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава, а также их комбинации. На данный момент отсутствуют сообщения о сравнительных исследованиях эффективности этих методик по основным показателям.

Цель исследования — сравнить результаты хирургического лечения ризартроза II–IV стадий методами резекционной суспензионно-интерпозиционной артропластики и резекционной интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава.

Материал и методы. В проспективное когортное исследование было включено 85 пациентов с ризартрозом II–IV стадий, которым было выполнено 85 хирургических вмешательств за период с 2017 по 2022 г. Пациенты были разделены на две группы. В первой группе (52 пациента) выполняли резекционную суспензионно-интерпозиционную артропластику первого запястно-пястного сустава по оригинальной методике, во второй группе (33 пациента) — резекционную интерпозиционную артропластику. Эффективность хирургического лечения оценивали по результатам оценки интенсивности болевого синдрома по ВАШ, восстановления функции верхней конечности по шкале DASH, измерения расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости на рентгенограммах в прямой проекции и увеличения силы цилиндрического хвата пораженной кисти через 12 мес. после оперативного вмешательства.

Результаты. Через 12 мес. после лечения в первой группе по сравнению со второй группой показатели были лучше: на 73% по шкале DASH ($p < 0,01$); на 76% по ВАШ ($p = 0,000$), на 60% при оценке силы цилиндрического хвата ($p = 0,010$); на 30% при оценке расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости ($p < 0,01$).

Заключение. Резекционная суспензионно-интерпозиционная артропластика первого запястно-пястного сустава является более эффективной, чем резекционная интерпозиционная артропластика, по следующим показателям: купированию болевого синдрома, улучшению функции и силы цилиндрического хвата пораженной кисти, сохранению расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости.

Ключевые слова: ризартроз, остеоартроз первого запястно-пястного сустава, интерпозиционная артропластика, суспензионная артропластика, хирургия кисти.

Для цитирования: Егиазарян К.А., Парсаданян Г.К., Ершов Д.С., Скворцова М.А., Ратъев А.П., Афанасьев А.В. Среднесрочные результаты хирургического лечения ризартроза методами интерпозиционной и суспензионно-интерпозиционной артропластики. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):69-77. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17288>.

Парсаданян Гайк Каренович; e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Рукопись получена: 25.10.2023. Рукопись одобрена: 27.11.2023. Статья опубликована онлайн: 06.12.2023.

© Егиазарян К.А., Парсаданян Г.К., Ершов Д.С., Скворцова М.А., Ратъев А.П., Афанасьев А.В., 2023



Mid-Term Results of Surgical Treatment for Rhizarthrosis Using Interposition and Suspension-Interposition Arthroplasty

Karen A. Egiazaryan, Gaik K. Parsadanyan, Dmitry S. Ershov, Mariya A. Skvortsova, Andrey P. Ratiev, Aleksei V. Afanasiev

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Background. Rhizarthrosis is most commonly observed in individuals whose work and activities involve heavy use of the wrist. Conservative treatment methods are effective in the early stages of the disease, but in advanced stages, surgical intervention becomes the primary treatment approach. In recent years, resection interposition and resection suspension-interposition arthroplasty techniques for the first carpometacarpal joint have gained popularity. However, there is a lack of comparative studies on the effectiveness of these techniques based on key indicators.

The aim of this study was to compare the results of surgical treatment for stages II–IV rhizarthrosis using resection suspension-interposition arthroplasty and resection interposition arthroplasty of the first carpometacarpal joint.

Methods. This prospective cohort study included 85 patients with stages II–IV rhizarthrosis who underwent surgery between 2017 and 2022. Patients were divided into two groups. In the first group (52 patients), resection suspension-interposition arthroplasty of the first carpometacarpal joint was performed using an original technique. In the second group (33 patients), resection interposition arthroplasty was performed. The effectiveness of surgical treatment was assessed based on the intensity of pain using the Visual Analog Scale for Pain (VAS), upper limb function recovery assessed with the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand (DASH) scale, measurement of the distance between the base of the first metacarpal bone and the distal pole of the trapezium bone on anteroposterior X-rays, and an increase in grip strength of the affected hand at 12 months postoperatively.

Results. At the 12-month follow-up, the first group showed superior results compared to the second group: a 73% improvement in DASH score ($p < 0.01$); a 76% improvement in VAS ($p = 0.000$); a 60% increase in cylindrical grip strength ($p = 0.010$); and a 30% improvement in the measurement of the distance between the base of the first metacarpal bone and the distal pole of the trapezium bone ($p < 0.01$).

Conclusion. Resection suspension-interposition arthroplasty of the first carpometacarpal joint is more effective than resection interposition arthroplasty in terms of pain relief, improvement in function and grip strength of the affected hand, and preservation of the distance between the base of the first metacarpal bone and the distal pole of the trapezium bone.

Keywords: rhizarthrosis, first carpometacarpal osteoarthritis, interposition arthroplasty, suspension arthroplasty, hand surgery.

Cite as: Egiazaryan K.A., Parsadanyan G.K., Ershov D.S., Skvortsova M.A., Ratiev A.P., Afanasiev A.V. Mid-Term Results of Surgical Treatment for Rhizarthrosis Using Interposition and Suspension-Interposition Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):69-77. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17288>.

✉ Gaik K. Parsadanyan; e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Submitted: 25.10.2023. Accepted: 27.11.2023. Published Online: 06.12.2023.

© Egiazaryan K.A., Parsadanyan G.K., Ershov D.S., Skvortsova M.A., Ratiev A.P., Afanasiev A.V., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающаяся во всем мире тенденция к увеличению продолжительности жизни способствует повышению частоты заболеваний опорно-двигательного аппарата, хронической боли и инвалидности в общей популяции людей [1, 2]. К наиболее распространенным заболеваниям кисти у лиц старше 60 лет относится остеоартроз первого запястно-пястного сустава (ризартроз), который проявляется болью, слабостью и деформацией первого пальца, что значительно снижает качество жизни пациентов [3, 4]. Главной целью лечения данной патологии является купирование болевого синдрома и восстановление функции пораженного сустава. При определении тактики ведения пациентов учитываются такие факторы, как возраст, сопутствующие заболевания, профессиональные потребности и стадия течения патологического процесса [5]. Несмотря на эффективность консервативных методов лечения легкой степени ризартроза, при позднем обращении пациентов за медицинской помощью основным вариантом является хирургическое лечение [6].

За многолетнюю историю лечения ризартроза было предложено большое количество хирургических методик лечения, однако большинство из них не приводят к стойкому улучшению состояния пациентов, что объясняет отсутствие на данный момент золотого стандарта хирургического решения данной проблемы [7].

В последние годы большую популярность завоевали методики резекционной интерпозиционной и резекционной суспензионной артропластики первого запястно-пястного сустава и их комбинации. Целью этих методик является сохранение корректного положения основания первой пястной кости. Сужение расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости после изолированной трапециэктомии приводит к рецидиву болевого синдрома, укорочению мышц возвышения первого пальца и значительному сокращению продолжительности положительного эффекта лечения [8].

Существуют исследования, анализирующие результаты применения вышеописанных методик, однако они не содержат данных об одновременном сравнении таких основополагающих показателей, как болевой синдром, сила цилиндрического хвата кисти и восстановление функции верхней конечности [9, 10, 11, 12, 13].

Цель исследования — сравнить среднесрочные результаты резекционной суспензионной интерпозиционной артропластики и резекционной интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава у пациентов с ризартрозом II–IV стадий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В проспективное когортное исследование было включено 85 пациентов, госпитализированных для планового оперативного лечения ризартроза в ГКБ №29 им. Н.Э. Баумана (клинической базе кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии РНИМУ им. Н.И. Пирогова) за период с 2017 по 2022 г.

Пациенты были разделены на две группы. В первую вошли 52 человека, во вторую — 33 группы. В первой группе пациентам проводили резекционную суспензионную интерпозиционную артропластику первого запястно-пястного сустава. Во второй группе применялась резекционная интерпозиционная хирургическая техника лечения ризартроза.

Критерии включения:

- возраст пациентов от 35 до 75 лет;
- идиопатический остеоартроз первого запястно-пястного сустава кисти II–IV стадий по классификациям Eaton–Little [14] и Kellgren–Lawrence [15];
- неэффективность консервативного лечения в течение 3 и более мес.

Критерии невключения:

- посттравматический и артритический характер повреждения первого запястно-пястного сустава;
- активный воспалительный процесс в области планируемого оперативного вмешательства;
- тяжелые соматические заболевания в стадии декомпенсации;
- психические заболевания, затрудняющие продуктивный контакт пациента с врачом.

Пациенты

Пациенты были сопоставимы по возрасту, полу, стадии патологического процесса и стороне поражения ($p > 0,05$).

Характеристика пациентов первой и второй групп представлена в таблице 1.

Таблица 1

Распределение пациентов по возрасту, полу, стадии патологического процесса и стороне поражения

Показатель	Первая группа (n = 52)		Вторая группа (n = 33)	
	абс.	%	абс.	%
Пол				
мужчины	6	12	5	15
женщины	46	88	28	85
Возраст, лет				
35–50	5	9,6	4	12,1
50–60	30	57,7	20	60,6
60–75	17	32,7	9	27,3
Стадия остеоартроза первого запястно-пястного сустава по классификациям Eaton – Littler и Kellgren – Lawrence				
II стадия	9	17,3	5	15,1
III стадия	28	53,8	17	51,5
IV стадия	15	28,9	11	33,4
Сторона поражения				
правая рука	16	30,7	11	33,3
левая рука	36	69,3	22	66,7

$p > 0,05$.

Хирургическая техника

При хирургическом лечении пациентов первой группы использовалась оригинальная методика резекционной суспензионной интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава (патент на изобретение № RU 22745251 C1 «Способ хирургического лечения деформирующего артроза первого запястно-пястного сустава кисти»). В качестве сухожильного ауто трансплантата для интерпозиционного компонента артропластики использовали лучевую половину сухожилия лучевого сгибателя запястья (FCR — flexor carpi radialis). Ключевым отличием методики являлась суспензионная техника, заключающаяся в фиксации основания первой пястной кости к средней трети диафиза второй пястной кости под углом 40–50° в положении максимального отведения первого пальца с использованием нити с пуговицей, проведенной от основания первой пястной кости к середине диафиза второй пястной кости с помощью спицы-проводника.

Во второй группе выполняли резекционную интерпозиционную артропластику первого запястно-пястного сустава.

Реабилитационная программа пациентов, включенных в исследование, была одинаковой в обеих группах и проводилась под контролем специалиста по кистевой терапии.

Оценка результатов

До оперативного вмешательства, а также через 3, 6 и 12 мес. после хирургического лечения оценивали следующие параметры:

- функциональное состояние кисти — по шкале исходов и ограничения функции руки, плеча и кисти — DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure);
- интенсивность болевого синдрома — по визуальной аналоговой шкале (ВАШ);
- силу цилиндрического хвата кисти — при помощи ручного динамометра МЕГЕОН-34090 (Россия).

Для оценки расстояния между серединой основания первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости выполняли рентгенологическое исследование в прямой и боковой проекциях до оперативного вмешательства, через день и спустя 12 мес. после операции.

Минимальной клинически значимой разницей (minimal clinically important difference — MCID) для показателей ограничения дееспособности верхней конечности по шкале DASH [16] считалось уменьшение на 10,83 балла, показателей боли по ВАШ [17] — снижение на 3 балла, показателей силы цилиндрического хвата пораженной кисти [18] — увеличение на 6,5 кг.

Статистический анализ

Для анализа и статистической обработки полученных результатов использовали программу Microsoft Excel. Для количественных параметров вычисляли средние значения и стандартные ошибки средних. При оценке статистической значимости различий между исследуемыми группами использовался непараметрический критерий Манна–Уитни, при сравнении показателей одной группы на разных этапах наблюдения — критерий Уилкоксона. Критический уровень достоверности нулевой статистической гипотезы принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перед оперативным вмешательством выполнялась оценка функции пораженной кисти по шкале DASH. В первой группе данный показатель составил 45,1 балла, во второй группе — 48,5 ($p = 0,342$).

Через 3 мес. после хирургического лечения у пациентов первой группы отмечалось статистически значимое улучшение на 53% (21,3 балла) ($p < 0,01$), во второй группе — на 54,5% (22,1 балла) ($p < 0,01$), статистически значимые различия между группами отсутствовали ($p = 0,729$). По истечении 6 мес. после хирургического лечения в первой группе наблюдалось дальнейшее улучшение функциональных показателей — на 35% от исходного уровня ($p < 0,01$). Улучшение при сравнении с показателями, полученными во второй группе, составило 25% ($p = 0,001$). Однако различия по сравнению с дооперационным уровнем оказались менее существенными — на 55% ($p < 0,01$) — формирование плато в динамике показателей функции пораженной кисти. При оценке через 12 мес. с момента операции в первой группе были выявлены наилучшие показатели по шкале DASH — на 80% от исходного уровня ($p < 0,01$). Во второй группе на данном этапе улучшение оставалось статистически значимым, но составило лишь 32% ($p < 0,01$). При сравнении функциональных показателей у пациентов первой и второй групп была обнаружена статистически значимая разница, которая составила 73% ($p < 0,01$).

MCID по шкале DASH в первой группе была достигнута в 50 (96%) случаях, в то время как во второй группе — лишь в 20 (60%). Анализируя динамику показателей функции пораженной кисти в послеоперационном периоде за 12 мес. наблюдения, можно отметить, что через 3 мес. после хирургического лечения показатели в обеих группах были сопоставимы и демонстрировали клиническое улучшение. Однако в случае использования суспензионной техники (первая группа) наблюдалась дальнейшая положительная динамика, в то время как во второй группе улучшение по сравнению с дооперационным уровнем оставалось статистически значимым, однако показатели снизи-

лись по сравнению с предыдущими контрольными сроками в 3 и 6 мес.

Оценка интенсивности болевого синдрома до оперативного вмешательства по ВАШ показала, что в первой группе данный показатель составил 6,6 баллов, а во второй группе — 6,4 балла ($p = 0,373$). При определении уровня боли через 3 мес. после хирургического лечения была отмечена положительная динамика в обеих группах: в первой группе улучшение составило 75% ($p < 0,01$), во второй группе — 74% ($p < 0,01$), полученные данные сопоставимы ($p < 0,01$). Через 6 мес. после лечения было отмечено сохранение положительной динамики в первой группе: улучшение по сравнению с дооперационными показателями составило 78% ($p < 0,01$), во второй группе показатели значительно не изменились (плато) — 74% ($p < 0,01$), различия между полученными показателями (25%) носят статистически значимый характер ($p = 0,022$). При контрольном исследовании через 12 мес. в первой группе уровень болевого синдрома составил 16% от исходного ($p < 0,01$), во второй группе — 58% ($p < 0,01$). Различия между исследуемыми группами оставались статистически значимыми, результаты в первой группе оказались в 4,2 раза лучше показателей, полученных во второй группе ($p < 0,01$). В первой группе за 12 мес. наблюдения MCID по ВАШ была достигнута у 50 (96%) пациентов, в то время как во второй группе — у 16 (53%). Анализ показателей интенсивности болевого синдрома в период наблюдения демонстрирует аналогичную динамику: через 3 мес. после хирургического лечения показатели в обеих группах были сопоставимы. Однако в последующем в первой группе наблюдалось дальнейшее улучшение показателей, в то время как во второй группе, несмотря на статистически значимое улучшение по сравнению с дооперационным уровнем, происходило постепенное усиление болевого синдрома в сравнении с ранее полученными послеоперационными результатами.

При поступлении в стационар также было выполнено измерение силы цилиндрического хвата кисти при помощи ручного динамометра: в первой группе данный показатель составил 15,7 кг, во второй группе — 15,4 кг ($p = 0,325$). Через 3 мес. после оперативного вмешательства в первой группе улучшение составило 20% от исходного уровня ($p < 0,01$), во второй группе — 25% ($p = 0,001$), различия между группами носили статистически незначимый характер ($p = 0,011$). При повторном исследовании (6 мес.) было обнаружено, что в первой группе сила цилиндрического хвата пораженной кисти увеличилась на 33% от исходного уровня ($p < 0,01$), в то время как во второй группе — на 20% ($p = 0,002$), показатели были сопоставимыми ($p = 0,013$). В первой группе сила цилиндрическо-

го хвата пораженной кисти достигла своего максимального значения через 12 мес. наблюдения и составила 26,2 кг, улучшение составило 67% от дооперационного показателя ($p = 0,006$). Во второй группе сила цилиндрического хвата составила 16,4 кг (на 7% выше исходного) ($p = 0,357$). При сравнении полученных данных было показано, что в первой группе сила цилиндрического хвата пораженной кисти оказалась выше на 60%, чем во второй группе ($p = 0,010$). MCID относительно показателей силы пораженной кисти в первой группе была достигнута у 32 (61%) пациентов, во второй группе — только у одного пациента (3%). Анализ показателей силы цилиндрического хвата пораженной кисти при помощи ручного динамометра спустя 12 мес. показал сходные изменения: в первой группе наблюдается прогрессирующее улучшение силовых показателей в течение всего послеоперационного периода, в то время как во второй группе сперва отмечается улучшение (3 и 6 мес.), а к концу наблюдения показатели были сопоставимы с результатами, полученными до проведенного хирургического лечения.

При оценке расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости перед хирургическим лечением были получены следующие показатели: в первой группе = 14,6 мм, во второй группе = 14,8 мм ($p = 0,979$). При контрольном рентгенологическом исследовании через 12 мес. после оперативного вмешательства в первой группе данный показатель составил 12,8 мм, т.е. на 12,3% меньше исходного значения ($p = 0,887$), во второй группе — 9 мм, т.е. на 38,8% ниже по сравнению с дооперационным уровнем ($p = 0,556$). При сравнении полученных результатов было выявлено, что в первой группе показатели оказались лучше полученных во второй группе на 30%, различия между ними были статистически значимыми ($p < 0,01$). Полученные данные свидетельствуют об эффективности применения резекционной суспензионной интерпозиционной артропластики с точки зрения сохранения расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости в течение 12 мес. послеоперационного наблюдения.

Отрицательную динамику результатов во второй группе (без суспензионной методики) можно объяснить постепенной проксимальной миграцией основания первой пястной кости и прогрессирующим уменьшением расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости ввиду отсутствия прочной механической опоры (фиксатора), последующим укорочением мышц возвышения первого пальца, особенно приводящей мышцы, уменьшением объема движений и рецидивированием болевого синдрома [19].

ОБСУЖДЕНИЕ

Ризартроз, как правило, встречается у пожилых людей, особенно у женщин в постменопаузальном периоде, а также у тех, характер труда которых ассоциирован с нагрузкой на кисть [20, 21]. На начальных стадиях заболевания при умеренной степени поражения сустава эффективно использование биоактивных веществ, способных улучшить механические свойства сустава [22, 23, 24]. При неэффективности консервативной терапии долгое время золотым стандартом хирургического лечения ризартроза II–IV стадий по Eaton–Littler была изолированная трапециэктомия [25]. Однако проксимальная миграция первой пястной кости после трапециэктомии создает биомеханические условия, потенциально приводящие к слабости хвата, а также к рецидивированию болевого синдрома [26]. Предотвращение этого осложнения заключается в создании прочных механических поддерживающих сил, удерживающих основание первой пястной кости в заданном анатомически и функционально выгодном положении [27]. В последующем в связи с неудовлетворительными долгосрочными результатами лечения методика была модифицирована: в образовавшееся после удаления кости-трапеции пространство с целью предотвращения уменьшения расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости хирурги интерпонировали часть сухожилия FCR [25].

Интерпозиционная методика использовалась довольно часто — первоначально были достигнуты оптимистичные результаты. Однако согласно результатам некоторых исследований, данная хирургическая техника не имела преимуществ перед изолированной трапециэктомией [28, 29].

В статистическом анализе эффективности различных методик хирургического лечения ризартроза, в том числе интерпозиционной артропластики, проведенном Д.И. Михалкевичем и А.П. Мириленко, были выявлены высокая частота осложнений и неполное восстановление объема движений 1-го пальца кисти [30]. Вышеизложенное подтверждает необходимость разработки более эффективного метода артропластики первого запястно-пястного сустава после удаления кости-трапеции [30, 31].

Применение суспензионной методики с использованием различных типов фиксаторов продемонстрировало свою эффективность: постепенное восстановление функции кисти, увеличение силы цилиндрического хвата, купирование болевого синдрома без сопутствующих признаков нестабильности первого луча кисти [31, 32, 33, 34, 35]. Согласно результатам исследования, недавно проведенного P. Behm с соавторами, в котором изучались анатомио-биомеханические аспекты хирургического лечения ризартроза, суспензионная

техника обеспечивает сохранение положения первого пальца при пассивной нагрузке, в то время как интерпозиционный компонент дополнительно увеличивает стабильность пораженного сустава, но не позволяет сохранить расстояние между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости [32]. Это соответствует полученным нами результатам.

Интенсивность болевого синдрома, ограничение функции верхней конечности и снижение силы цилиндрического хвата пораженной кисти являются основными факторами, значительно ухудшающими качество жизни пациентов с ризартрозом [36]. Анализ динамики данных показателей позволил нам оценить эффективность резекционной суспензионной интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава субъективно (оценка функции кисти по шкале DASH и болевого синдрома по ВАШ) и объективно (оценка силы цилиндрического хвата пораженной кисти при помощи ручного динамометра и расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости рентгенологически). Согласно полученным нами результатам, осуществление резекционной интерпозиционной артропластики первого запястно-пястного сустава

при ризартрозе II–IV стадий не способно длительно удерживать основание первой пястной кости, что приводит к ее коллапсу, ухудшению функциональных показателей кисти и рецидиву болевого синдрома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резекционная суспензионная интерпозиционная артропластика первого запястно-пястного сустава при хирургическом лечении ризартроза II–IV стадий по классификациям Eaton–Little и Kellgren–Lawrence продемонстрировала явное преимущество в сравнении с резекционной интерпозиционной артропластикой в отношении функциональных показателей и силы цилиндрического хвата пораженной кисти, а также интенсивности болевого синдрома. Дополнительная фиксация первой пястной кости при помощи подвешивающей конструкции препятствует проксимальной миграции основания первой пястной кости. Сохранение расстояния между основанием первой пястной кости и дистальным полюсом ладьевидной кости позволяет избежать укорочения мышц возвышения первого пальца, ограничения объема движений и рецидива болевого синдрома в течение 12 мес. после хирургического лечения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Егиазарян К.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста статьи.

Парсаданян Г.К. — поиск и анализ публикаций, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста статьи.

Ершов Д.С. — анализ и интерпретация данных исследования, написание и редактирование текста статьи.

Скворцова М.А. — анализ и интерпретация данных исследования, написание и редактирование текста статьи.

Ратьев А.П. — анализ и интерпретация данных исследования, редактирование текста статьи.

Афанасьев А.В. — анализ и интерпретация данных исследования, написание и редактирование текста статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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.

DISCLAIMERS

Author contribution

Egiazaryan K.A. — study concept and design, writing the article.

Parsadanyan G.K. — literature search and analysis, data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Ershov D.S. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Skvortsova M.A. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Ratiev A.P. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Afanasiev A.V. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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.

Этическая экспертиза. Проведение настоящего исследования обсуждено и одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Pirogov Russian National Research Medical University.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Peat G., Thomas M.J. Osteoarthritis year in review 2020: epidemiology & therapy. *Osteoarthritis Cartilage*. 2021;29(2):180-189. doi: 10.1016/j.joca.2020.10.007.
2. Dahaghin S., Bierma-Zeinstra S.M., Reijman M., Pols H.A., Hazes J.M., Koes B.W. Prevalence and determinants of one month hand pain and hand related disability in the elderly (Rotterdam study). *Ann Rheum Dis*. 2005;64(1):99-104. doi: 10.1136/ard.2003.017087.
3. Sodha S., Ring D., Zurakowski D., Jupiter J.B. Prevalence of osteoarthritis of the trapeziometacarpal joint. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87(12):2614-2618. doi: 10.2106/JBJS.E.00104.
4. Новиков А.В., Щедрина М.А., Мотякина О.П. Деформирующий артроз пястно-запястного сустава первого пальца кисти (ризартроз). Клинические рекомендации. *Вестник Восстановительной медицины*. 2018;(4):92-112.
Novikov A.V., Schedrina M.A., Motyakina O.P. Deforming arthrosis of carpometacarpa joint the first finger of the hand (rizartroz). *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018;(4):92-112. (In Russian).
5. Ankarath S. Chronic wrist pain: Diagnosis and management. *Cur Orthop*. 2006;20(2):141-151.
6. Dawood O., Mustafa L., Shuber E., Hagiga A., Cereceda-Monteoliva N., Kadhum M. Trapeziectomy with Abductor Pollicis Longus Tendon Interposition Arthroplasty for First Carpometacarpal Joint Osteoarthritis: A Systematic Review. *World J Plast Surg*. 2022;11(2):3-17. doi: 10.52547/wjps.11.2.3.
7. Avisar E., Elvey M., Wasrbrou Z., Aghasi M. Long-term follow-up of trapeziectomy with abductor pollicis longus tendon interposition arthroplasty for osteoarthritis of the thumb carpometacarpal joint. *J Orthop*. 2013;10(2):59-64. doi:10.1016/j.jor.2013.05.001.
8. Liu Q., Xu B., Lyu H., Lee J.H. Differences between simple trapeziectomy and trapeziectomy with ligament reconstruction and tendon interposition for the treatment of trapeziometacarpal osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(6):987-996. doi: 10.1007/s00402-020-03707-w.
9. Avant K.R., Nydick J.A., White B.D., Vaccaro L., Hess A.V., Stone J.D. Basal Joint Osteoarthritis of the Thumb: Comparison of Suture Button versus Abductor Pollicis Longus Suspensionplasty. *Hand*. 2014;10(1):80-84. doi: 10.1007/s11552-014-9653-7.
10. Earp B.E., Mora A.N., Silver J.A., Benavent K.A., Blazar P.E. Intermediate-Term Outcomes of Trapeziectomy With a Modified Abductor Pollicis Longus Suspension Arthroplasty. *J Hand Surg Global Online*. 2019;1(4):205-207. doi: 10.1016/j.jhsg.2019.09.003.
11. Nanno M., Kodera N., Tomori Y., Takai S. Novel Modification of Abductor Pollicis Longus Suspension Arthroplasty with Trapeziectomy for Thumb Carpometacarpal Osteoarthritis. *J Nippon Med Sch*. 2019;86(5):269-278. doi: 10.1272/jnms.JNMS.2019_86-507.
12. Lied L., Bjørnstad K., Woje A.K., Finsen V. Abductor pollicis longus tendon interposition for arthrosis of the first carpo-metacarpal joint. Long-term results. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:50. doi: 10.1186/s12891-016-0910-5.
13. Barthel L., Hidalgo Diaz J.J., Vernet P, Gouzou S., Facca S., Igeta Y. et al. Results of the treatment of first carpometacarpal joint osteoarthritis: trapeziectomy alone versus trapeziectomy associated with suspensionplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(8):1555-1561. doi: 10.1007/s00590-018-2173-3.
14. Eaton R.G., Glickel S.Z. Trapeziometacarpal osteoarthritis. Staging as a rationale for treatment. *Hand Clin*. 1987;3(4):455-471.
15. Kellgren J.H., Lawrence J.S., Bier F. Genetic factors in generalized osteo-arthrosis. *Ann Rheum Dis*. 1963;22(4):237-255. doi: 10.1136/ard.22.4.237.
16. Franchignoni F., Vercelli S., Giordano A., Sartorio F., Bravini E., Ferriero G. Minimal clinically important difference of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure (DASH) and its shortened version (QuickDASH). *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014;44(1):30-39. doi: 10.2519/jospt.2014.4893.
17. Lee J.S. Hobden E., Stiell I.G., Wells G.A. Clinically important change in the visual analog scale after adequate pain control. *Acad Emerg Med*. 2003;10(10):1128-1130. doi: 10.1111/j.1553-2712.2003.tb00586.x.
18. Bohannon R.W. Minimal clinically important difference for grip strength: a systematic review. *J Phys Ther Sci*. 2019;31(1):75-78. doi: 10.1589/jpts.31.75.
19. Hozack B.A., Fram B., Ilyas A.M., Rivlin M., Liss F.E., Jones C.M. Optimal Position of the Suture Button Suspensionplasty (TightRope) for Thumb Basal Joint Arthritis. *Hand (N Y)*. 2022;17(1):79-84. doi: 10.1177/1558944720906551.
20. Pickrell B.B., Eberlin K.R. Thumb Basal Joint Arthritis. *Clin Plast Surg*. 2019;46(3):407-413. doi: 10.1016/j.cps.2019.02.010.
21. Егиазарян К.А., Магдиев Д.А. Анализ оказания специализированной медицинской помощи больным с повреждениями и заболеваниями кисти в городе Москва и пути ее оптимизации. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2012;(2):8-12. doi: 10.17816/vto2012028-12.
Egiazaryan K.A., Magdiev D.A. The analysis of rendering of specialized medical care by the patient with damages and hand diseases to the city of Moscow and ways of its optimization. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2012;19(2):8-12. doi: 10.17816/vto2012028-12. (In Russian).
22. Steiner M.M., Calandruccio J.H. Biologic approaches to problems of the hand and wrist. *Orthop Clin North Am*. 2017;48(3):343-349. doi: 10.1016/j.ocl.2017.03.010.
23. Loibl M., Lang S., Dendl L.M., Nerlich M., Angele P., Gehmert S. et al. Leukocyte-reduced platelet-rich plasma treatment of basal thumb arthritis: a pilot study. *Biomed Res Int*. 2016;9262909. doi: 10.1155/2016/9262909.

24. Гречухин Д.А., Керимов А.А., Найда Д.А. Лечение ризартроза внутрисуставным введением гиалуроновой кислоты с использованием ультразвуковой навигации. *Медицинский вестник*. 2021;4(6):45-50. doi: 10.53652/2782-1730-2021-2-4(6)-45-50. Grechuknin D.A., Kerimov A.A., Naida D.A. Ultrasound-guided intra-articular injection of hyaluronic acid for osteoarthritis of the carpometacarpal joint of the thumb. *Medical Bulletin*. 2021;4(6):45-50. doi: 10.53652/2782-1730-2021-2-4(6)-45-50. (In Russian).
25. Maes-Clavier C., Bellemère P., Gabrion A., David E., Rotari V., Havet E. Anatomical study of the ligamentous attachments and articular surfaces of the trapeziometacarpal joint. Consequences on surgical management of its osteoarthritis. *Chir Main*. 2014;33(2):118-123. doi: 10.1016/j.main.2013.12.004.
26. Pistorio A.L., Moore J.B. Lessons Learned: Trapeziectomy and Suture Suspension Arthroplasty for Thumb Carpometacarpal Osteoarthritis. *J Hand Microsurg*. 2020;14(3):233-239. doi: 10.1055/s-0040-1716607.
27. Cooney W.P., Chao E.Y. Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg Am*. 1977;59(1):27-36.
28. Vermeulen G.M., Slijper H., Feitz R., Hovius S.E., Moojen T.M., Selles R.W. Surgical management of primary thumb carpometacarpal osteoarthritis: a systematic review. *J Hand Surg Am*. 2011;36(1):157-169. doi: 10.1016/j.jhssa.2010.10.028.
29. Burton R.I., Pellegrini V.D. Jr. Surgical management of basal joint arthritis of the thumb. Part II. Ligament reconstruction with tendon interposition arthroplasty. *J Hand Surg Am*. 1986;11(3):324-332. doi: 10.1016/s0363-5023(86)80137-x.
30. Михалкевич Д.И., Мириленко А.П. Статистический анализ методов хирургического лечения артроза первого запястно-пястного сустава кисти. *Военная медицина*. 2019;(1):48-53. Mikhailkevich D.I., Mirilenko A.P. Statistical analysis of treatments for osteoarthritis of the first carpometacarpal joint. *Military Medicine*. 2019;(1):48-53. (In Russian).
31. Caggiari G., Polese F., Rosetti C., Ciurlia E., Brusoni M., Leone A. et al. Suspension arthroplasty in the treatment of thumb carpometacarpal osteoarthritis. *Orthop Rev (Pavia)*. 2021;12(4):8514. doi: 10.4081/or.2020.8514.
32. Behm P., Marks M., Ferguson S.J., Brodbeck M., Herren D.B. Intraoperative Load Tolerance of the Thumb Carpometacarpal Joint After Resection-Suspension-Interposition Arthroplasty. *J Hand Surg Glob Online*. 2022;4(1):40-44. doi: 10.1016/j.jhsg.2021.10.005.
33. Pistorio A.L., Moore J.B. Lessons Learned: Trapeziectomy and Suture Suspension Arthroplasty for Thumb Carpometacarpal Osteoarthritis. *J Hand Microsurg*. 2020;14(3):233-239. doi: 10.1055/s-0040-1716607.
34. Михалкевич Д.И. Выбор метода хирургического лечения артроза 1 запястно-пястного сустава. *Медицинский журнал*. 2019;(4):27-35. Mikhailkevich D.I. The choice of surgical treatment of 1st carpometacarpal osteoarthritis. *Medical Journal*. 2019;(4):27-35. (In Russian).
35. Михалкевич Д.И., Герасименко М.А., Беспальчук А.П. Хирургическое лечение ризартроза кисти способом гамакопластики с интерпозицией сухожилия длинной ладонной мышцы. *Медицинский журнал*. 2019;(1):31-36. Mikhailkevich D.I., Gerasimenko M.A., Bepalchuk A.P. Surgical treatment of rizarthrosis by the method of gamakoplastics with interposition of musculus palmaris longus tendon. *Medical Journal*. 2019;(1):31-36. (In Russian).
36. Gay A.M., Cerlier A., Iniesta A., Legré R. Surgery for trapeziometacarpal osteoarthritis. *Hand Surg Rehabil*. 2016;35(4):238-249. doi: 10.1016/j.hansur.2016.06.002.

Сведения об авторах

✉ Парсаданян Гайк Каренович
 Адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1
<https://orcid.org/0009-0008-7877-8951>
 e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Егуазарян Карен Альбертович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
 e-mail: egkar@mail.ru

Ершов Дмитрий Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
 e-mail: ershov0808@gmail.com

Скворцова Мария Артуровна — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-2669-1316>
 e-mail: person.orto@gmail.com

Ратьев Андрей Петрович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>
 e-mail: ap@ratiev.ru

Афанасьев Алексей Валерьевич — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0009-0000-8645-6292>
 e-mail: afaled13@mail.ru

Authors' information

✉ Gaik K. Parsadanyan
 Address: 1, Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russia
<https://orcid.org/0009-0008-7877-8951>
 e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Karen A. Egiazaryan — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
 e-mail: egkar@mail.ru

Dmitry S. Ershov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
 e-mail: ershov0808@gmail.com

Mariya A. Skvortsova — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-2669-1316>
 e-mail: person.orto@gmail.com

Andrey P. Ratiev — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>
 e-mail: ap@ratiev.ru

Aleksei V. Afanasiev — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0009-0000-8645-6292>
 e-mail: afaled13@mail.ru

Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale (AOFAS-AHS)

Viktor A. Fomichev, Evgenii P. Sorokin, Nikita S. Konovalchuk, Ekaterina A. Pashkova, Andrei P. Sereda

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. Developed in 1994 by H. Kitaoka et al. the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot scale (AOFAS-AHS) allows to assess pain, function, deformity and alignment of the foot and ankle. There is no Russian-language AOFAS-AHS questionnaire adapted according to current standards in the scientific literature.

The aim of this paper is to perform the cross-cultural adaptation and to assess the validity of the Russian-language version of the AOFAS-AHS scale, including the evaluation of its psychometric properties.

Methods. The original English version of the AOFAS-AHS scale was translated from English into Russian by a native Russian speaker. Then the questionnaire was back-translated into English by another translator whose native language is English. The next stage was the comparison of the original and back-translated versions, followed by the presentation of a pre-final cross-culturally adapted version, which was tested on 10 patients to ensure that the questions were comprehensible. The next step was the approval of the final version and its completion by patients to be operated on the hindfoot or ankle. The printed copy of the final version of the questionnaire was completed by the patients with an interval of 3 days. Total of 44 consecutive patients were enrolled, including 18 women (41%) and 26 men (59%), with a mean age of 61.7 (32-78) years. The psychometric properties of the Russian-language version of the AOFAS-AHS questionnaire (internal consistency, retest reliability, measurement error, responsiveness, and construct validity) were assessed based on the COSMIN (CONsensus-based Standards for the selection of health status Measurement INstruments) principles.

Results. The mean score according to the AOFAS-AHS scale was 49.6 (min 2; max 82) out of a possible 100. The average time to complete the questionnaire was 4.2 minutes. All hypotheses formulated showed correlations of varying moderate to strong degrees. The Cronbach's alpha coefficient was 0.76, which indicates a high level of internal consistency of the elements of the validated questionnaire. A good intra-class consistency of 0.83 was obtained, which shows a high degree of reliability of the questionnaire's reproducibility. The ceiling and floor effects for the primary results of the questionnaires did not exceed 15%. The mean value of the Russian-language version of the AOFAS-AHS increased to 86.6 after surgical treatment. The values of standardized effect size (ES) and standardized response mean (SRM) were 5.56 and 4.83, respectively.

Conclusions. The adapted Russian-language version of the AOFAS-AHS scale showed good psychometric properties and can be recommended for assessment of the physical activity in patients with ankle and hindfoot-related pathology and can also be used for monitoring the changes during the treatment.

Keywords: hindfoot, ankle, AOFAS-AHS, reliability, cross-cultural adaptation, psychometric properties, validity.

Cite as: Fomichev V.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Sereda A.P. Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale (AOFAS-AHS). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):78-86. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16494>.

✉ Ekaterina A. Pashkova; e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Submitted: 28.09.2023. Accepted: 04.12.2023. Published Online: 12.12.2023.

© Fomichev V.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Sereda A.P., 2023



Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы Американской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава AOFAS-AHS

В.А. Фомичев¹, Е.П. Сорокин¹, Н.С. Коновальчук¹, Е.А. Пашкова¹, А.П. Серeda^{1,2}

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

Актуальность. Разработанная в 1994 г. Н. Китаока с соавторами шкала Американской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава AOFAS-AHS позволяет оценить боль, функцию, степень деформации и опороспособность заднего отдела стопы и голеностопного сустава. В научной литературе отсутствуют русскоязычные версии AOFAS-AHS, адаптированные согласно современным методикам.

Целью работы является культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы AOFAS-AHS, включая оценку психометрических свойств опросника.

Материал и методы. Оригинальная англоязычная версия шкалы AOFAS-AHS была переведена с английского на русский язык носителем русского языка. Затем был выполнен обратный перевод анкеты на английский язык другим переводчиком, родным языком которого является английский. Затем выполнено сравнение оригинальной и обратно переведенной версий с последующим представлением предфинальной кросс-культурно адаптированной версии, которая была протестирована на 10 пациентах, чтобы убедиться, что все вопросы понятны. Следующим этапом было утверждение финальной версии и ее заполнение пациентами, ожидающими оперативного вмешательства на заднем отделе стопы или голеностопном суставе. Печатный вариант финальной версии опросника заполняли пациентами с промежутком в 3 дня. Для заполнения опросника были отобраны 44 последовательных пациента, из них 18 (41%) женщин и 26 (59%) мужчин, средний возраст которых составил 61,7 (32–78) лет. Оценка психометрических свойств русскоязычной версии опросника AOFAS-AHS (внутренняя согласованность, ретестовая надежность, ошибка измерения, отзывчивость и конструктивная валидность) была выполнена на основании принципов COSMIN (COnsensus-based Standards for the selection of health status Measurement INstruments).

Результаты. Средний балл по шкале AOFAS-AHS составил 49,6 (min 2; max 82) из 100 возможных. Среднее время заполнения анкеты — 4,2 мин. Во всех сформулированных гипотезах была выявлена корреляционная связь умеренной или сильной степени. Коэффициент альфа Кронбаха составил 0,76, что свидетельствует о высоком уровне внутренней согласованности элементов валидируемого опросника. Был получен хороший показатель внутриклассовой согласованности (0,83), что свидетельствует о высокой степени воспроизводимости анкеты. Эффект «потолка» и «пола» для первичных результатов опросников не превышал 15%. Средний балл по русскоязычной версии AOFAS-AHS вырос до 86,6 после оперативного лечения. Значения стандартизированного размера эффекта (ES) и стандартизированного среднего ответа (SRM) составили 5,56 и 4,83 соответственно.

Заключение. Адаптированная русскоязычная версия шкалы AOFAS-AHS обладает хорошими психометрическими свойствами и может быть рекомендована для оценки физической активности пациентов с патологией области голеностопного сустава и заднего отдела стопы, а также использована для оценки динамики изменений в процессе лечения.

Ключевые слова: голеностопный сустав, шкала AOFAS-AHS, кросс-культурная адаптация, психометрические свойства опросника.

Для цитирования: Фомичев В.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Серeda А.П. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы Американской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава AOFAS-AHS. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):78–86. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16494>.

✉ Пашкова Екатерина Анатольевна; e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Рукопись получена: 28.09.2023. Рукопись одобрена: 04.12.2023. Статья опубликована онлайн: 12.12.2023.

© Фомичев В.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Серeda А.П., 2023

BACKGROUND

Assessment of the functional outcome of patients with ankle joint pathology is an important criterion of treatment efficacy [1]. In recent years, there has been a trend towards the use of patient-reported outcome measure (PROM) questionnaires, which provide a more accurate assessment of functional results [2].

The American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot scale (AOFAS-AHS) is one of the most popular scales for assessing ankle joint function [3]. The scale developed in 1994 by H. Kitaoka et al. allows to assess pain, function, deformity and bearing capacity of the lower limb [4].

This questionnaire has proven its validity in the original language [5, 6]. As it is completed by patients on the basis of their own perceptions, the validity of the questionnaire cannot be confirmed when applied in non-English-speaking countries. Therefore, cultural and linguistic adaptation is required for its use in other countries and languages [7]. This questionnaire has already been translated with adaptations into the following languages: Arabic [8, 9], Portuguese [10], Dutch [11], Italian [12], German [13], Persian [14], Turkish [15], and Swedish [16]. In Russia, M.E. Viskarr et al. published a study where the questionnaires for ankle joint assessment were translated into Russian and adapted for use in Russia [17]. However, the authors did not use the recommendations for adapting the questionnaires already published at that time [18]. Thus, nowadays in the Russian Federation there are no specialized Russian-language questionnaires and scales adapted in accordance with the recommended standards to assess the condition of the hindfoot and ankle joint.

Aim of the study is to perform the cross-cultural adaptation and to assess the validity of the Russian-language version of the AOFAS-AHS scale, including the evaluation of its psychometric properties.

METHODS

Methodology of the study

The methodological part of the study included translation of the questionnaire into Russian. In the clinical part of the study, the psychometric properties of the questionnaire were assessed in a group of patients with ankle joint pathology.

Patients

The study was performed in the clinic of the Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics from November 2021 to August 2022. Forty-four patients with osteoarthritis of the ankle and/or subtalar joints awaiting reconstructive surgery, including 18 women (41%) and 26 men (59%), were enrolled in the study. The mean age of the patients was 61.7 (32-78) years. The nosological structure was as follows: 14 (32%) patients with isolated ankle osteoarthritis, 16 (36%) patients with ankle and subtalar osteoarthritis, 5 (11%) patients with chronic ankle instability, 5 (11%) patients with ankle impingement syndrome, and 4 (9%) patients with dissecting osteochondritis. All patients were interviewed using the Russian translated version of the AOFAS-AHS questionnaire.

Translation and adaptation

Translation and adaptation of the AOFAS-AHS scale was performed in several stages:

Stage I – direct translation from English into Russian by a native Russian speaker;

Stage II – back translation of the questionnaire into English by another translator whose native language is English;

Stage III – comparison of the original and back-translated versions followed by the presentation of a pre-final cross-culturally adapted version, which was tested on 10 patients to ensure that all questions were comprehensive;

Stage IV – approval of the final version of the questionnaire and its completion by patients awaiting hindfoot or ankle surgery.

The AOFAS-AHS questionnaire

The questionnaire consists of nine questions. Four of them assess pain and function, and five assess range of motion, instability, deformity and bearing capacity. To calculate the total score, the points for each response, which are not evenly distributed among the different questions, must be summed. The number of points ranges from 0 to 100, where the maximum number of points corresponds to the best function of the joint.

The EQ-5D-5L questionnaire

This questionnaire was used to test the construct validity based on hypothesis testing, as its Russian version was translated by the questionnaire developers according to a standardized protocol (<https://euroqol.org/support/translation->

process/) that ensures equivalence of the translated version to the original version. The EQ-5D-5L is designed to assess the quality of life and includes questions on mobility, self-care, usual daily activities, pain/discomfort, and anxiety/depression. By answering each of the five questions, the patient can choose one of five response options that most closely matches his or her perception. The obtained values then form the respondent's health status, coded with five consecutive digits, which is then interpreted into a value between 0 and 1 based on the calculator supplied with the questionnaire. In addition, an integral part of the questionnaire is a visual analog scale on which the patient must mark his or her health status on the day of completion of the questionnaire, where 100 is the best possible status. We used the Russian-language version of the EQ-5D-5L questionnaire, taken from the official website www.euroqol.org.

Psychometric assessment

Psychometric properties of the Russian-language version of the AOFAS-AHS questionnaire (internal consistency, retest reliability, measurement error, recall and construct validity) were assessed based on the COSMIN (COnsensus-based Standards for the Selection of Health Status Measurement INstruments) principles [18].

Questionnaire reliability in terms of stability of test results when repeating the test was assessed by calculating the Intraclass Correlation Coefficient (ICC) using a mixed two-factor model [19]. ICC interpretation in the context of consistency was evaluated using the following algorithm: ICC<0.2 – weak consistency, ICC=0.2-0.4 – mediocre; ICC=0.4-0.6 – moderate; ICC=0.6-0.8 – pronounced; ICC>0.8 – almost complete consistency [12].

Internal consistency was assessed using the Cronbach's alpha coefficient calculated for the primary results of the questionnaires. This coefficient evaluates the correlation between all questions in the questionnaire and the correlation between each question and the questionnaire as a whole. The Cronbach's alpha coefficient between 0.7 and 0.9 is considered high, but if the value exceeds 0.9, it may indicate that the questionnaire is redundant and some questions assess the same things [20].

The ceiling and floor effects, i.e., the percentage of maximum and minimum values obtained in the questionnaire, were assessed for the primary and recurrent survey results. If a ceiling or floor effect is present, it is probable that extreme values at the bottom or top of the scale are absent, which may result in a limitation of content validity. As a consequence, this may lead to reduced reliability of the questionnaire, as differences between the lowest or highest values cannot be detected. Values of less than 15% are considered low ceiling and floor effects [19].

Construct validity indicates the extent to which the test results can be considered as a measure of the construct being assessed [18]. In our study, we evaluated the correlation between the Russified version of the AOFAS-AHS and the EQ-5D-5L scale using the hypothesis testing method. Correlation coefficient values greater than 0.60, between 0.40 and 0.59, and less than 0.39 were interpreted as strong, moderate or weak, respectively. In hypothesis testing, we assessed both the correlation of both scales as a whole and the pain and functional subdomains. The share of confirmed hypotheses is calculated as a percentage, and if it exceeds 75%, the construct validity of the questionnaire is considered confirmed [19].

Responsiveness, i.e., the ability of the questionnaire to show changes over time, was assessed using the longitudinal validity assessment method. To interpret changes in scores, measures of treatment effect were assessed using paired t-test, standardized effect size (ES) and standardized response mean (SRM) [21].

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using PAST v. 4.13 and IBM SPSS v. 25.0 software. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of data distribution. Retest reliability was assessed using two-way analysis of variance with a random effects parameter.

RESULTS

Cross-cultural adaptation consisted of developing a different question construction and supplementing the translated text to facilitate its understanding by patients when completing the questionnaire. We

phrased each block of the fillable scale as a patient-facing question (Table 1).

Question 1 was supplemented with a description of the localization of pain for the patient to better understand the location of its origin. Question 2 revealed the concept of "means of additional support" - crutches, cane, walker. Question 3 is one of the most debatable ones, as the most difficult task was to figure out how many meters make up one block ("street block" – a block in the USA, since the author of the

questionnaire H. Kitaoka is from the USA, and in each state a block can be of different length). Therefore, we did an average conversion of the length of one block, which was 100 meters. In question 6, we changed the degrees to percentages of movement amplitude from the level of normal function, as in question 7. The last module "Alignment" literally translates into Russian as "alignment, arrangement on one axis" (see Multitran dictionary). Since the context refers to pathologic changes in the anatomy of

Table 1

Russian-language version of the AOFAS-AHS questionnaire

Pain (40 points)	
1. How would you describe the pain in the ankle and heel?	
None	40
Mild, occasional	30
Moderate, daily	20
Severe, almost always present	0
Function (50 points)	
2. Do you experience limitations of daily activities? Do you need additional support (crutches, cane, walker)?	
No limitations, no support	10
No limitations of daily activities, limitations of sport activities, no support	7
Limited daily and sport activities, cane	4
Severe limitations of daily and sport activities; special footwear for walking, crutches, wheelchair, brace	0
3. What is your maximum walking distance in meters?	
More than 2400 m	5
1600–2400 m	4
400–1200 m	2
Less than 400 m	0
4. Do you have difficulties walking?	
None	5
Some difficulty on uneven terrain, stairs, inclines	3
Severe difficulty on uneven terrain, stairs, inclines	0
5. Do you have abnormal gait?	
None or slight	8
Marked	4
Pronounced	0
6. What is the range of motion in the ankle joint (flexion and extension)?	
Normal or mild restriction (60–100% normal)	8
Moderate restriction (30–59% normal)	4
Severe restriction (less than 25% of normal)	0
7. What is the range of lateral motions in the hindfoot (inward and outward)?	
Normal or mild restriction (75–100% normal)	6
Moderate restriction (25–74% normal)	3
Severe restriction (less than 25% of normal)	0

Russian-language version of the AOFAS-AHS questionnaire

8. Do you experience instability in the ankle joint and hindfoot?	
Stable	8
Unstable	0
Deformity and alignment (10 points)	
9. Do you have deformities in the hindfoot and ankle joint?	
None	10
Slight deformity, plantigrade foot, some degree of ankle-hindfoot malalignment, no symptoms	8
Nonplantigrade foot, severe malalignment, symptoms	0

the joint that result in impaired bearing capacity and normal function, we decided that the most appropriate translation for Russian-speaking patients is "deformity and bearing capacity". In question 9, we changed "correct hindfoot axis location" to "no deformity", "satisfactory axis location" to "slight deformity", and "poor axis location" to "pronounced deformity".

The mean AOFAS-AHS score was 49.6 (min, 2; max, 82) out of a possible 100. All patients were explained in detail how to complete the questionnaire, resulting in a 100% completion rate. The average time to complete the questionnaire was 4.2 min.

Hypothesis testing

All proposed hypotheses showed a moderate to strong degree of correlation (Table 2).

Internal consistency

The value of the Cronbach's alpha coefficient was 0.76, which suggests a high level of internal consistency of the elements of the validated questionnaire. Pronounced correlation was revealed between the results of answers (in points) to some questions of the questionnaire and the results of the whole questionnaire (Table 3).

Reliability

The intraclass consistency value of 0.83 was good, indicating a high degree of reliability of the questionnaire's reproducibility. Ceiling and floor effects for the primary results of the questionnaires did not exceed 15%.

Table 2

Hypothesis testing to determine the construct validity of the translated version of the questionnaire

Questionnaire	Hypothesis
AOFAS-AHS vs VAS EQ-5D-5L	Strong positive correlation
AOFAS-AHS vs health values of EQ-5D-5L	Strong positive correlation
AOFAS-AHS vs mobility subdomain of EQ-5D-5L	Strong negative correlation
AOFAS-AHS vs self-care subdomain of EQ-5D-5L	Strong negative correlation
AOFAS-AHS vs usual daily activities subdomain of EQ-5D-5L	Strong negative correlation
AOFAS-AHS vs pain/discomfort subdomain of EQ-5D-5L	Strong negative correlation
AOFAS-AHS vs anxiety/depression subdomain of EQ-5D-5L	Moderate to strong negative correlation

Construct validity

All hypotheses were confirmed, which proves the construct validity of the Russian-language version of the AOFAS-AHS. The scale correlated with the EQ-5D-5L questionnaire as a whole, as well as the functional and pain subdomain of the latter.

Responsiveness

The mean value of the Russian-language version of the AOFAS-AHS improved to 86.6 after surgical treatment. The values of standardized effect size (ES) and standardized response mean (SRM) were 5.56 and 4.83, respectively.

Table 3

Characteristics of basic values of the Russian-language version of the AOFAS-AHS and their internal consistency

Question	Mean value when excluding the item	Corrected correlation between the item and total	Cronbach's alpha when deleting the item
1	28.45	0.82	0.82
2	44.39	0.67	0.76
3	46.57	0.67	0.77
4	47.27	0.58	0.77
5	46.68	0.53	0.76
6	46.41	0.80	0.74
7	46.86	0.66	0.77
8	45.95	0.63	0.74
9	44.14	0.53	0.75

DISCUSSION

There are no Russian translated and adapted ankle joint assessment questionnaires available in the modern literature. The AOFAS-AHS scale that we selected for translation and adaptation is a patient-completed questionnaire, and the data collected using this scale are more reliable compared with the scales based on physician's assessment [22]. The questionnaire was adapted according to cross-cultural adaptation guidelines to obtain a reliable and valid version of the questionnaire [7].

We obtained a strong correlation in six out of seven hypotheses, which confirms the high construct validity of the Russian-language version of the studied questionnaire, using the data from the EQ-5D-5L scale for comparison. The choice of the EQ-5D-5L questionnaire was due to the fact that the developers offered a translated version of this scale into Russian in accordance with a standardized protocol that ensures equivalence of the translated version to the original one. In the Arabic version, the SF-12 scale was selected for hypothesis testing, and the correlations ranged from weak to strong [9]. The SF-12 scale was also used in the Turkish adapted version [15]. When testing the hypotheses in the Italian version of the questionnaire, the SF-36 scale was used to assess the correlational relationship between

eight subdomains of the previously mentioned questionnaire. The correlation in the hypotheses ranged from 0.52 to 0.82 [12]. The SF-36 scale was also used by the authors to assess the construct validity of the Dutch [11] and Persian [23] versions of the scale, which showed good results. Researchers who evaluated the construct validity of the Danish version of the AOFAS questionnaire used the SEFAS questionnaire to confirm the hypotheses and obtained more than 75% of confirmed hypotheses [24].

The Cronbach's alpha coefficient for the AOFAS-AHS (0.76) showed good internal consistency comparable to versions translated into other languages [8, 12, 14, 15, 23, 24, 25]. In particular, the Cronbach's alpha coefficient was 0.983 for the Arabic version [9], 0.696 for the Persian version [14], and 0.947 for the Dutch version [11]. It should be separately noted that the Cronbach's alpha in the study of the Danish version of the questionnaire was 0.62 [24]. The authors attributed this relatively low value to the small sample size.

Test-retest reliability indicates the consistency of the questionnaire over a certain interval of time. We chose a seven-day interval because, on the one hand, it was short enough to avoid changes associated with disease progression, but at the same time not too short to recall of

previous responses. The seven-day interval was the most commonly used interval in previous studies of cross-cultural adaptation [24].

The ICC value for the Russified version of the AOFAS-AHS (0.83) was considered to be well reproducible, which also corresponded to the results of previous validation studies ranging from 0.72 to 0.95 [8, 12, 14, 15, 23, 24, 25].

Limitations of the study

Our study had a number of limitations. First, the patients in our study sample do not reflect the entire population of Russia. Given that there is a large number of ethnic groups in our country who speak national languages, our proposed translation would be incomprehensible for them, and a questionnaire completed by such patients would be uninformative for routine data collection. However, since the literacy rate in Russia is 99%, we are confident that the questionnaire will be comprehensible to the vast majority of patients.

The second limitation of this study was the patient selection. We included only patients with severe ankle osteoarthritis who were admitted for surgical treatment. This probably explains the low AOFAS-AHS score in our study.

CONCLUSIONS

The adapted Russian-language version of the AOFAS-AHS scale showed good psychometric properties and can be recommended for assessment of the physical activity in patients with ankle and hindfoot-related pathology and can also be used for monitoring the changes during the treatment.

DISCLAIMERS

Author contribution

Fomichev V.A. — data collection, writing the article.

Sorokin E.P. — data collection, drafting the article.

Konovalchuk N.S. — data collection, statistical analysis of results.

Pashkova E.A. — data collection and processing, drafting the article.

Sereda A.P. — study concept and design, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the

correctness and reliability of any part of the work.

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. Horwitz D.S., Richard R.D., Suk M. The reporting of functional outcome instruments in the journal of orthopaedic trauma over a 5-year period. *J Orthop Trauma.* 2014;28:2-5. doi: 10.1097/BOT.000000000000026.
2. Pynsent P.B. Choosing an Outcome Measure. *J Bone Joint Surg.* 2001;83(6):792-794. doi: 10.1302/0301-620X.83B6.11973.
3. Hunt K.J., Hurwit D. Use of Patient-Reported Outcome Measures in Foot and Ankle Research. *J Bone Joint Surg.* 2013;95(16):e118(1-9). doi: 10.2106/JBJS.L.01476.
4. 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.
5. Madeley N.J., Wing K.J., Topliss C., Penner M.J., Glazebrook M.A., Younger A.S. Responsiveness and Validity of the SF-36, Ankle Osteoarthritis Scale, AOFAS Ankle Hindfoot Score, and Foot Function Index in end stage ankle arthritis. *Foot Ankle Int.* 2012;33(1):57-63. doi: 10.3113/FAI.2012.0057.
6. Ibrahim T., Beiri A., Azzabi M., Best A.J., Taylor G.J., Menon D.K. Reliability and Validity of the Subjective Component of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Clinical Rating Scales. *J Foot Ankle Surg.* 2007;46(2):65-74. doi: 10.1053/j.jfas.2006.12.002.
7. 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.
8. Amri M.I., Alzhrani M.M., Alanazi A.D., Alqahtani M.M., Kashoo F.Z. Cross-cultural adaptation and validation of the Arabic version of the foot function index in patients with chronic lateral ankle instability. *J Foot Ankle Res.* 2022;15(1):21. doi: 10.1186/s13047-022-00527-6.
9. Alhadhoud M., Alsiri N., Alsaifar M., Glazebrook M. Cross-cultural adaptation and validation of an Arabic version of the American Orthopedics Foot and Ankle Score (AOFAS). *Foot Ankle Surg.* 2020;26(8):876-882. doi: 10.1016/j.fas.2019.11.001.
10. Rodrigues R.C., Masiero D., Mizusaki J.M., Imoto A.M., Peccin M.S., Cohen M. et al. Translation, cultural adaptation and validity of the "American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot Scale". *Acta Ortop Bras.* 2008;16(2):107-111. doi: 10.1590/S1413-78522008000200009.

11. de Boer A.S., Tjioe R.J.C., Van der Sijde F., Meuffels D.E., den Hoed P.T., Van der Vlies C.H. et al. The American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale; translation and validation of the Dutch language version for ankle fractures. *BMJ Open*. 2017;7(8):e017040. doi: 10.1136/bmjopen-2017-017040.
12. Leigh M., Janicka P., Andorno S., Marcuzzi A., Magnani C., Grassi F. Italian translation, cultural adaptation and validation of the "American Orthopaedic Foot and Ankle Society's (AOFAS) ankle-hindfoot scale". *Acta Biomed*. 2016;87(1):38-45.
13. Kostuj T., Krummenauer F., Schaper K., Stief F., Zettersten K., Baums M.H. et al. Analysis of agreement between the German translation of the American Foot and Ankle Society's Ankle and Hindfoot Scale (AOFAS-AHS) and the Foot Function Index in its validated German translation by Naal et al. (FFI-D). *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014;134(9):1205-1210. doi: 10.1007/s00402-014-2046-0.
14. Sayyed-Hosseini S.H., Hassankhani G.G., Bagheri F., Alavi N., Shojaie B., Mousavian A. Validation of the Persian Version of the American Orthopedic Foot and Ankle Society Score (AOFAS) Questionnaire. *Arch Bone Jt Surg*. 2018;6(3):233-239.
15. Analay Akbaba Y., Celik D., Ogut R.T. Translation, Cross-Cultural Adaptation, Reliability, and Validity of Turkish Version of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale. *J Foot Ankle Surg*. 2016;55(6):1139-1142. doi: 10.1053/j.jfas.2016.06.001.
16. Cöster M.C., Rosengren B.E., Bremander A., Brudin L., Karlsson M.K. Comparison of the Self-Reported Foot and Ankle Score (SEFAS) and the American Orthopedic Foot and Ankle Society Score (AOFAS). *Foot Ankle Int*. 2014;35(10):1031-1036. doi: 10.1177/1071100714543647.
17. Viskarra Mollinedo E., Zimina E.V., Gurina S.A., Yarygin N.V. Scale validation and questionnaires for assessment of functional state and quality of life of patients with ankle joint fractures. *Rossijskie medicinskie vesti*. 2011;16(2):61-71.
18. Mokkink L.B., Terwee C.B., Patrick D.L., Alonso J., Stratford P.W., Knol D.L. et al. The COSMIN checklist for assessing the methodological quality of studies on measurement properties of health status measurement instruments: an international Delphi study. *Qual Life Res*. 2010;19(4):539-549. doi: 10.1007/s11136-010-9606-8.
19. Terwee C.B., Bot S.D.M., de Boer M.R., van der Windt D.A.W.M., Knol D.L., Dekker J. et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *J Clin Epidemiol*. 2007;60(1):34-42. doi: 10.1016/j.jclinepi.2006.03.012.
20. Tavakol M., Dennick R. Making sense of Cronbach's alpha. *Int J Med Educ*. 2011;2:53-55. doi: 10.5116/ijme.4dfb.8dfd.
21. Husted J.A., Cook R.J., Farewell V.T., Gladman D.D. Methods for assessing responsiveness: a critical review and recommendations. *J Clin Epidemiol*. 2000;53(5):459-468. doi: 10.1016/s0895-4356(99)00206-1.
22. Deshpande P.R., Rajan S., Sudeepthi B.L., Abdul Nazir C.P. Patient-reported outcomes: A new era in clinical research. *Perspect Clin Res*. 2011;2(4):137-144. doi: 10.4103/2229-3485.86879.
23. Van Lieshout E.M.M., De Boer A.S., Meuffels D.E., Den Hoed P.T., Van der Vlies C.H., Tuinebreijer W.E. et al. American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot Score: a study protocol for the translation and validation of the Dutch language version. *BMJ Open*. 2017;7(2):e012884. doi: 10.1136/bmjopen-2016-012884.
24. Erichsen J., Froberg L., Viberg B., Damborg F., Jensen C. Danish Language Version of the American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale (AOFAS-AHS) in Patients with Ankle-Related Fractures. *J Foot Ankle Surg*. 2020;59(4):657-663. doi: 10.1053/j.jfas.2019.08.027.
25. Vosoughi A.R., Roustaei N., Mahdaviazad H. American Orthopaedic Foot and Ankle Society ankle-hindfoot scale: A cross-cultural adaptation and validation study from Iran. *Foot Ankle Surg*. 2018;24(3):219-223. doi: 10.1016/j.fas.2017.02.007.

Authors' information

✉ Ekaterina A. Pashkova — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>

e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Viktor A. Fomichev

<https://orcid.org/0000-0002-0864-0171>

e-mail: fomichev@mail.ru

Evgenii P. Sorokin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>

e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Nikita S. Konovalchuk — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>

e-mail: konovalchuk91@yandex.ru

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

e-mail: drsereda@gmail.com



Suggestions for Introducing Some New Terms in Pelvic and Acetabular Surgery

Nikita N. Zadneprovskiy¹, Vladislav V. Kulikov², Yana B. Vladimirova², Pavel A. Ivanov¹

¹ Sklifosovsky Research Institute For Emergency Medicine, Moscow, Russia

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Background. The rapid advancement of modern surgical methods for treating pelvic bone fractures has underscored the necessity for developing a new terminological framework. This is because the classical anatomical terminology of the pelvis no longer aligns with the demands of the therapeutic process and scientific research in this field. The traditional set of anatomical names and landmarks falls short in providing detailed descriptions of all intricacies of injuries when employing contemporary surgical techniques. The existing terminology system needs to catch up with the level of contemporary pelvic surgery, enabling a comprehensive and understandable characterization of existing pathology and the treatment being administered for all medical professionals.

Purpose of the study was to create names for certain parts of the pelvic bones and their areas that currently lack specific designations and to propose the developed terms for professional discussion.

Methods. A retrospective analysis was conducted on X-rays and computer tomography scans of patients with pelvic bone injuries, performed from 2020 to 2022. A list of potential new anatomical terms was compiled through a literature review.

Results. In several cases, we encountered a deficiency of terms in diagnosing pelvic injuries and describing surgical procedures. New terms were developed to denote areas of the pelvis and their injuries, including the pubic bone base, vertical fractures of the pubic bone base, longitudinal fractures of the pubic bone base, incomplete rupture of the pubic symphysis, the base of the ilium, longitudinal fracture of the iliac base, fracture-subluxation and fracture-dislocation of the iliac base, calcar of the iliac bone, calcar spike, and the bone corridor.

Conclusions. The incorporation of new anatomical terms into clinical practice will help enhance the precision of diagnosis and surgical planning in pelvic fractures. Standardizing the terminology will promote uniformity in approaches and knowledge sharing among specialists, ultimately improving the quality of surgical care for patients with pelvic injuries.

Keywords: pelvic fracture, pubic bone, pubic symphysis, bone corridor, pelvic bone, acetabulum, sciatic buttress, sacroiliac joint.

Cite as: Zadneprovskiy N.N., Kulikov V.V., Vladimirova Ya.B., Ivanov P.A. Suggestions for Introducing Some New Terms in Pelvic and Acetabular Surgery. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):87-100. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15531>.

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

Submitted: 29.08.2023. Accepted: 02.10.2023. Published Online: 25.10.2023.

© Zadneprovskiy N.N., Kulikov V.V., Vladimirova Ya.B., Ivanov P.A., 2023



Предложения по введению некоторых новых терминов в хирургию таза и вертлужной впадины

Н.Н. Заднепровский¹, В.В. Куликов², Я.Б. Владимирова², П.А. Иванов¹

¹ ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», отделение сочетанной и множественной травмы, г. Москва, Россия

² ФГАО ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России», кафедра анатомии человека, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Стремительное развитие современных хирургических методов лечения переломов костей таза выявило необходимость разработки нового терминологического аппарата, так как классическая анатомическая терминология таза перестала соответствовать запросам лечебного процесса и научных исследований в данной области. Классический набор анатомических названий и ориентиров не позволяет детально описывать все нюансы повреждений при применении современных хирургических методик. Имеющееся отставание системы терминов от уровня современной тазовой хирургии должно быть устранено для возможности подробно и понятно для всех специалистов характеризовать имеющуюся патологию и проводимое лечение.

Цель исследования — разработать названия для некоторых частей костей таза и его областей, которые до настоящего времени не имеют своих обозначений, и предложить разработанные термины для профессионального обсуждения.

Материал и методы. Выполнен ретроспективный анализ рентгенограмм и компьютерных томограмм пациентов с повреждением костей таза, выполненных с 2020 по 2022 г. В результате анализа литературы был составлен список потенциальных новых анатомических терминов.

Результаты. В ряде случаев мы столкнулись с дефицитом терминов при диагностике повреждений таза и описании хода операций. Разработаны новые термины для обозначения областей таза и их повреждений: основание лобковой кости, вертикальные переломы основания лобковой кости, продольные переломы основания лобковой кости, неполный разрыв лобкового симфиза, основание подвздошной кости, продольный перелом основания подвздошной кости, переломоподвывих и переломовывих основания подвздошной кости, калькар подвздошной кости, калькарный шип, костный коридор.

Заключение. Внедрение новых анатомических терминов в клиническую практику поможет улучшить точность диагностики и планирования хирургических вмешательств в тазовой области. Стандартизация терминологии будет содействовать единообразию подходов и обмену опытом между специалистами, что послужит повышению качества хирургического лечения пациентов с повреждениями таза.

Ключевые слова: переломы таза, лобковая кость, лобковый симфиз, костный коридор, тазовая кость, вертлужная впадина, sciatic buttress, крестцово-подвздошное сочленение.

Для цитирования: Заднепровский Н.Н., Куликов В.В., Владимирова Я.Б., Иванов П.А. Предложения по введению некоторых новых терминов в хирургию таза и вертлужной впадины. *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(4):87-100. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15531>.

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

Рукопись получена: 29.08.2023. Рукопись одобрена: 02.10.2023. Статья опубликована онлайн: 25.10.2023.

© Заднепровский Н.Н., Куликов В.В., Владимирова Я.Б., Иванов П.А., 2023

BACKGROUND

Up until the 1970s, a conservative approach overwhelmingly dominated the treatment of pelvic ring injuries. The non-operative treatment process didn't involve a wide variety of methods, and the classical anatomical terminology used in the preoperative period adequately met the demands of the therapeutic process.

Starting in the early 1980s, there was a radical shift in the paradigm. Advancements in knowledge and technological progress in medicine led to a complete change in the approach to treating pelvic injuries. Specialists transitioned from a predominantly conservative approach to active surgical treatment for most types of pelvic ring fractures. The emergence and active development of precise diagnostic methods, a multitude of new surgical techniques, and procedures required a more detailed analysis of fracture characteristics and the description of the surgeon's actions. Specialists felt an acute need to name many parts of the pelvis that previously lacked approved names in the anatomical nomenclature (and didn't even have unofficial designations within the professional community).

The existing "terminological inadequacy" also has a cross-linguistic aspect. It's not uncommon for situations where foreign terms lack equivalents in the Russian-speaking field, and vice versa. These circumstances served as the basis for developing missing anatomical terms and publishing this study.

Purpose of the study was to create names for certain parts of the pelvic bones and their areas that currently lack specific designations and to propose the developed terms for professional discussion.

METHODS

The research retrospectively analyzed the data of X-rays and CT scans of patients who underwent examination and treatment at the State Budgetary Healthcare Institution of Moscow "N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine" of the Moscow Health Department for pelvic bone injuries during the period from January 1, 2020, to December 31, 2022.

A list of potential new anatomical terms necessary for describing anatomical structures and their features was compiled through a literature review.

Definitions were refined and terminology was clarified, taking into account various approaches and international standards. The proposed anatomical terms were validated through real clinical cases and anatomical specimens. They were used during surgeries and in the analysis of medical data to determine their applicability and convenience in clinical practice.

The study was conducted in compliance with the principles of voluntary patient consent and the confidentiality of medical data. When evaluating the data, coded anonymous information was used, without disclosing personal patient information.

RESULTS AND DISCUSSION

The complex geometry of the pelvic bones gives rise to numerous anatomical structures and their respective names (terminology). However, "blank spots" and inconsistencies persist in anatomical nomenclature. The article is divided into three parts, each dedicated to the discussion of one anatomical region of the pelvis and its corresponding terms:

- 1) surgical anatomy of the pubic bone and symphysis;
- 2) the posterior aspect of the ilium;
- 3) intraosseous spaces of the flat bones of the pelvis.

These parts of the article provide the basis for the following new terms:

- 1) pubic bone base;
- 2) iliac base;
- 3) Iliac calcar;
- 4) calcar spike;
- 5) bone corridor.

We propose new terms to designate fractures of the pubic bone base based on the direction of lines in this area:

- 1) longitudinal fractures of the pubic bone base;
- 2) vertical transverse fractures of the pubic bone base.

Additionally, a simple classification of pubic symphysis ruptures is suggested based on the presence and direction of the fracture line of the pubic bone base:

- complete pubic symphysis rupture;
- incomplete pubic symphysis rupture.

A classification of injuries to the iliac base in cases of partial damage to the sacroiliac joint

(SIJ) is proposed, based on the direction of the fracture in the area of the iliac base:

- fracture-subluxation of the iliac base (+ A. Day classification) [1];
- fracture-dislocation of the iliac base (+ A. Day classification);
- longitudinal fracture of the iliac base.

1. Surgical anatomy of the pubic bone and symphysis

It is commonly believed that the pubic bone (os pubis) consists of three parts: the body (corpus ossis pubis), the superior branch (ramus superior ossis pubis), and the inferior branch (ramus inferior ossis pubis) [2]. However, a topographical confusion persists in modern anatomical atlases and textbooks. In English-language literature, the body of the pubic bone is described as being in the region of the pubic symphysis and forming the one. In contrast, in Russian-language literature, it is located in the acetabulum, presenting its anterior wall with a portion of the articular surface.

In foreign literature, the term «body» is defined as «the largest and most significant part of a bone, such as the diaphysis of long bones of the shoulder or femur» [3]. When it comes to the localization of the bodies of the iliac and ischial bones, foreign and Russian anatomists generally agree and define their topography in a similar way [1, 4]. However, when it comes to the pubic bone, the situation is less clear because the views of Russian and foreign experts differ significantly. In the foreign anatomical tradition, the «body» refers to the medial portion of the pubic bone,

along with its superior and inferior rami [5, 6]. We could not find an explanation in the literature for why Western anatomists separate the body of the pubic bone topographically from the bodies of the iliac and ischial bones. Furthermore, the name for the lateral end of the upper branch of the pubic bone, which includes part of the articular cartilage of the acetabulum, remains unclear. Some foreign authors of anatomical atlases define it as the «anterior wall of the acetabulum» [7], while others do not address this topic at all [8].

The Russian anatomical tradition is notably more consistent in defining the term «body» of the pubic bone from an embryogenic and anatomical proximity perspective to similar structures [9]. «The pelvic bone, os coxae, is paired, and in children, it consists of three separate bones: the ilium, ischium, and pubis. In adults, these three bones fuse into a single pelvic bone. The bodies of these bones, by joining together, form the acetabulum on the outer surface of the pelvic bone. The ilium represents the upper part of the acetabulum, the ischium the posterior-inferior part, and the pubic bone the anterior-inferior part. During development, each of these bones develops independent ossification centers, so that until the age of 16-17, in the region of the acetabulum, the ilium, ischium, and pubic bone are joined by a Y-shaped cartilage. Subsequently, the cartilage ossifies, and the boundaries between the bones smooth out» [10]. In other words, if these bones, through their parts, form a single anatomical structure (the acetabulum), then these parts should also be named uniformly—in this specific case, as the «bodies» of all three pelvic bones (Fig. 1).

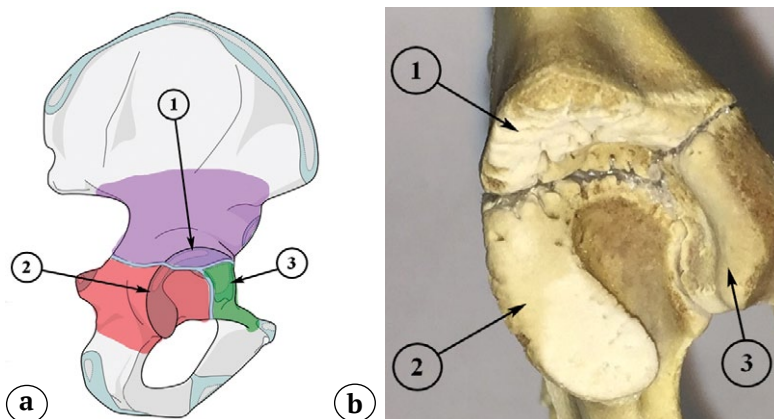


Fig. 1. Shaping of the acetabulum by joining the bodies of the iliac (1), sciatic (2) and pubic (3) bones (a); photo of the child's acetabulum, where the iliac, sciatic, and pubic bones are joined by the Y-shaped cartilage (b)

In the atlas of human anatomy by R.D. Sinelnikov, it is stated: “The body of the pubic bone, corpus ossis pubis, forms the anterior part of the acetabulum and directly continues into the upper branch, which extends forward, downward, and medially” [2]. However, a question arises in this context about the boundaries between the upper and lower branches: where does the upper branch end, and where does the lower branch begin? Which of the branches forms the pubic symphysis? From our perspective, these parameters are necessary for a detailed description of injuries in this area.

To bring clarity to this issue, we propose to divide the pubic bone not into three but into four parts and introduce the term “base”.

Pubic bone base

We propose to designate the “base” as the part of the pubic bone that is located medially and forms the pubic symphysis. It has its boundaries:

- the medial boundary participates in forming the symphysis and determines its height;
- the lower boundary runs horizontally along the lower edge of the pubic symphysis and is perpendicular to the medial boundary;
- the lateral boundary follows the medial edge of the obturator foramen and is parallel to the medial boundary;
- the upper boundary is formed by the upper cortex of the pubic bone and includes the pubic tubercle (Fig. 2).

From the base of the pubic bone, the superior and inferior rami extend. At the lateral end of the superior ramus of the pubic bone is its «body,» which consists of bony mass participating in forming the anterior wall of the acetabulum with cartilaginous covering.

In our view, these terms will help in determining the localization and morphology of pubic bone fractures. According to Nakatani’s classification, fractures in Zone I are located precisely in the area of the pubic bone’s base [11, 12]. In attempts to objectify indications for the optimal treatment method for pelvic ring injuries, some researchers point out that all fractures in this area are the most unstable [13]. However, according to our observations, this is not always the case. Studying the nature of fractures, we divided them into two major groups: the first group includes lines that primarily run vertically, and the second group comprises fractures with lines that predominantly run horizontally and penetrate the pubic symphysis.

Through clinical observations and stress tests under anesthesia, we determined that vertical fractures are unstable and require surgical treatment, unlike horizontal fractures, which are relatively unstable. Vertical fractures can further be categorized into transverse and oblique. Transverse vertical fractures of the pubic bone’s base have their fracture plane predominantly oriented in the sagittal plane (Fig. 3).

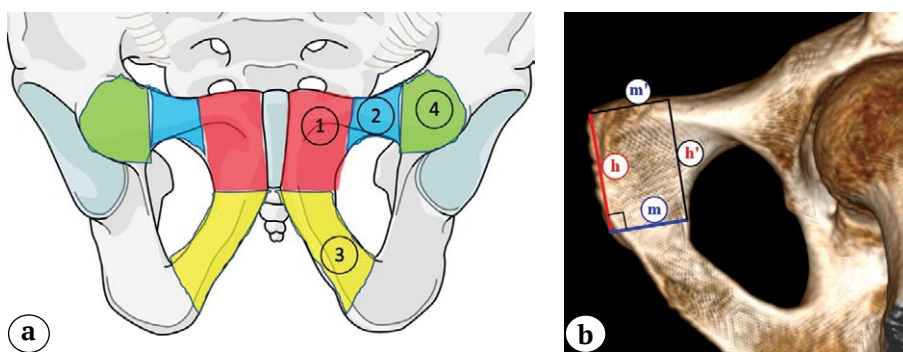


Fig. 2. Division of the pubic bone into four conventional regions:

1 – base; 2 – superior branch; 3 – inferior branch; 4 – body (a);

conventional boundaries of the base of the pubic bone: h – height of the base (red color),

m – width of the base (blue color). Black color indicates the remaining borders of the base h’and m’, which are the sides of the completed rectangle from the sides h and m (b)

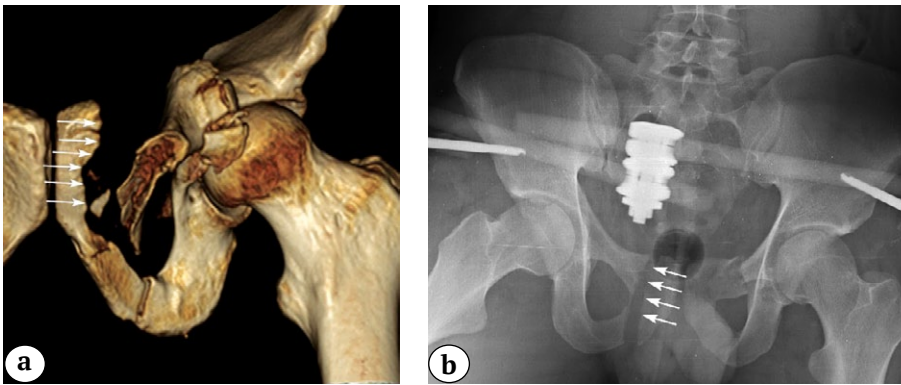


Fig. 3. Vertical transverse fracture of the base of the pubic bone (the arrows indicate the fracture lines):
a – 3D-CT image reconstruction;
b – pelvic X-ray in the AP view

Another type of unstable vertical fracture of the base is the oblique fracture. In this case, the fracture line runs along the base of the pubic bone without affecting the symphysis, forming a distinctive sharp end of the fragment (Fig. 4). We propose to refer to such fractures as «longitudinal fractures of the pubic bone's base.»

Such fractures can potentially be dangerous because the fragments may damage both the bladder and the venous plexus in the prevesical space when the pelvic ring is laterally compressed.

We propose new terms to describe vertical fractures of the pubic bone's base depending on the direction of the fracture lines:

- vertical transverse fractures of the pubic bone's base;
- longitudinal fractures of the pubic bone's base.

Horizontal fractures form the second major group of fractures that are relatively stable and typically do not require fixation. In our view, these fractures result from incomplete symphyseal

disruption. The symphysis is surrounded by ligaments in the form of a cuff, where the upper and lower ligaments are the most robust, while the anterior and posterior ones are the weakest. Deforming forces on the front part of the pelvis lead to the disruption of the anterior symphyseal ligament, continuing to act on the base of the pubic bone in the form of horizontally oriented fractures (Fig. 5). Both the powerful upper and lower symphyseal ligaments can be damaged in the process (Fig. 6).

Thus, in addition to the well-known complete disruption of the symphysis, it is necessary to distinguish partial disruption of the symphysis in the presence of a horizontal fracture of the pubic bone's base. As a result, we propose a straightforward classification of pubic symphysis disruptions:

- incomplete disruption pubic symphysis (with or without displacement);
- complete disruption pubic symphysis (with or without displacement).

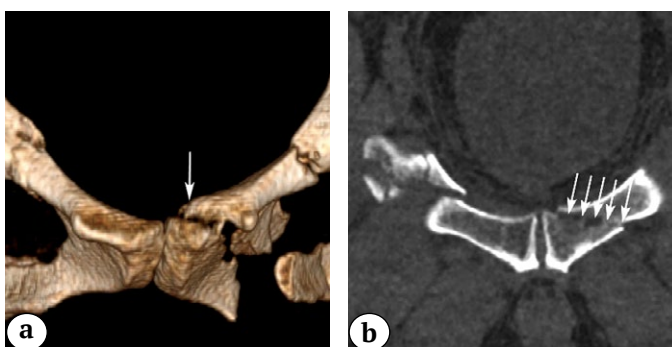


Fig. 4. Longitudinal fracture of the base of the pubic bone with a sharp ending:
a – 3D-CT image reconstruction, the arrow indicates the sharp end of bone fragment;
b – 2D-CT image reconstruction in the axial view, the arrows indicate the direction of the fracture along the base of the pubic bone

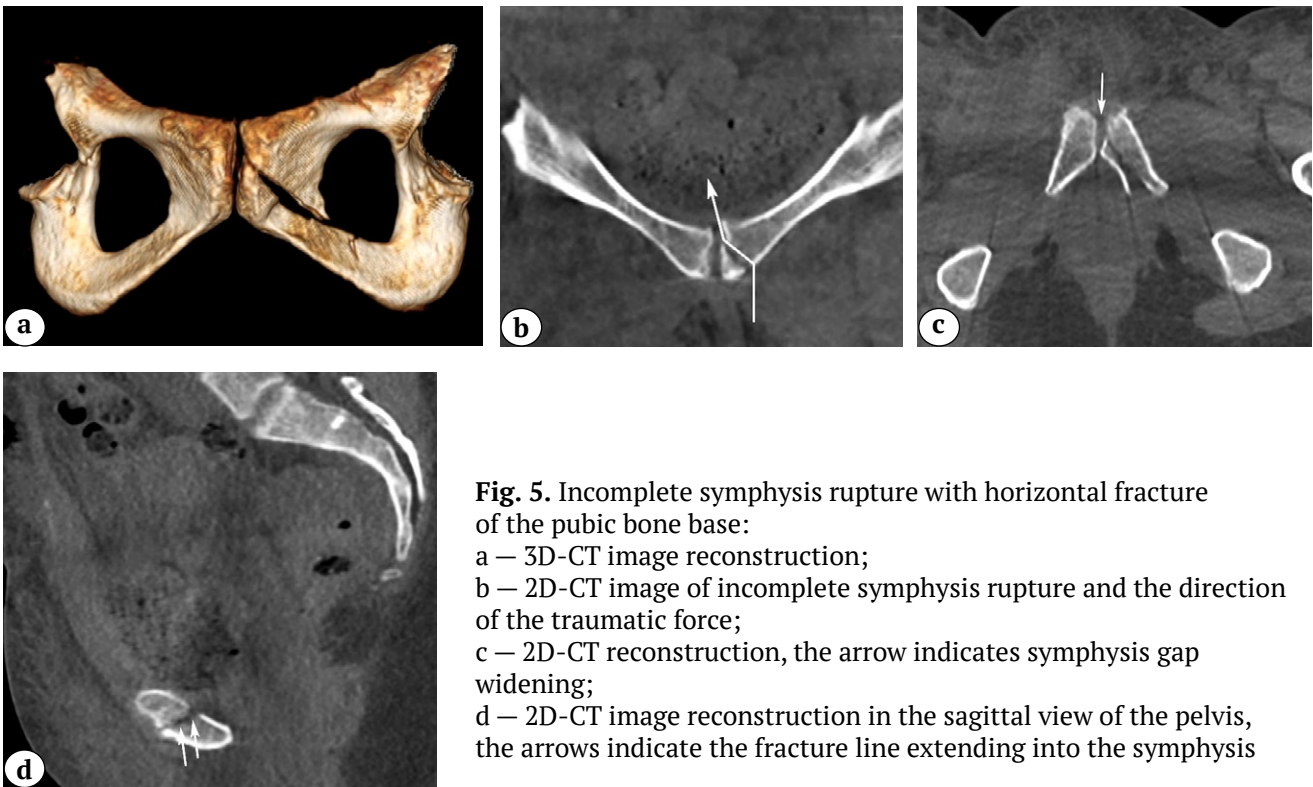


Fig. 5. Incomplete symphysis rupture with horizontal fracture of the pubic bone base:
 a – 3D-CT image reconstruction;
 b – 2D-CT image of incomplete symphysis rupture and the direction of the traumatic force;
 c – 2D-CT reconstruction, the arrow indicates symphysis gap widening;
 d – 2D-CT image reconstruction in the sagittal view of the pelvis, the arrows indicate the fracture line extending into the symphysis

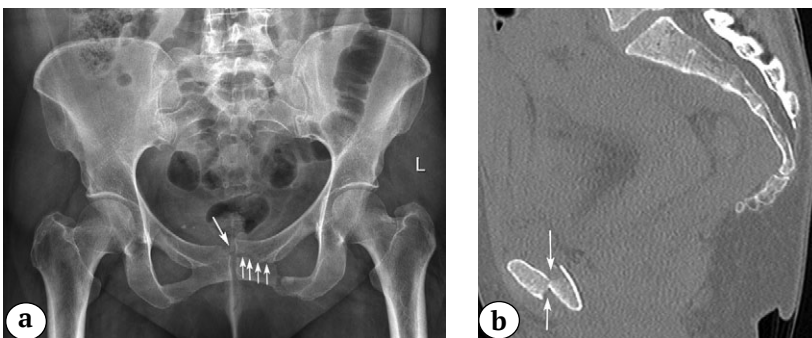


Fig. 6. Pelvis X-ray in the AP view. The arrows indicate the rupture of the superior ligament of the symphysis and partial widening of the symphysis, horizontal fracture of the base of the pubic bone (a); 2D-CT image reconstruction of the pelvis in the sagittal view. The arrows mark the displacement of the fragments (b)

2. Surgical anatomy of the posterior part of the ilium

The concept of “injuries to the posterior part of the iliac bone” includes a wide range of injuries, from sacroiliac joint disruptions to intra-articular fractures of the wing extending into the sacroiliac region (such as crescent fractures, etc.). Additionally, this area has become of interest in a surgical context due to the insertion of sharp-pointed pins for the Ganz anti-shock frame,

cannulated screws during sacrum osteosynthesis, and the application of plate fixation. In surgical guidelines for acetabular surgery, this area lacks a specific name. Given that this area serves as an important anatomical link between the columns of the acetabulum and the axial skeleton, it makes sense to introduce an anatomofunctional name for it. We propose using the term “base of the Ilium” for this area with a definition of its approximate boundaries.

The base of the ilium

The base of the ilium — it is the entire area of the posterior part of the ilium to a hypothetical line drawn along the margin of the greater sciatic notch with complete involvement of the sacroiliac joint (Fig. 7).

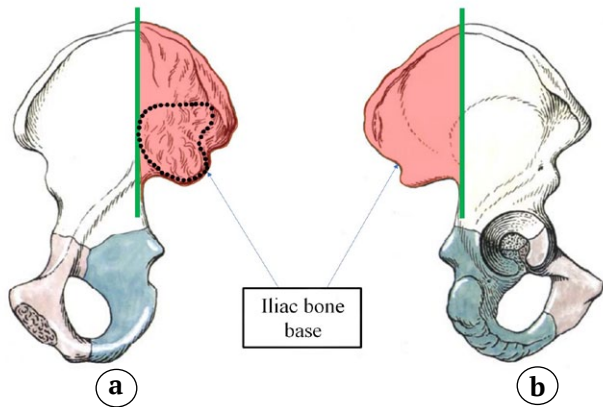


Fig. 7. Conditional localization of the iliac bone base (highlighted in red):

- a — internal view, the dotted line indicates the articular surface of the sacroiliac joint;
- b — outside view

Injuries to the base of the ilium

Atypical injury resulting from lateral compression, which involves the sacroiliac joint, is the crescent fracture. The fracture line runs through the base of the ilium, penetrating the sacroiliac joint space, tearing the anterior sacroiliac ligament, and/or crushing the ala of the sacrum. On X-ray, you can observe the widening of the sacroiliac joint space. Such injuries are classified as AO/OTA type 61 B2.2 or LC-II according to Young-Burgess.

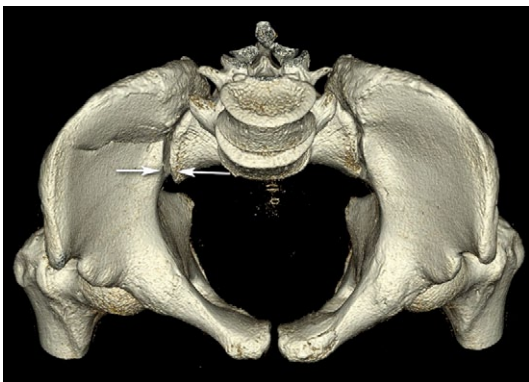


Fig. 8. 3D-CT image reconstruction of the pelvis, the inlet view. The arrows indicate the opening of the SIJ gap less than 1 cm

The crescent fracture forms a fragment of the posterior part of the ilium of varying size, which remains attached to the posterior sacroiliac ligaments, while the anterior ilium segment shifts relative to the sacrum. The smaller the crescent fragment, the more significant the area of the sacroiliac joint surface that remains on the anterior fragment of the ilium. Depending on the extent to which the fracture line penetrates the sacroiliac joint, these injuries are divided into three types according to the classification of A. Day [1]. The choice of treatment for a crescent fracture depends on the size of the joint surface that remains on the anterior fragment of the ilium [4].

The drawback of such an approach is the absence of a commonly accepted Russian equivalent for the term “crescent fracture,” and it doesn’t take into account the degree of displacement of the fragments (subluxation, dislocation). In such situations, we suggest using the phrase “fracture-subluxation” or “dislocation of the ilium base” and specifying the degree of displacement of the ilium base fragment. For example, if there is a fracture with a displacement of less than 1 cm in the sacroiliac joint area, the injury can be described as a “fracture-subluxation of the ilium base” of type II (according to A. Day’s classification) (Fig. 8).

In another case, when there is a fracture with a displacement of more than 1 cm in the sacroiliac joint area, the injury can be described as a “fracture-dislocation of the ilium base” type II according to A. Day’s classification (Fig. 9).

However, when analyzing fractures in the area of the ilium base, we have encountered fractures that do not fit into existing classifications. For example, fractures that run along the entire base of the ilium without penetrating the sacroiliac joint. For such fractures, we propose our own term — “longitudinal fracture of the ilium base” (Fig. 10).

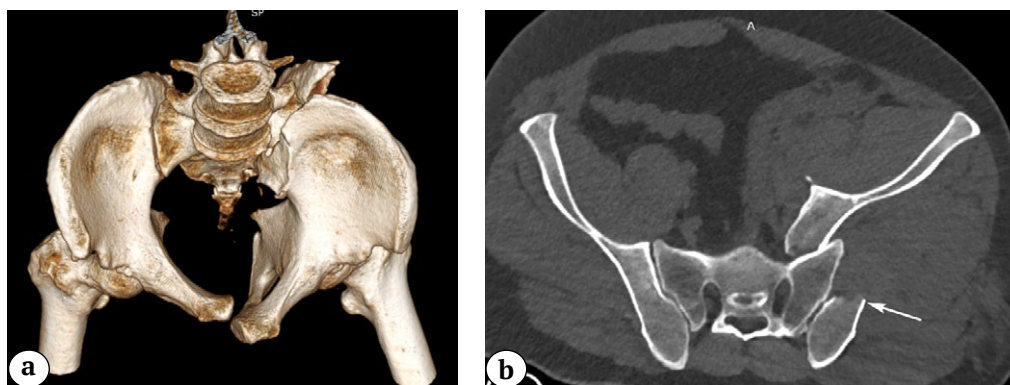


Fig. 9. 3D-CT image reconstruction of the pelvis in the inlet view (a); 2D-CT image reconstruction of the pelvis in the axial view. Displacement of the fragments in the SIJ is greater than 1 cm. The arrow shows the level of the fracture of the iliac base in relation to the CPS, type II according to A. Day (b)

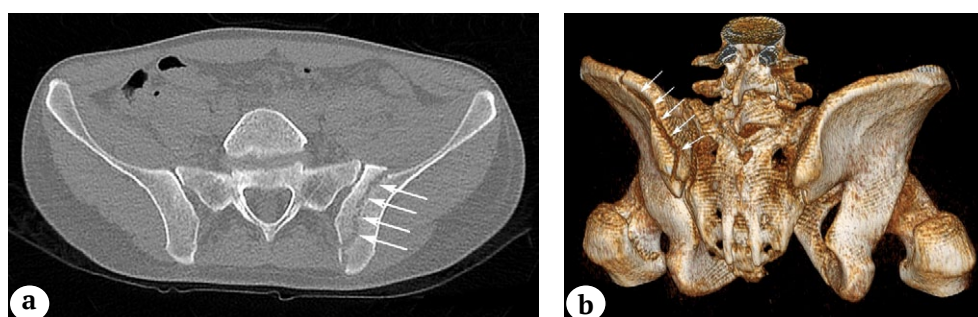


Fig. 10. Longitudinal fracture of the base of the iliac bone: a – 2D-CT image reconstruction in the axial view; b – 3D-CT image reconstruction in the posterior view

Thus, based on our observations, we propose the following classification of injuries in this area, which is based on the degree of displacement of the fragments and is supplemented by the classification of A. Day.

Classification of the injuries to the iliac bone base:

- fracture-subluxation of the iliac bone base (displacement of the fragments less than 1 cm) + type according to the A. Day classification;
- fracture-dislocation of the iliac bone base (displacement of the fragments greater than 1 cm) + type according to the A. Day classification;
- longitudinal fracture of the iliac bone base.

Calcar

The founder of acetabular surgery, E. Letournel, developed a classification for its fractures based on the two-column concept [14, 15]. The area of dense cancellous bone that participates in transferring axial loads from both columns of the acetabulum to the sacrum is referred to as the “sciatic buttress” (Fig. 11).

It represents the area of the inferior posterior part of the iliac bone with the densest cancellous bone tissue, originating at the sacroiliac joint and extending further towards the acetabulum, forming the dome or arch of the greater sciatic notch. If, due to injury, there is a loss of connection between one of the columns and the axial skeleton through this bone region, it can be classified as either an anterior or posterior column fracture. In cases where both columnar connections to the axial skeleton are lost, it should be considered a two-column fracture of the acetabulum.

In the absence of a direct Russian equivalent in domestic literature, the term counterfort would be conceptually close, although it is primarily used in the context of describing cranial bones, such as the frontal-nasal or zygomatic counterfort [16]. However, an equivalent term with a similar meaning that has been used in trauma literature is calcar (for example, “calcar of the femoral neck” or “calcar of the shoulder”). Given that this structure is located in the inferior part of the iliac bone, we propose the following term for its designation: “calcar of the iliac base”.

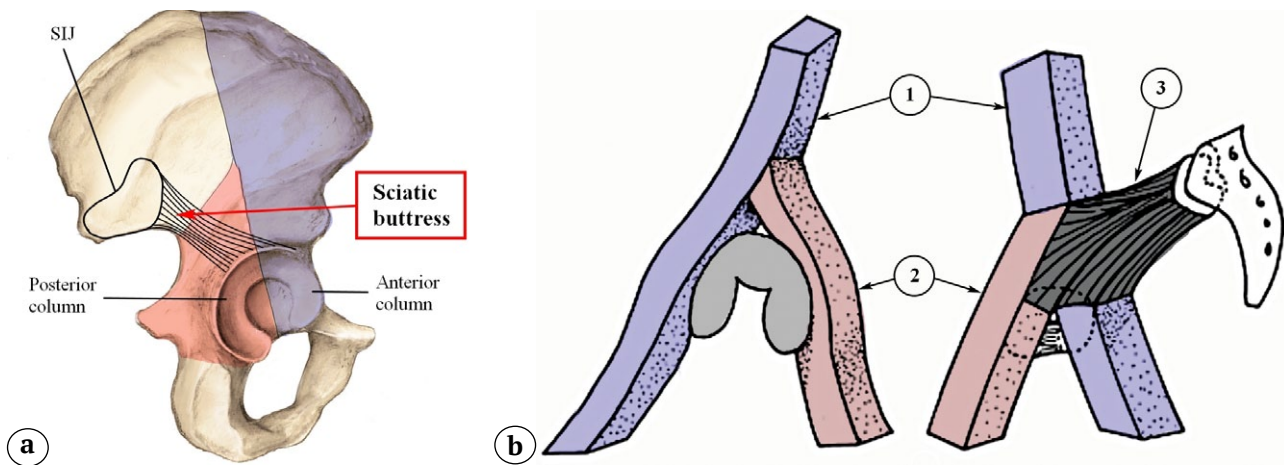


Fig. 11. Conditional localization of the sciatic buttress in the posterior iliac bone according to E. Letournel: a – outside view; b – scheme of the two-column concept of the acetabulum according to E. Letournel: 1 – anterior column, 2 – posterior column, 3 – sciatic buttress

Calcar spike

In the practice of traumatologists, there are some cases of transrectal fractures of the acetabulum with the extension of the fracture line into the calcar region, forming a characteristic sharp end called a “calcar spike.”

The morphology of such a fracture is determined by the orientation of the bone trabeculae in this area (see Figure 12). A similar phenomenon can be observed in nature – wood always splits along its fibers. Similarly, in the case

of pelvic fractures, the fracture line extends from the acetabulum to the calcar, splitting it along the bone trabeculae, resulting in the formation of a sharp end (calcar spike) (Fig. 13).

The calcar spike is an important diagnostic sign. It is a pathognomonic feature of high (transtectal or juxtatectal) fractures of the posterior column or transtectal fractures of the acetabulum, which require surgical treatment to restore joint congruence.

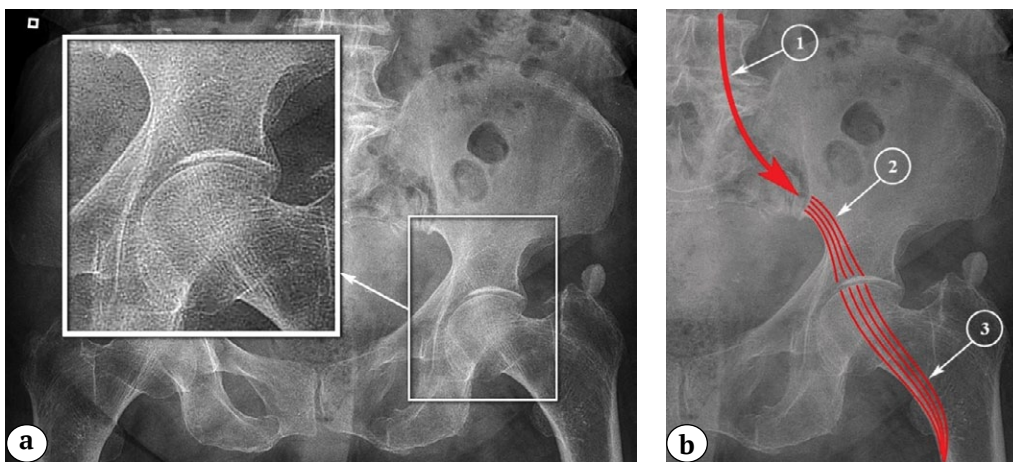


Fig. 12. Shaping of bone trabeculae along force loads through the femoral neck and femoral head on the iliac calcar (a); distribution of loads on bone trabeculae along the vertebral column, iliac base calcar, and hip (b). 1 – vertebral column, 2 – iliac base calcar, 3 – femoral neck

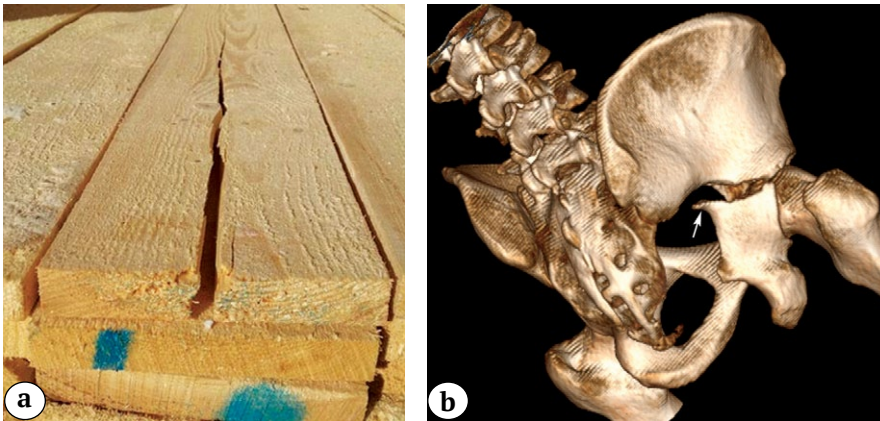


Fig. 13. Splitting of wood along fibers (a); splitting of the iliac bone along calcar trabeculae with formation of a sharp calcar spike (b)

The clinical interest in this situation primarily arises from the intimate proximity of the relatively large superior gluteal artery and the sciatic nerve to the sharp end of the posterior column fracture (Fig. 14a). The artery and nerve can be damaged both directly during the trauma and iatrogenically when attempting to expose them during open reduction of the fracture. Intraoperative bleeding from the superior gluteal artery can pose an existential threat to the patient and requires careful preoperative preparation. Damage to the sciatic nerve can lead to neurological deficits, potentially resulting in impaired lower limb support function and significant pain syndrome.

In our opinion, when a calcar spike is present, it is advisable to perform a pelvic CT scan with contrast to visualize the vessels of the internal iliac artery and rule out damage to the superior gluteal artery. If the artery is already damaged

or is at a safe distance from the spike's tip, open reduction can be performed using the conventional technique.

In cases where the calcar spike is in close proximity to the preserved superior gluteal artery, we recommend performing an osteotomy of a sharp end of spike that is in contact with the vessel (Fig. 14b). This approach significantly reduces the risk of damaging the artery during its dissection and repositioning maneuvers with the remaining fragment of the posterior column.

For surgeons with sufficient experience and specialized instruments, it is possible to carefully dissect the calcar spike from soft tissues and perform open reduction using the “palisade technique” with the use of J. Matta’s forceps [17]. Thanks to the high bone density in the calcar region, the fragment does not split even under substantial repositioning forces (Fig. 15).

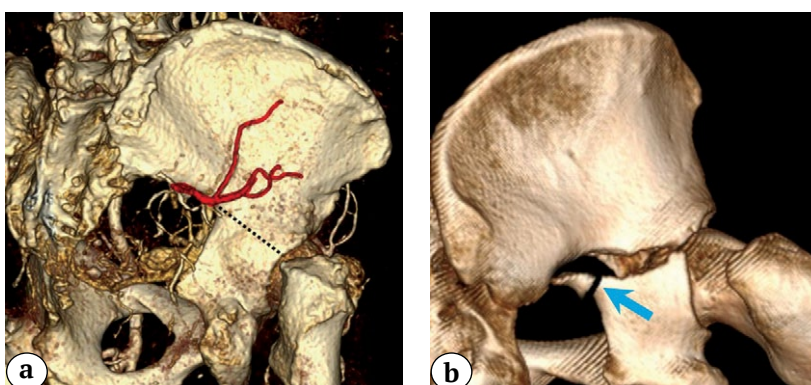


Fig. 14. Superior gluteal artery (a); osteotomy of the calcar spike, the arrow marks the level of osteotomy (b)

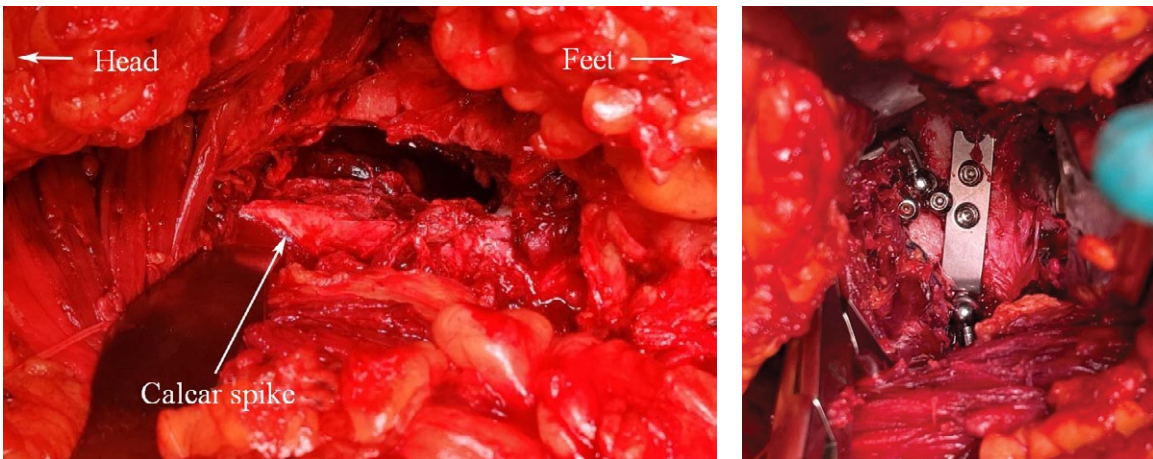


Fig. 15. Open reduction of the calcar spike with Matta clamp and plate fixation

3. Intraosseous canals

With the advent of the method of fixation of long bone fractures with interlocking nails, assessment of the anatomy of the intraosseous canal (its size, localization of narrowing (isthmus), etc.) has become an important parameter for the correct choice of fixator and successful intramedullary osteosynthesis. The intraosseous canal of long bones is a natural anatomical cavity that is limited by a diaphyseal bone tube filled with bone marrow or fat and is called the “medullary canal”. The isthmus is the narrowest part of the bone canal. The inner surface of the isthmus of tubular bones can be visualized in the form of an “hourglass” (a single-cavity hyperboloid).

In pelvic fracture surgery, intramedullary fixators such as screws and intramedullary nails are also used. However, unlike long bones, flat bones of the pelvis lack natural canals, and they primarily consist of cancellous tissue surrounded

by a thin cortical layer. Nevertheless, specific areas within these flat bones can be identified for the placement of appropriate fixators [18].

To denote the bone canal in the flat bones of the pelvis for the subsequent placement of a fixator, we propose using the term «bone corridor» (Fig. 16). The bone corridor is a virtual space within the flat bone that allows the safe placement of a fixator. It comprises various possible positions (trajectories) for the fixator’s placement without breaching the cortical layer.

The shape of the bone corridor depends on the type of fixator. For example, in the case of a straight screw, the bone corridor appears cylindrical, with its maximum diameter matching the narrowest point within the bone along its placement. In the case of a curved fixator, the bone corridor typically has a broader but more complex geometry. It takes on a triangular shape with a complex curved convex surface,

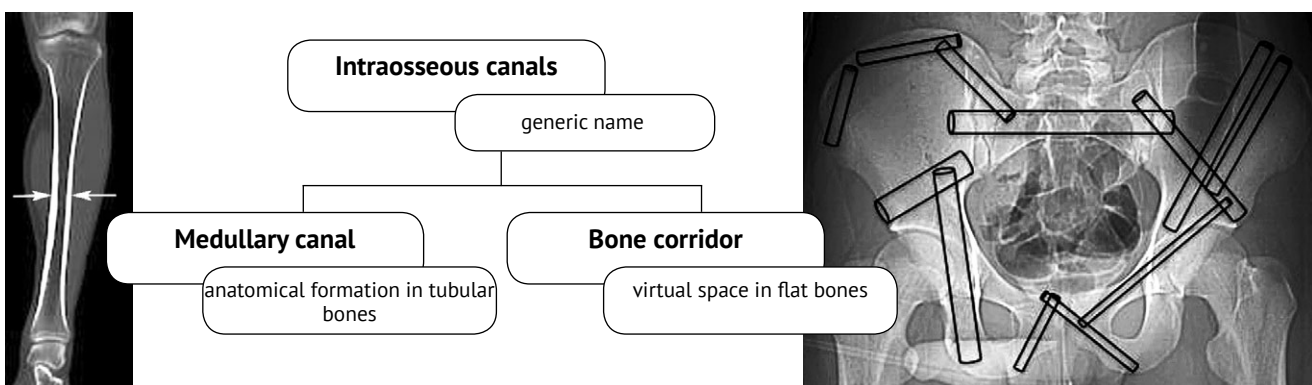


Fig. 16. A set of terms to define medullary and intraosseous canals in tubular and flat bones

with its vertex located at the point where the fixator is introduced. The curvature follows the curve of the linea terminalis, and the convexity corresponds to the curvature of the acetabular dome. The thickness of such a corridor matches the narrowest part of the bone (the isthmus) where it is located (Fig. 17).

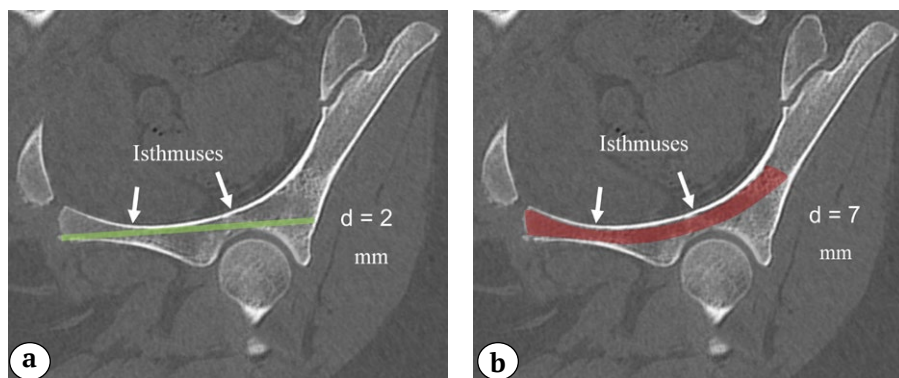


Fig. 17. CT scan of the pelvis in the axial view at the level of the acetabulum:
a – bone corridor for a straight fixator with a diameter of 2 mm;
b – bone corridor for a curved fixator with a diameter of 7 mm

CONCLUSIONS

This study has led to the development and presentation of new anatomical terms designed for use in pelvic surgery. Based on the data analysis, their importance and applicability for improving communication and information exchange in this complex field of surgery have been affirmed.

According to S. D. Denisov and colleagues, «For the successful implementation of a unified anatomical terminology, it is not enough to simply develop, approve, and publish it. There should also be motivation for its widespread use. Terminological discipline should have organizational and administrative support from both government organizations and professional associations» [19]. Psychological acceptance of the need to transition to new terminology by specialists is also important because «criticism of outdated or irrelevant terms can provoke protest and be seen as an attack on tradition» [20].

The implementation of new anatomical terms into clinical practice will significantly improve the accuracy of diagnosis, planning, and execution of surgical interventions for severe pelvic injuries. Standardizing the terminology will help systematize treatment approaches and facilitate the exchange of experiences among medical specialists, ultimately enhancing the quality of surgical care for patients with pelvic bone fractures.

Isthmuses in pelvic bones, unlike long bones, are typically irregularly shaped slit-like spaces located between the nearest cortical plates.

Consequently, this allows for the use of larger-diameter curved implants (nails) in contrast to straight ones (screws, nails). In most cases, this provides an advantage in fixation stability.

Key findings from the conducted research are as follows:

- the bodies of the pelvic bones form joints (the acetabulum);
- the bases of the pelvic bones form articulations (the pubic symphysis, sacroiliac joint);
- calcar is the densest area of the ilium base, responsible for transmitting loads from the sacrum to the acetabulum and vice versa;
- calcar spike is a typical fracture of the ilium base in the area of the calcar with the formation of a pointed fragment;
- in flat pelvic bones, the concept of the «bone corridor» should be emphasized, which is a species notion related to the term «intramedullary canal» and essentially represents a virtual space with geometry dependent on the implant's shape.

DISCLAIMERS

Author contribution

Zadneprovskiy N.N. – study concept and design, data analysis and interpretation, literature search and analysis, writing the article.

Kulikov V.V. – literature search and analysis, drafting the article.

Vladimirova Ya.B. – literature search and analysis, drafting the article.

Ivanov P.A. – data analysis and interpretation, drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

- Day A.C., Kinmont C., Bircher M.D., Kumar S. Crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint: a functional classification. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(5):651-658. doi: 10.1302/0301-620X.89B5.18129.
- Sinelnikov R.D., Sinelnikov Ya.R. *Atlas of human anatomy.* In 4 vol. Moscow: Medicine; 1989. Vol. I. 344 p. (In Russian).
- Bandovic I., Holme M.R., Futterman B. *Anatomy, Bone Markings.* 2021. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.
- Browner B.D., Jupiter J.B., Krettek C., Anderson P.A. *Skeletal Trauma.* 6th ed. Elsevier; 2020. 2400 p.
- Rohen J.W., Yokochi Ch., Lütjen-Drecoll. *Large Atlas of Anatomy.* Moscow: AST; 2003. 512 p. (In Russian).
- Feneis H. *Pocket Atlas of Human Anatomy Based on the International Nomenclature.* Minsk: Vysshaya shkola; 1996. 464 p. (In Russian).
- Gänsslen A., Lindahl J., Grechenig S., Füchtmeier B. (eds.) *Pelvic Ring Fractures.* Cham: Springer; 2021. 631 p.
- Miller M.D. *Orthopaedic Surgical Approaches.* 2nd ed. Saunders/Elsevier; 2014. 599 p.
- Samusev R.P., Lipchenko V.Ya. *Atlas of human anatomy.* 4th ed. Moscow: Onyx 21st Century; 2003. p. 46. (In Russian).
- Sapin M.R., Nikityuk D.B., Revazov V.S. *Human anatomy.* 5th ed. Moscow: Medicine; 2001. Vol. 1. p. 190. (In Russian).
- Starr A.J., Nakatani T., Reinert C.M., Cederberg K. Superior pubic ramus fractures fixed with percutaneous screws: what predicts fixation failure? *J Orthop Trauma.* 2008;22(2):81-87. doi: 10.1097/BOT.0b013e318162ab6e.
- Kanakaris N.K., Giannoudis P.V. Pubic Rami Fractures. In: Lasanianos N.G. et al. (eds.). *Trauma and Orthopaedic Classifications: A Comprehensive Overview.* London: Springer-Verlag; 2015. p. 275-276.
- Beckmann J., Haller J.M., Beebe M., Ali A., Presson A., Stuart A. et al. Validated Radiographic Scoring System for Lateral Compression Type 1 Pelvis Fractures. *J Orthop Trauma.* 2020;34(2):70-76. doi: 10.1097/BOT.0000000000001639.
- Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(151):81-106.
- Judet R., Judet J., Lanzetta A., Letournel E. Fractures of the acetabulum. Classification and guiding rules for open reduction. *Arch Orthop.* 1968;81(3):119-158. (In Italian).
- Kalmin O.V. *Human anatomy in tables and diagrams.* 2nd ed. Penza; 2015. 330 p.
- Zadneprovskiy N.N., Ivanov P.A., Nevedrov A.V. Palisade Technique — the New Method for Open Reduction of Pelvic Fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(3):94-100. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-94-100.
- Bishop J.A., Routt M.L.Jr. Osseous fixation pathways in pelvic and acetabular fracture surgery. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;72(6):1502-1509. doi: 10.1097/TA.0b013e318246efe5.
- Denisov S.D., Yaroshevich S.P. Use of anatomical terminology in medical education, science and practice. *Healthcare (Minsk).* 2013;(1):18-20. (In Russian).
- Abaev Yu.K. Doctor's speech culture. *Healthcare (Minsk).* 2011;(1):30-34. (In Russian).

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

Vladislav V. Kulikov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0009-0007-2904-7135>

e-mail: vvk@rsmu.ru

Yana B. Vladimirova — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0003-0308-6081>

e-mail: yv.anatomy@gmail.com

Pavel A. Ivanov — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: ipamailbox@gmail.com



Knee Arthroplasty in Chronic Hemodialysis Patients: Standard Surgery or Complex Case?

Alexander N. Tsed, Nikita E. Mushtin, Alexander K. Dulaev, Anton V. Schmeljew

*Pavlov First Saint Petersburg State Medical University,
St. Petersburg, Russia*

Abstract

Background. Chronic hemodialysis significantly increases the risks associated with knee replacement. Among the late complications of knee arthroplasty in hemodialysis patients, deep periprosthetic joint infection (PJI) and aseptic loosening are more frequent. The frequency of revision interventions in patients with end-stage kidney disease (ESKD) is substantially higher compared to patients with normal kidney function.

The aim of the study – based on the perioperative parameters and midterm outcomes to justify the primary knee replacement in chronic hemodialysis patients as complex case of arthroplasty.

Methods. A retrospective randomized single-center cohort study was conducted, including 62 patients with various forms of knee osteoarthritis. Patients were divided into two groups: Group 1 – 29 (46.8%) patients with end-stage renal disease (ESRD) undergoing dialysis, Group 2 – 33 (53.2%) patients without kidney pathology. The average follow-up period in both groups was 3.7 years (min – 1, max – 6). The following parameters were assessed: patient age, length of hospital stay, morphocortical index, body mass index (BMI), duration of hemodialysis, functional assessment of the knee joint using the KSS Function Score and Forgotten Joint Score-12 (FJS-12), radiological results on the KRESS, and the frequency of various complications.

Results. In Group 1, patients had significantly lower BMI compared to Group 2. Length of hospital stay in Group 1 were 1.7 times longer. According to the KSS Function Score, no significant differences were observed between the groups in the first 36 months after the operation. However, by the 4th year of follow-up, average KSS Function Score in Group 1 decreased to 77.3 points, which was due to infectious complications. The FJS-12 showed worse scores in Group 2, averaging 68.7 points. After more than three years post-operation, no statistically significant differences were observed between the groups, which was associated with an increase in the number of complications in Group 1. Results on the KRESS after 43 months did not differ between the groups and averaged 4.8 points. Group 1 had more orthopedic complications and cases of PJI, accounting for 7 out of 37.

Conclusions. Age and constitutional characteristics of patients undergoing hemodialysis significantly differ from the normal population. The frequency of complications in Group 1 was 23.5%. These patients require the implantation of more constrained implant components and modular systems. Therefore, primary knee replacement in hemodialysis patients can be classified as a complex case of arthroplasty.

Keywords: knee arthroplasty, chronic hemodialysis, chronic kidney disease.

Cite as: Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Schmeljew A.V. Knee Arthroplasty in Chronic Hemodialysis Patients: Standard Surgery or Complex Case? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):101-112. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16495>.

✉ Nikita E. Mushtin; mushtin.nikita@yandex.ru

Submitted: 28.09.2023. Accepted: 24.11.2023. Published Online: 29.11.2023.

© Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Schmeljew A.V., 2023



Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай?

А.Н. Цед, Н.Е. Муштин, А.К. Дулаев, А.В. Шмелев

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

Реферат

Актуальность. Хронический гемодиализ существенно увеличивает риски при эндопротезировании коленного сустава (ЭП КС). Среди поздних осложнений ЭП КС у пациентов, находящихся на гемодиализе, чаще встречаются глубокая перипротезная инфекция (ППИ) и асептическое расшатывание. Частота ревизионных вмешательств у пациентов с терминальной стадией хронической болезни почек (ХБП) существенно выше по сравнению с пациентами без патологии почек.

Цель исследования — на основании оценки периоперационных показателей и среднесрочных результатов первичного эндопротезирования коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе, обосновать необходимость отнесения данной категории операций к сложным случаям.

Материал и методы. Проведено ретроспективное рандомизированное одноцентровое когортное исследование, в которое вошли 62 пациента с различными формами гонартроза. Пациенты были разделены на две группы: группа 1 — 29 (46,8%) пациентов с терминальной стадией ХБП, находящихся на диализе, группа 2 — 33 (53,2%) пациента без патологии почек. Средний период наблюдения в обеих группах составил 3,7 года (min — 1, max — 6). Оценивали следующие показатели: возраст пациентов, длительность нахождения в стационаре, морфо-кортикальный индекс, индекс массы тела (ИМТ), длительность гемодиализа, функциональные показатели коленного сустава в баллах по шкале KSS Function Score и шкале забытого сустава (FJS-12), рентгенологические результаты по шкале KRESS, частоту различных осложнений.

Результаты. У пациентов группы 1 ИМТ был значимо ниже по сравнению с пациентами группы 2. Сроки госпитализации в группе 1 были выше в 1,7 раза. По шкале KSS Function Score в первые 36 мес. после операции значимых различий между группами не выявлено, однако к 4-му году наблюдения в группе 1 средние показатели по KSS Function Score снизились до 77,3 баллов, что обусловлено инфекционными осложнениями. По шкале FJS-12 в группе 2 показатели были хуже — в среднем 68,7 балла. В сроки более трех лет после операции статистически значимой разницы между группами выявлено не было, что связано с увеличением количества осложнений у пациентов в группе 1. Результаты по шкале KRESS через 43 мес. между группами не отличались и составили в среднем 4,8 балла. В группе 1 было больше ортопедических осложнений и случаев ППИ — 7 из 37.

Заключение. Возрастные и конституционные характеристики пациентов, находящихся на гемодиализе, существенно отличаются от больных обычной популяцией. Частота ортопедических осложнений в этой группе составила 23,5%. Им необходимо имплантировать более связанные компоненты эндопротезов и модульные системы. Поэтому первичное эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе, можно отнести к категории сложных.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава, хронический гемодиализ, хроническая болезнь почек.

Для цитирования: Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., Шмелев А.В. Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай? *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(4):101-112. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16495>.

Муштин Никита Евгеньевич; mushtin.nikita@yandex.ru

Рукопись получена: 28.09.2023. Рукопись одобрена: 24.11.2023. Статья опубликована онлайн: 29.11.2023.

© Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., Шмелев А.В., 2023

BACKGROUND

Knee replacement is the most effective surgical treatment for all etiological forms of grade II-III knee osteoarthritis. Modern international and domestic publications indicate an annual increase in the number of knee arthroplasty with good long-term component survival rates [1, 2, 3, 4, 5].

The presence of end-stage chronic kidney disease (CKD) in a patient significantly increases the risks of complications during surgery, such as bleeding, acute cardiovascular events (atrial fibrillation, myocardial infarction, pulmonary edema, pulmonary embolism, etc.), and intraoperative periprosthetic fractures [6, 7, 8]. Late complications of knee arthroplasty in hemodialysis patients include deep periprosthetic joint infection (PJI), with rates up to 18% [9, 10, 11], and aseptic loosening, with a rate of 16% [12, 13]. In domestic publications, this problem is not sufficiently addressed.

The prevalence of end-stage CKD is exponentially increasing in all countries [14]. Given the increasing need for knee replacement, including in hemodialysis patients, there may be an increase in revision surgeries in the near future. Consequently, there is a growing need for a more thorough analysis of primary knee replacement outcomes in patients undergoing chronic hemodialysis and the development of preoperative preparation schemes, including correction of calcium-phosphorus metabolism disorders, acid-base status, anemia, bone mineral density, thromboprophylaxis, and reduction of the risk of infectious complications.

The aim of this study is to justify the classification of knee replacement in patients undergoing chronic hemodialysis as difficult cases based on the assessment of perioperative parameters and midterm outcomes.

METHODS

Study design

We conducted a retrospective randomized single-center cohort study, which included 62 patients with various pathogenetic forms of gonarthrosis. These patients underwent knee replacement performed by a single surgical team at the Pavlov First State Medical University of St. Petersburg from 2016 to 2022.

Inclusion criteria:

- grade 2-3 knee osteoarthritis according to the N.S. Kosinskaya classification [15];
- bone defects of type 1-2A according to the AORI classification [16];
- no previous knee surgeries;
- no severe knee trauma with hemarthrosis;
- full weight-bearing allowed no earlier than 4 weeks post-surgery.

Exclusion criteria:

- grade 1 knee osteoarthritis according to the N.S. Kosinskaya classification;
- severe varus/valgus deformities of the knee;
- history of lateral or medial collateral ligament ruptures/injuries leading to knee instability;
- active infectious processes in the knee area in the preoperative period.

All patients were divided into two study groups: Group 1 consisted of 29 (46.8%) patients (34 knee replacement) with end-stage chronic kidney disease (ESKD) 5D stage (chronic hemodialysis), and Group 2 included 33 (53.2%) patients (37 surgeries) with various forms of knee osteoarthritis without kidney pathology. The average follow-up period in both groups was 3.7 years (min – 1, max – 6). The main characteristics of the patients are presented in Table 1.

Patients in both groups were comparable in terms of the severity of knee osteoarthritis, the extent of preoperative examination, and postoperative management. Patients in both study groups were randomly selected based on the use of implants from a single manufacturer (Zimmer NexGen, Warsaw, USA), but with different degrees of constraint, ranging from cruciate retaining (CR) to varus-valgus constrained (VVC). Fully constrained systems (RHK – rotational hinge knee) were excluded from the study during the group selection process (Table 2).

In both study groups, bone cement with gentamicin (Syncem 1G, 40 g) was used for component fixation.

The average duration of hemodialysis before surgery in patients in Group 1 was 7.7 years (min – 1, max – 15 years). Hemodialysis procedures were performed no later than 24 h. before arthroplasty to minimize complications related to the cardiovascular system and fluid-electrolyte balance during surgery. The quality of hemodialysis was assessed by calculating the kt/V clearance coefficient, which was 1.34

Table 1

Characteristics of patients

Parameter	Group I (n = 29) 34 operations	Group 2 (n = 33) 37 operations	p
Gender, n (%)			
Male	6 (20.6)	9 (27.7)	–
Female	23 (79.4)	24 (72.3)	
Mean age, years , M±SD; Me (Q1–Q3)	57.1±8.7; 58 (53.25–63.00)	66.7±9.5; 64 (60.00–76.00)	0.00002
BMI, M±SD	23.8±3.1	30.9±4.3	0.00001
Affected side, n (%)			
right	19 (55.9)	18 (48.6)	–
left	15 (44.1)	19 (51.4)	
Deformation of knee, n (%)			
varus	30 (88.3)	34 (91.9)	–
valgus	4 (11.7)	3 (8.1)	
Mean duration of hospital stay, days; Me (min/max)	15.3; 14 (8/33)	8.8; 9 (5/15)	0.00001
Morphocortical index of tibial bone (Bernard-Lavallee-Zhentet)*, units.; Me (min/max)	35.3; 33 (21/57)	40.8; 40 (28/51)	0.002

*Reference: Marx V.O. Orthopedic diagnostics. Minsk: Science and Technology. 1978. P. 504-505.

Table 2

Main characteristics of implants

Implant characteristic	Group 1 (n = 34)	Group 2 (n = 37)
Prosthesis fixation method:		
CR	2 (5.9%)	31 (83.8%)
PS (posterior stabilized)	28 (82.4%)	5 (13.5%)
VVC	4 (11.7%)	1 (2.7%)
Tibial component modularity:		
All Poly	7 (20.6%)	29 (78.4%)
Metal-back	24 (70.6%)	7 (18.9%)
Precoat + stem	3 (8.8%)	1 (2.7%)
Femoral component modularity:		
Standard femoral component	33 (97.1%)	37 (100%)
Revision component + stem	1 (2.9%)	0
Bone defect replacement:		
Cement	4 (11.7%)	2 (5.4%)
Autograft	2 (5.9%)	3 (8.1%)
Allograft	0	0
Metal augment	4 (11.7%)	1 (2.7%)

for all patients, indicating the adequacy of the dialysates used in the preoperative period.

Both groups of patients received tranexamic acid infusion and thromboprophylaxis according to the new guidelines for the prevention, diagnosis, and treatment of thromboembolic complications in traumatology and orthopedics approved in 2022 [17]. Standard antibiotic prophylaxis for hemodialysis patients, as approved by local regulations, involved the use

of protected penicillins in reduced doses and less frequent administration for 5 days after the hemodialysis procedure. Full weight-bearing was allowed only 4-6 weeks after surgery.

The severity of osteoporosis in patients in both study groups was determined by X-ray using the Bernard-Laval-Zhentet morphocortical index. Normal values for this index are within 48±9 units, and a value below 40 units indicated osteoporosis of the proximal tibia.

Results assessment

In the preoperative period, the condition and function of the knee joint were assessed using the KSS Function Score [18]. During the clinical examination, tests for varus-valgus stress, Lachman's test, "anterior and posterior drawer tests" were performed, and the degree of osteoporosis was assessed based on standard X-rays and, if necessary, CT data. During surgery, the average duration of the operation, the volume of perioperative blood loss, hemodynamic stability parameters, and the type of constraint of the components based on collateral ligament balance and the integrity of the posterior cruciate ligament (PCL) were evaluated. Functional parameters according to the KSS Function Score were assessed at 6 and 12 months, and then annually. FJS-12 scores after knee replacements were assessed at 12 months and subsequently annually [19]. Radiological criteria for aseptic loosening of components according to the KRESS (Total Knee Arthroplasty Roentgenographic Evaluation and Scoring System) were scored on average at 43 months (min – 13, max – 72) [20]. The frequency of various complications was also assessed throughout the observation period.

Statistical analysis

Statistical data analysis was performed using IBM SPSS v. 20 software.

The normality of the distribution of quantitative parameters, such as age, duration of hospitalization, morphocortical index, body mass index (BMI), duration of hemodialysis, functional knee joint characteristics according

to KSS Function Score, FJS-12, and radiological parameters in KRESS, was tested based on the Shapiro–Wilk criterion (modified by J.P. Royston). In case of non-normal distribution of related samples, the Wilcoxon test was used; for unrelated samples, the Mann–Whitney test was used. In cases of normal distribution, Student's t-test for related and unrelated samples was used. To assess the significance of the influence of complications on the presence or absence of chronic hemodialysis, the χ^2 criterion with a likelihood correction and the strength of association according to Pearson's contingency coefficient were used.

RESULTS

The average length of hospital stay differed between the groups. Patients in Group 1, who received hemodialysis three times a week, had a hospital stay that was 1.7 times longer, indirectly indicating higher economic costs for the treatment of one patient.

Functional results based on the KSS Function Score did not statistically differ between the groups in the preoperative period and averaged 48 points (Fig. 1). At 6, 12, 24, and 36 months after surgery, no statistically significant difference in KSS Function Score was observed between the groups. However, by the fourth year after primary knee arthroplasty in the group of patients receiving hemodialysis, the average KSS Function Score decreased to 77.3 points, which is likely due to infectious complications in five patients. In Group 2, only one infectious complication occurred 48 months after arthroplasty.

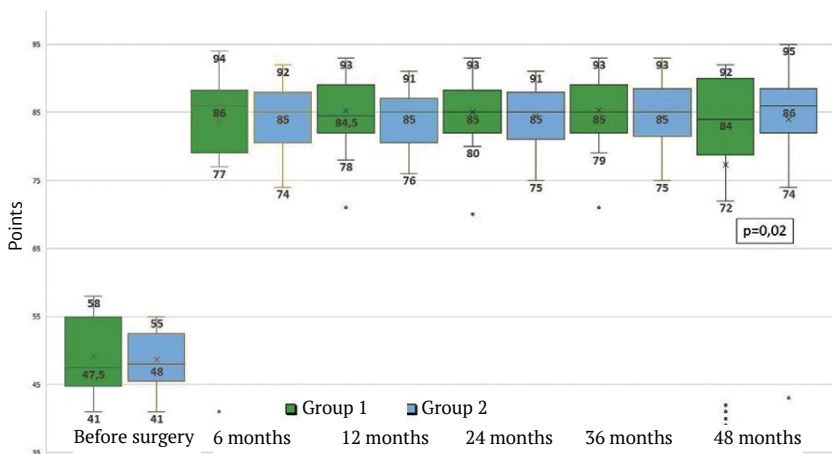


Fig. 1. Knee function assessed using the KSS Function Score in the study groups over the follow-up period

The assessment based on the FJS-12 at 12–36 months after knee replacement in Group 1 patients averaged 77.04 points (SD = 3.9) (Fig. 2). In Group 2 (without terminal kidney pathology), the FJS-12 was lower, averaging 68.72 points (SD = 4.8). A statistically significant difference ($p < 0.0001$) in FJS-12 results between the study groups was observed in the first three years after knee arthroplasty. However, no difference was observed between the groups after three years, likely due to an increase in complications in Group 1. The better FJS-12 in Group 1 in the early postoperative period are likely associated with the presence of severe forms of polyneuropathy that develop in the late stages of ESKD, resulting in a sharp decrease in pain sensitivity thresholds. Therefore, any improvement in physical and functional status, as well as the condition of the nociceptive system, leads to better FJS-12 in hemodialysis patients.

Radiological results according to the KRESS at 43 months did not show a statistically significant difference between the study groups (min – 12, max – 72). Table 3 shows the results based on the number of points obtained by counting the lucency lines in different zones at the "bone-implant" boundary on standard X-rays in anteroposterior and lateral views. There was no component migration observed in patients from both groups after primary knee arthroplasty. However, the high number of observations with borderline values (median = 3; 1–7) in Group 1 indicates

an increasing risk of revision interventions in patients with terminal ESKD after TKR. It is also important to note that according to the KRESS, in 89% of cases, lucency lines were detected on the tibial component.

An example of a clinical case of aseptic loosening of the tibial component leading to infectious complications in a patient from Group 1 after primary knee arthroplasty is shown in Figure 3.

Orthopedic complications after primary knee arthroplasty were predictably more frequent in Group 1 (Table 4).

It is important to note that the total number of complications did not differ between the groups, but the lack of statistical significance suggests the need for further research in this direction. With an increase in the sample size and longer follow-up, the frequency of orthopedic complications may statistically differ between patients who underwent knee replacement with terminal stage ESKD and patients without kidney pathology. However, the frequency of PJI was significantly higher among hemodialysis patients. Additionally, in one patient from Group 1, during the implantation of the tibial component, there was perforation of the lateral wall of the tibia due to severe osteoporosis. After an additional assessment of the severity of the periprosthetic fracture, the decision was made to immobilize the knee joint in an orthosis and restrict weight-bearing for up to 6 weeks.

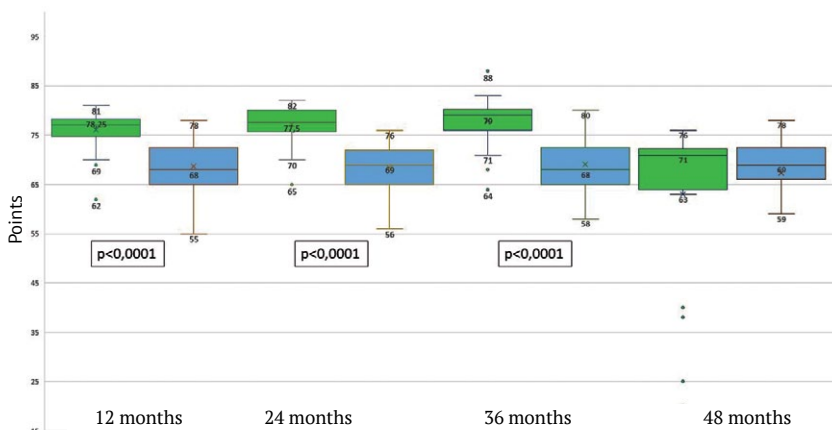


Fig. 2. Mean FJS-12 values

Table 3

Radiological assessment results using the KRESS at an average follow-up period of 43 months

Radiolucent line	Group 1 (n = 34)	Group 2 (n = 37)	p
Less than 4 points – insignificant	23 (67.7%)	34 (91.9%)	0.06
5–9 points – requires dynamic observation	11 (32.3%)	3 (8.1%)	0.05
More than 10 points – component migration	–	–	–

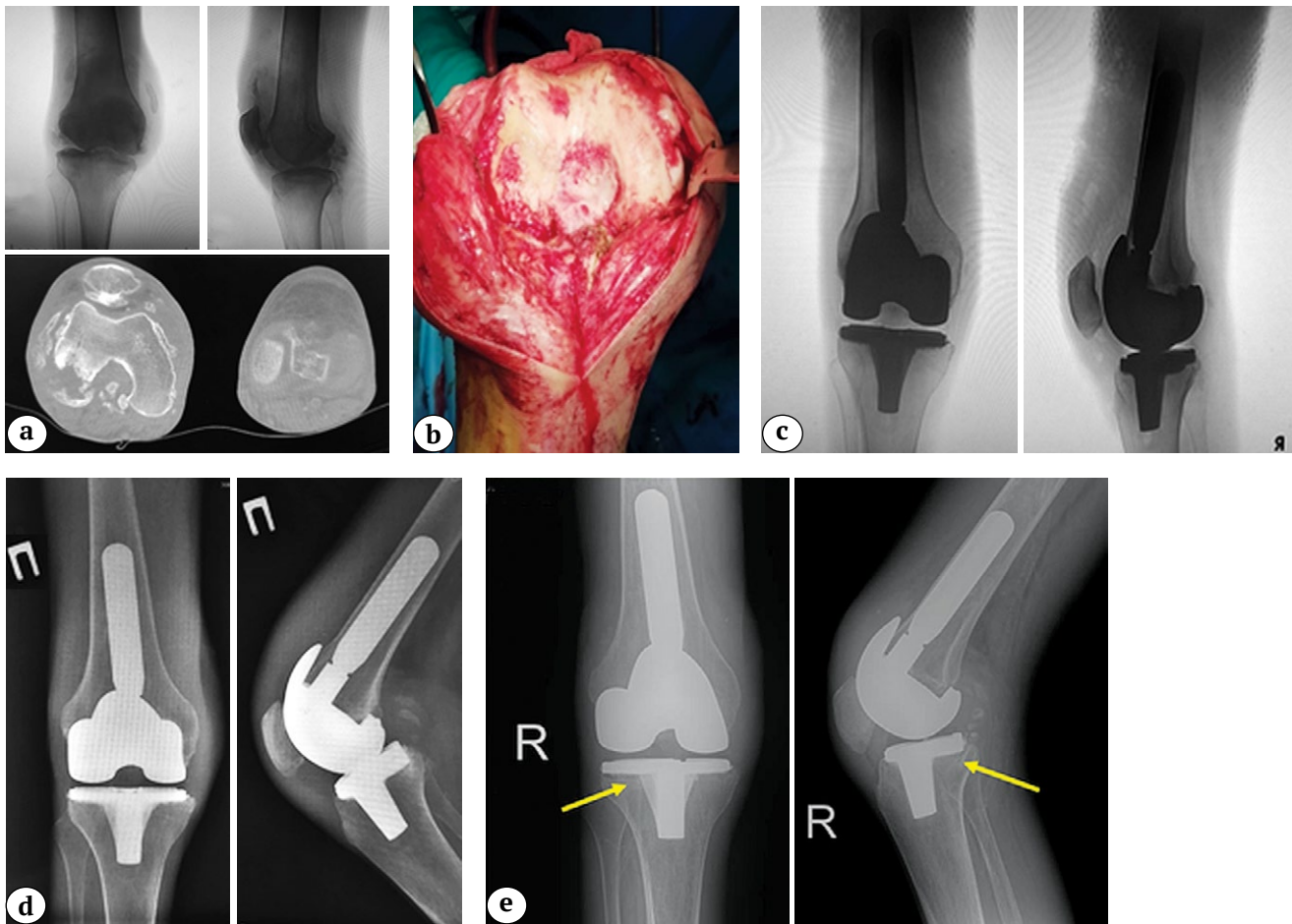


Fig. 3 (a, b, c, d, e). A 32-year-old man with secondary osteoarthritis of the right knee. Concomitant diseases: end-stage chronic kidney disease (5D stage), chronic hemodialysis for 7 years, type 1 diabetes:
 a – X-rays in two projections and CT scans before surgery: a bone defect is detected in the posterolateral part of the lateral femoral condyle;
 b – knee after arthrotomy;
 c – X-rays after knee replacement (a revision femoral component and a standard 100 mm stem; the bone defect was replaced with two metal blocks of 5 mm and 10 mm, posterior-stabilized insert; standard tibial component);
 d – X-rays one year after knee replacement: no signs of osteolysis or component instability are observed;
 e – X-rays of the right knee three years after arthroplasty: radiolucent lines are noted in zones 3, 4, and 2 of the tibial component according to the KRESS (indicated by arrows)



Fig. 3 (f, g). A 32-year-old man with secondary osteoarthritis of the right knee. Concomitant diseases: end-stage chronic kidney disease (5D stage), chronic hemodialysis for 7 years, type 1 diabetes: f – X-rays 3 years and 7 months after knee replacement (an articulating spacer was implanted); g – X-rays 4 years and 2 months after primary knee arthroplasty (an articulating spacer was replaced with a block spacer due to recurrent infection)

Table 4

Structure of complications in the study groups

Complication	Group 1 (n = 34)	Group 2 (n = 37)	p
Aseptic loosening	0	0	–
Periprosthetic fracture	1 (2.9%)	0	>0.05
Periprosthetic joint infection	6 (17.6%)	1 (2.7%)	>0.05
Residual joint contracture	1 (2.9%)	1 (2.7%)	>0.05
Total	8 (23.5%)	2 (5.4%)	0.05

DISCUSSION

Analyzing the average age of patients in the hemodialysis profile who underwent knee arthroplasty, we found that this value (57.1±8.7; Me – 58) was significantly lower compared to the average age of patients without end-stage kidney disease (66.7±9.5; Me – 64 years). This corresponds to the findings of N. Venishetty and colleagues [21]. According to the latest reports from the Swedish Joint Registry, the average age of knee arthroplasty patients is 69.1±9.0 years, in the Joint Registry of England and Wales, it's 70.0±7.0 years, and in the US Joint Replacement Registry, it's 67.2±9.4 years [22, 23, 24].

According to the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics joint replacement registry, this value was 63.4 years in 2019, increasing over

the past few years [25]. The gender distribution of men and women with degenerative changes in the knee joint receiving renal replacement therapy corresponds to the general population (men – 20.6%, women – 79.4%; ratio 1:5).

Special attention should be given to the data obtained when analyzing the degree of constraint of knee arthroplasty components in patients with a hemodialysis profile compared to patients in Group 2 (see Table 2). According to the Joint Registry of England and Wales for 2022, the frequency of cemented knee replacements with retained cruciate ligaments was 62.7%, posterior-stabilized (PS) was 15.3%, and varus-valgus constrained (VVC) was 1.7% [23]. Similar data is presented in the US Joint Replacement Registry: CR knee replacements – 57.4%, PS – 42.5%, VVC – 0.2%, with a trend of increasing the use of

less constrained knee implants in primary knee arthroplasty [24]. Despite the lack of reports in contemporary literature on long-term results of knee replacement using CR and PS systems [26], some studies, such as the work of G. Thuysbaert and colleagues, have reported statistically significant differences in FJS-12 when using CR and PS implants [27]. This largely explains the increasing frequency of less constrained systems in Western European countries. However, in our study, the proportion of CR knee replacements in hemodialysis patients was only 5.9%, PS – 82.4%, and VVC – 11.7%.

The final choice of constraint level of the knee implant was made intraoperatively in both study groups based on the condition of periarticular soft tissues, collateral ligament elasticity, the status of cruciate ligaments, the degree of osteoporosis, and the presence and size of bone defects. In hemodialysis patients, we observed weakness and hyperelasticity of soft tissues, the posterior capsule, ligaments, and muscles surrounding the knee joint in most cases. These were associated with both concomitant renal myodystrophy and deposits of β -2 microglobulin amyloid fibrils around the knee joint, confirmed by histological studies. Additionally, there was the formation of bone cysts in the intercondylar notch of the femur and/or tibia, also filled with β -2 microglobulin amyloid complexes (see Fig. 4).

Similar results were obtained when analyzing the modularity of the tibial component. Among patients in Group 1 receiving hemodialysis, metallic-backed tibial components were implanted in 79% of cases, and only 20.6% had polyethylene monoblocks, which differs from the usage patterns of tibial components in patients without kidney pathology. The work of K.A. Gustke and colleagues reports more frequent use of polyethylene tibial monoblocks in elderly patients [28]. V. Apostolopoulos and colleagues report better 10-year survival rates of All Poly Tibial implants (97.1%) compared to Metal-back Tibial (93.2%) [29].

In patients in Group 1 who had been on chronic hemodialysis for an extended period, various methods of bone defect replacement were required in 29.4% of cases. Such a high frequency of compensating for bone mass deficiency is due to the formation of bone cysts in the intercondylar notch of the femur and/or tibia, also filled with β -2 microglobulin amyloid complexes. According to G.F. Scheumann and colleagues, the most typical locations for the formation of bone cysts in patients on long-term hemodialysis are the femoral head and neck, spine, distal metaphysis of the radius, and the intercondylar notch of the femur [30].

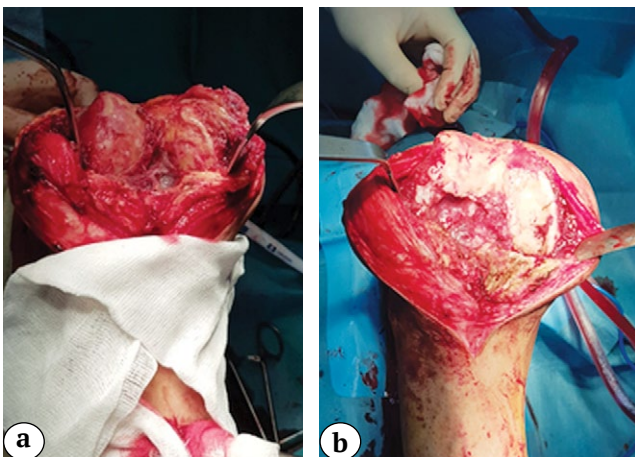


Fig. 4. View of knee joint in patients receiving hemodialysis after arthrotomy:
a – inclusions of β -2 microglobulin amyloid fibrils along the capsule, ligaments, and muscle fibers;
b – bone defect of the lateral femoral condyle with adipose tissue and proteinaceous amyloid complexes replacing the bone tissue in the background of chronic inflammation

One of the most common complications of knee replacement is PJI. According to A.I. Stavakis and colleagues, the frequency of PJI development within 90 days after knee arthroplasty in patients with a hemodialysis profile is 2.66% [12]. In later stages of follow-up, infectious complications in patients on hemodialysis reach 18% or more [9]. In our study, the frequency of infectious complications among patients with end-stage kidney disease after 3.4 years was 17.6%, which is comparable to the literature data. Importantly, we did not observe early infectious complications in the first year after knee replacement, which may be due to both routine use of antibiotic-loaded cement for implant fixation and an individualized approach to extended antibiotic prophylaxis in this patient category.

CONCLUSIONS

Primary knee arthroplasty in patients undergoing chronic hemodialysis treatment can be classified as primary difficult interventions. This is due to the age and constitutional characteristics of patients in the hemodialysis profile, which significantly differ from patients without kidney pathology. The average length of hospitalization for patients with end-stage kidney disease is 1.7 times longer, and the complication rate was 23.5% during an average follow-up period of 3.7 years. During the first three years, better results were observed in terms of KSS Function Score and FJS-12, which may be attributed to concomitant renal polyneuropathy, reducing the pain threshold, and less demanding expectations regarding the outcomes of knee arthroplasty. Patients undergoing hemodialysis more frequently received more constrained knee implants (PS and VVC) compared to the general population, as well as modular tibial and femoral components. This is associated with the presence of significant systemic osteoporosis and the formation of β -2 microglobulin amyloid complexes along the joint capsule, ligaments, muscle fibers, and the formation of bone cysts in the intercondylar notch of the femur and tibia.

DISCLAIMERS

Author contribution

Tsed A.N. — study design, data collection and processing, literature search and analysis, writing and drafting the article.

Mushtin N.E. — data statistical analysis, literature search and analysis, drafting the article.

Dulaev A.K. — study concept, data analysis and interpretation.

Schmeljov A.V. — data collection and processing, literature search and analysis, writing the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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 for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

REFERENCES

1. Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., Pantelev A.N., Guatsaev M.S., Kazemirsky A.V. et al. Current State of Knee Arthroplasty in Russia: Analysis of 36,350 Cases from the Register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3): 73-85. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-9349.
2. 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.
3. Singh J.A. Epidemiology of knee and hip arthroplasty: a systematic review. *Open Orthop J*. 2011;5:80-85. doi: 10.2174/1874325001105010080.
4. Evans J.T., Walker R.W., Evans J.P., Blom A.W., Sayers A., Whitehouse M.R. How long does a knee replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up. *Lancet*. 2019;393(10172): 655-663. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32531-5.

5. Pollock M., Somerville L., Firth A., Lanting B. Outpatient Total Hip Arthroplasty, Total Knee Arthroplasty, and Unicompartamental Knee Arthroplasty: A Systematic Review of the Literature. *JBJS Rev.* 2016;4(12):e4. doi: 10.2106/JBJS.RVW.16.00002.
6. Mushtin N.E., Tsed A.N., Dulaev A.K., Leontyeva N.V., Rummyantsev A.Sh. Comparison of using fractionated and unfractionated heparins after primary hip and knee arthroplasty in patients receiving programmed hemodialysis. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2020;24(6):55-64. (In Russian). doi: 10.36485/1561-6274-2020-24-6-55-64.
7. Petrova E.N., Polushin Yu.S., Shlyk I.V., Tsed A.N. Particulars of the perioperative management of patients with end stage renal disease during hip and knee replacement arthroplasty. *Almanac of Clinical Medicine*. 2019;47(3):251-265. (In Russian). doi: 10.18786/2072-0505-2019-47-033.
8. Tsed A.N., Dulaev A.K., Mushtin N.E., Iliushchenko K.G., Shmelev A.V. Mid-Term Outcomes of Primary Hip Replacement in Patients with End-Stage Chronic Renal Disease. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(2):44-54. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-44-54
9. Inoue D., Yazdi H., Goswami K., Tan T.L., Parvizi J. Comparison of Postoperative Complications and Survivorship of Total Hip and Knee Arthroplasty in Dialysis and Renal Transplantation Patients. *J Arthroplasty*. 2020;35(4):971-975. doi: 10.1016/j.arth.2019.10.038.
10. Gkiatas I., Xiang W., Karasavvidis T., Windsor E.N., Sharma A.K., Sculco P.K. Total knee arthroplasty in dialysis patients: Is it safe? A systematic review of the literature. *J Orthop*. 2021;25:199-206. doi: 10.1016/j.jor.2021.05.025.
11. Murylev V.Yu., Tsygin N.A., Shutov E.V., Zhuchkov A.G., Rukin Ya.A., Sorokina G.L. et al. Joint arthroplasty in patients treated with chronic dialysis. Results of a single center study and review. *Nephrology and Dialysis*. 2019;21(2):221-233. (In Russian). doi: 10.28996/2618-9801-2019-2-221-233.
12. Stavrakis A.I., Li A.K., Uquillas C., Photopoulos C. Comparison of Total Knee Arthroplasty Outcomes Between Renal Transplant and End Stage Renal Disease Patients. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2022; 6(3):e21.00288. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-21-00288.
13. Murylev V.Y., Tsygin N.A., Shutov E.V., Zhuchkov A.G., Rukin Ya.A. Total hip and knee arthroplasty in patients with chronic kidney disease (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(2):138-145. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-138-145.
14. Tsed A.N., Smirnov A.V., Dulaev A.K., Rummyantsev A.S., Ananyev A.N. Pathological damage of bones and joints in patients on hemodialysis in Saint Petersburg. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2019;23(6):73-82. (In Russian). doi: 10.36485/1561-6274-2019-236-73-82.
15. Kosinskaya N.S. *Degenerative-dystrophic lesions of the osteoarticular apparatus*. Medgiz: Leningrad; 1961. p. 98.
16. Engh G.A., Ammeen D.J. Classification and preoperative radiographic evaluation: knee. *Orthop Clin North Am*. 1998;29(2):205-217. doi: 10.1016/s0030-5898(05)70319-9.
17. Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Andriyashkin V.V., Akhtyamov I.F., Belov M.V., Dianov S.V. et al. Prevention, Diagnosis and Treatment of Thromboembolic Complications in Traumatology and Orthopedics: Methodological Guidelines. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(3):136-166. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1995.
18. Lingard E.A., Katz J.N., Wright R.J., Wright E.A., Sledge C.B.; Kinemax Outcomes Group. Validity and responsiveness of the Knee Society Clinical Rating System in comparison with the SF-36 and WOMAC. *J Bone Joint Surg Am*. 2001; 83(12):1856-1864. doi: 10.2106/00004623-200112000-00014.
19. Behrend H., Giesinger K., Giesinger J.M., Kuster M.S. The "forgotten joint" as the ultimate goal in joint arthroplasty: validation of a new patient-reported outcome measure. *J Arthroplasty*. 2012;27(3):430-436.e1. doi: 10.1016/j.arth.2011.06.035.
20. Ewald F.C. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(248):9-12.
21. Venishetty N., Wukich D.K., Beale J., Riley Martinez J., Toutoungy M., Mounasamy V. et al. Total knee arthroplasty in dialysis patients: a national in-patient sample-based study of perioperative complications. *Knee Surg Relat Res*. 2023;35(1):22. doi: 10.1186/s43019-023-00196-0.
22. Swedish Arthroplasty Register The Swedish arthroplasty register annual report 2021. Available from: <https://registercentrum.blob.core.windows.net/slr/r/SAR-Annual-Report-2021-SJIAFmlRI15.pdf>
23. The National Joint Registry 19-th Annual Report 2022 [Internet]. London: National Joint Registry; 2022 Oct. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587525/>.
24. The Ninth Annual Report of the American Joint Replacement Registry on Hip and Knee Arthroplasty, 2022. Available from: <https://connect.registryapps.net/hubfs/PDFs%20and%20PPTs/2022%20AJRR%20Annual%20Report.pdf>.
25. Fil A., Tarakanov V., Kulyaba T., Kornilov N. Primary knee joint arthroplasty trends at the Vreden National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics compared with other national joint replacement registries. Is our way similar? *Genij Ortopedii*. 2020;26(4):476-483. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-476-483.
26. Li N., Tan Y., Deng Y., Chen L. Posterior cruciate-retaining versus posterior stabilized total knee arthroplasty: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(3):556-564. doi: 10.1007/s00167-012-2275-0.
27. Thuysbaert G., Luyckx T., Ryckaert A., Gunst P., Noyez J., Winnock De Grave P. Reduced joint awareness after total knee arthroplasty with a cruciate retaining design. *Acta Orthop Belg*. 2020;86(3):482-488.
28. Gustke K.A., Gelbke M.K. All-polyethylene tibial component use for elderly, low-demand total knee arthroplasty patients. *J Arthroplasty*. 2017;32(8):2421-2426. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.077.

29. Apostolopoulos V., Nachtnebl L., Mahdal M., Pazourek L., Boháč P., Janíček P. et al. Clinical outcomes and survival comparison between NexGen all-poly and its metal-backed equivalent in total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2023;47(9):2207-2213. doi: 10.1007/s00264-023-05772-3.
30. Scheumann G.F., Holch M., Nerlich M.L., Brandis A., Ostertag H., Tscherne H. Pathological fractures and lytic bone lesion of the femoral neck associated with beta 2-microglobulin amyloid deposition in long-term dialysis patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1991;110(2):93-97. doi: 10.1007/BF00393881.

Authors' information

✉ *Nikita E. Mushtin* — Cand. Sci. (Med.)

Address: 6-8, L'va Tolstogo str, St. Petersburg, 197022, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7264-7861>

e-mail: mushtin.nikita@yandex.ru

Alexander N. Tsed — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8392-5380>

e-mail: travma1@mail.ru

Alexander K. Dulaev — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4079-5541>

e-mail: akdulaev@gmail.com

Anton V. Schmeljew

<https://orcid.org/0000-0002-1181-6545>

e-mail: schmeljew@mail.ru

Редакционная статья
УДК 616.728.3-089.844:616.61-008.64
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17423>



Редакционный комментарий к статье А.Н. Цеда с соавторами «Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай?»

Н.Н. Корнилов

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

Реферат

Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) у пациентов с тяжелой соматической патологией, к которой относится и хроническая почечная недостаточность, сопряжено с повышенным риском развития осложнений. Пациенты, находящиеся на гемодиализе, требуют как специальной предоперационной подготовки, так зачастую и коррекции периоперационной анальгезии, антибиотико- и тромбопрофилактики. Однако технические вопросы достижения ключевых задач ТЭКС, в частности восстановления оси конечности, стабильности сустава и полной амплитуды движений, а также достижения надежной фиксации имплантата, не отличаются от других клинических ситуаций, которые традиционно относят к сложным случаям первичного ТЭКС. Всех их объединяет потенциальная необходимость применения модульных ревизионных имплантатов при первичном ТЭКС.

Ключевые слова: коленный сустав, эндопротезирование, почечная недостаточность, гемодиализ.

Editorial
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17423>



Editorial Comment on the Article by A.N. Tsed et al. “Total Knee Arthroplasty in Hemodialysis Patients: Routine or Complex Surgery?”


Nikolai N. Kornilov

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

Abstract

Severe comorbidities, like chronic kidney disease, strongly associated with higher risk of complications after total knee arthroplasty. Therefore hemodialysis patients need specific pre-operative as well as peri-operative management, including proper analgesic, antibacterial and thromboembolic pharmacological prophylaxis. Nevertheless the technical issues that surgeon has to solve in achieving proper leg alignment, knee stability and range of motion does not differ from other complex knee primary cases when revision implants and instruments are essential part of surgical requisite.

Key words: knee arthroplasty, chronic kidney disease, hemodialysis.

 **Для цитирования:** Корнилов Н.Н. Редакционный комментарий к статье А.Н. Цеда с соавторами «Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: стандартная операция или сложный случай?». *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):113-115. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17423>.

Cite as: Kornilov N.N. Editorial Comment on the Article by A.N. Tsed et al. “Total Knee Arthroplasty in Hemodialysis Patients: Routine or Complex Surgery?”. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):113-115. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17423>.

 Корнилов Николай Николаевич / Nikolai N. Kornilov; e-mail: drkornilov@hotmail.com

Получен: 28.11.2023. Опубликовано: 15.12.2023. Submitted: 28.11.2023. Published: 15.12.2023.

© Корнилов Н.Н. / Kornilov N.N., 2023

Тотальное эндопротезирование зарекомендовало себя как эффективный и надежный метод хирургического лечения пациентов с терминальными стадиями дегенеративных заболеваний коленного сустава [1]. Тем не менее любой отличный от идиопатического гонартроза патологический процесс, приводящий к разрушению сустава, ассоциирован с повышенным риском ранних и поздних послеоперационных осложнений, среди которых преобладают перипротезная инфекция и асептическое расшатывание имплантата [2].

Работа А.Н. Цеда с соавторами посвящена ретроспективному анализу среднесрочных результатов тотальной артропластики у пациентов, находящихся на гемодиализе. Хроническую почечную недостаточность (ХПН) традиционно относят к важным факторам коморбидности, увеличивающим вероятность как неблагоприятных исходов эндопротезирования, так значимого сокращения продолжительности жизни после замены сустава на искусственный [3]. Пациенты данной категории требуют специальной предоперационной подготовки и более длительного нахождения в стационаре после операции для коррекции как ранее имеющихся, так и вновь возникающих нарушений в работе органов и систем, что наглядно демонстрирует и данная работа. Кроме специальных организационных мероприятий для обеспечения гемодиализа в пред- и послеоперационном периодах, необходима индивидуальная коррекция практически всей фармакотерапии: периоперационной анальгезии, антибиотико- и тромبوпрофилактики, что, несомненно, выделяет этих больных среди многих других с тяжелой сопутствующей соматической патологией.

К сложным случаям первичного эндопротезирования традиционно принято относить те клинические ситуации, в которых использование стандартной техники и инструментов сопряжено с повышенным риском хирургических ошибок, а ревизионные инструментальные системы и имплантаты с большей степенью связанности необходимы для того, чтобы не компрометировать:

- правильную ориентацию компонентов эндопротеза;
- надежность их фиксации;
- итоговую стабильность коленного сустава;
- полноценность восстановления движений [4].

Наиболее часто необходимость в этом возникает у пациентов с протяженными костными дефектами, фиксированными деформациями, тяжелыми контрактурами и анкилозами, несостоятельностью мягкотканых стабилизаторов, локальным остеопорозом, неправильно сросшимися и несросшимися внутри- и внесуставными переломами, повреждениями разгибательного аппарата [5].

Принципы хирургической коррекции описанных выше сложных клинических ситуаций деталь-

но рассмотрены в отечественной и зарубежной литературе и в целом не зависят от причин, приведших к их развитию [6, 7]. Это подтверждается и результатами работы А.Н. Цеда с соавторами: техническая реализация классических задач тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) в операционной у больных, находящихся на гемодиализе, не демонстрирует никаких отличий. Интраоперационная необходимость использования того или иного способа замещения костного дефекта зависит от предпочтений хирурга и технических возможностей медицинского учреждения (доступности костных аллотрансплантатов, металлических модульных блоков, втулок, конусов), от повышения связанности имплантата, от состояния мягкотканых стабилизаторов и так далее. Тем не менее, зная о тяжелой системной патологии, которая к тому же будет персистировать и в дальнейшем, у оперирующего хирурга снижается возможность для компромиссных решений, так как они могут быть ненадежными даже в среднесрочной перспективе. Поэтому авторы справедливо подчеркивают необходимость наличия и при малейших сомнениях применения ревизионных имплантатов в подобных клинических ситуациях.

С другой стороны, если пациент с ХПН, находящийся не на гемодиализе, обратился на менее выраженной стадии разрушения сустава, например, когда очаг остеонекроза локализован только в медиальном мыщелке бедренной кости, деформация еще не носит фиксированный характер и контрактура выражена умеренно, то вполне успешно вместо тотальной может быть выполнена частичная артропластика. Авторы продемонстрировали, что частота перипротезной инфекции у больных, находящихся на гемодиализе, в 6,5 раз выше по сравнению с контрольной группой, что существенно превышает показатели, полученные в других актуальных исследованиях [8]. В данной ситуации одномыщелковое эндопротезирование вполне логично может быть методом выбора по сравнению с тотальным, так как ассоциировано с меньшей на два порядка частотой инфекционных осложнений [9]. Однако при этом проведение хирургического лечения требуется, несомненно, на более раннем сроке развития патологического процесса в коленном суставе.

В завершение необходимо подчеркнуть, что хоть и малая численность выборки требует взвешенной трактовки полученных результатов, данная работа является крайне важной, привлекая внимание клиницистов к комплексу системных и частных проблем, которые возникают при проведении тотального эндопротезирования коленного сустава больным с хронической болезнью почек, находящимся на гемодиализе.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Преображенский П.М., Филь А.С., Корнилов Н.Н., Пантелеев А.Н., Гуацаев М.С., Каземирский А.В. и др. Эндопротезирование коленного сустава в клинической практике: анализ 36350 наблюдений из регистра НМИЦ ТО имени Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):73-85. doi: 10.17816/2311-2905-9349. Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., Panteleev A.N., Guatsaev M.S., Kazemirsky A.V. et al. Current State of Knee Arthroplasty in Russia: Analysis of 36,350 Cases from the Register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):73-85. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-9349.
2. Inui H., Yamagami R., Kono K., Kawaguchi K. What are the causes of failure after total knee arthroplasty? *J Joint Surg Res*. 2023;1(1):32-40. doi: 10.1016/j.jjoisr.2022.12.002.
3. Jämsä P., Jämsen E., Huhtala H., Eskelinen A., Oksala N. Moderate to Severe Renal Insufficiency Is Associated With High Mortality After Hip and Knee Replacement. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476(6):1284-1292. doi: 10.1007/s11999-0000000000000256.
4. Castagnini F., Bordini B., Cosentino M., Ancarani C., Lucchini S., Bracci G. et al. Constraint in complex primary total knee arthroplasty: rotating hinge versus condylar constrained implants. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(12):3965-3973. doi: 10.1007/s00402-021-04322-z.
5. Malkani A.L., Hitt K.D., Badarudeen S., Lewis C., Cherian J., Elmallah R. et al. The Difficult Primary Total Knee Arthroplasty. *Instr Course Lect*. 2016;65:243-65.
6. Руководство по первичному эндопротезированию коленного сустава. Под ред. Кулябы Т.А., Корнилова Н.Н., Тихилова Р.М. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена; 2022. с. 229-288. Guidelines for primary knee arthroplasty. Ed. Kulyaba T.A., Kornilov N.N., Tikhilov R.M. 2nd ed. St. Petersburg; 2022. p. 229-288. (In Russian).
7. Baldini A., Castellani L., Traverso F., Balatri A., Balato G., Franceschini V. The difficult primary total knee arthroplasty: a review. *Bone Joint J*. 2015;97-B (10 Suppl A):30-9. doi: 10.1302/0301-620X.97B10.36920.
8. Luo Y., Gong J., Yang S. Knee and hip arthroplasty joint surgical site wound infection in end-stage renal disease subjects who underwent dialysis or a kidney transplant: A meta-analysis. *Int Wound J*. 2023;20(7):2811-2819. doi: 10.1111/iwj.14160.
9. Prats-Urbe A., Kolovos S., Berencsi K., Carr A., Judge A., Silman A. et al. Unicompartmental compared with total knee replacement for patients with multimorbidities: a cohort study using propensity score stratification and inverse probability weighting. *Health Technol Assess*. 2021;25(66):1-126. doi: 10.3310/hta25660.

Сведения об авторе

✉ Корнилов Николай Николаевич — д-р мед. наук
 Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
 ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0001-6905-7900>
 e-mail: drkornilov@hotmail.com

Author's information

✉ Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)
 Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
 Russia
<https://orcid.org/0000-0001-6905-7900>
 e-mail: drkornilov@hotmail.com



Научная статья
УДК 616.728.2-001.6-089.85-053.1
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17407>

Результаты открытого вправления врожденного вывиха бедра, варизирующей деротационной остеотомии и ацетабулопластики по Deга у детей с дисплазией тазобедренного сустава: ретроспективный анализ

Р.И. Кехайов^{1,2}, А.А. Семенистый^{1,2}, П.Р. Георгиев^{1,2}, А.И. Герчев^{1,2}

¹ Медицинский университет Софии, г. София, Болгария

² Университетская специализированная ортопедическая больница им. проф. Б. Бойчева, г. София, Болгария

Реферат

Актуальность. Лечение прогрессирующей дисплазии тазобедренного сустава представляет большую проблему для детских ортопедов в связи с высоким риском осложнений, среди которых наиболее тяжелыми являются аваскулярный некроз головки бедренной кости (АНГБК) и рецидив вывиха. При наиболее тяжелой форме дисплазии — врожденном вывихе бедра — после 1,5-летнего возраста показано оперативное лечение. Однако вопрос определения объема оперативного вмешательства остается спорным.

Цель — представить среднесрочные результаты лечения пациентов с прогрессирующей дисплазией тазобедренного сустава III–IV степени по классификации IHDI, которым выполнялись открытое вправление вывиха бедра через модифицированный дигастральный доступ Ganz и варизирующая деротационная остеотомия бедренной кости в комбинации с остеотомией подвздошной кости по Deга.

Материал и методы. Проанализированы результаты лечения 12 пациентов с прогрессирующей дисплазией тазобедренного сустава III–IV степени по классификации IHDI в возрасте от 1,5 до 3,5 лет. Выполнено 13 операций: деротационная варизирующая корригирующая остеотомия бедренной кости в комбинации с остеотомией таза по Deга. В одном случае оперативное вмешательство выполнено билатерально в два этапа. Средний срок наблюдения составил 31,9±4,9 мес. (от 12 до 66 мес.). Для оценки результатов проведенной коррекции анализировали следующие рентгенометрические параметры до операции, после операции и на последнем осмотре: ацетабулярный индекс (АИ), шеечно-диафизарный угол (ШДУ) и индекс миграции Реймера. Проведена оценка частоты возникновения осложнений: рецидив вывиха, АНГБК, несращения, инфекция и потеря коррекции. У 8 пациентов с периодом наблюдения более 2 лет проведена оценка разницы длины конечностей.

Результаты. Проведение остеотомии по Deга позволило снизить значение АИ с 38,62° до 18,76° после операции и до 20,61° на последнем осмотре ($p<0,05$). В результате варизирующей деротационной остеотомии бедра отмечено снижение значения ШДУ с 143,62° до 110,53° ($p<0,05$). АНГБК наблюдался в 4 случаях у 3 пациентов (25%), включая пациента, которому была выполнена операция с двух сторон. На последнем осмотре ШДУ увеличился до 119,11° у 9 пациентов, у которых не было отмечено развития АНГБК, и уменьшился до 87,75° у пациентов с АНГБК. У одного пациента с АНГБК отмечено развитие вывиха головки бедренной кости из-за прогрессирующей варусной деформации (до 41°). Несращений и инфекционных осложнений не наблюдалось.

Заключение. Открытое устранение вывиха бедра и варизирующая деротационная остеотомия бедренной кости в комбинации с остеотомией подвздошной кости по Deга является эффективным методом лечения прогрессирующей дисплазии тазобедренного сустава III–IV степени по классификации IHDI. Маленькая выборка и отсутствие группы сравнения не позволяют сделать выводы об эффективности выполнения модифицированного дигастрального метода по Ganz как меры профилактики развития аваскулярного некроза головки бедренной кости после операции.

Ключевые слова: дисплазия тазобедренного сустава, врожденный вывих бедра, деротационная варизирующая остеотомия бедра, остеотомия таза, ацетабулопластика.

Для цитирования: Кехайов Р.И., Семенистый А.А., Георгиев П.Р., Герчев А.И. Результаты открытого вправления врожденного вывиха бедра, варизирующей деротационной остеотомии и ацетабулопластики по Deга у детей с дисплазией тазобедренного сустава: ретроспективный анализ. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):116–124. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17407>.

Семенистый Антон Алексеевич; e-mail: an.semenisty@yandex.ru

Рукопись получена: 26.10.2023. Рукопись одобрена: 27.11.2023. Статья опубликована: 15.12.2023.

© Кехайов Р.И., Семенистый А.А., Георгиев П.Р., Герчев А.И., 2023



Treatment Outcomes After Open Reduction, Varus Derotational Osteotomy and Dega Acetabuloplasty in Children With Dislocated Dysplastic Hip: Retrospective Analysis

Raytcho I. Kehayov^{1,2}, Anton A. Semenisty^{1,2}, Pavel R. Georgiev^{1,2}, Aleksandar I. Gerchev^{1,2}

¹ Medical University Sofia, Sofia, Bulgaria

² Specialized Orthopaedic University Hospital "Prof. B. Boychev", Sofia, Bulgaria

Abstract

Background. Treatment of developmental dysplasia of the hip (DDH) poses a great challenge for pediatric orthopedists due to the high risk of complications, the most severe of which are avascular necrosis of the femoral head and recurrent dislocation. In the most severe form of dysplasia, hip dislocation, the surgery is indicated after 18 months of age. However, the issue of determining the exact surgical intervention remains controversial.

The aim of the study was to provide our own midterm treatment outcomes of patients with DDH, who underwent open reduction for DDH through a modified Ganz digastric approach and varus derotational femur osteotomy combined with Dega acetabuloplasty.

Methods. The treatment outcomes of 12 patients with DDH grade III-IV according to the IHDI classification at the age of 1.5 to 3.5 years were analyzed. Thirteen operations were performed: open reduction, derotational varus femur osteotomy combined with Dega acetabuloplasty. In one case, surgery was performed bilaterally in two stages. The average follow-up period was 31.9±4.9 months (from 12 to 66 months). To evaluate the correction performed, a comparative analysis of X-ray images (acetabular index (AI) and femoral neck-shaft angle (FNSA) and Reimers migration index (MI)) was performed before, after surgery and at the last follow-up. The incidence of complications was assessed: recurrent dislocation, avascular necrosis of the femoral head (AVN), nonunion, infection, and loss of correction. In 8 patients with a follow-up period of more than 2 years, the limb length discrepancy was assessed.

Results. Dega acetabuloplasty allowed to reduce the AI value from 38.62° to 18.76° ($p<0.05$) after surgery and to 20.61° at the last follow-up. As a result of varus derotational femur osteotomy, a decrease in the FNSA value was noted from 143.62° to 110.53° ($p<0.05$). AVN was observed in 4 cases in 3 patients (25%) (including the patient who underwent bilateral surgery). At the last follow-up, the FNSA increased to 119.11° in 9 patients without AVN and decreased to 87.75° in patients with AVN. In one patient with AVN, the development of medial dislocation of the femoral head due to progressive varus deformity was noted (up to 41°). No nonunions or infectious complications were observed.

Conclusion. The combination of open reduction, varus derotational femur osteotomy with Dega acetabuloplasty is an effective method for treatment of DDH in toddlers. The small sample size and the absence of a control group do not allow us to draw conclusions regarding the effectiveness of the modified Ganz digastric approach as a measure to prevent the development of avascular necrosis of the femoral head after surgery.

Keywords: hip dysplasia, DDH, congenital hip dislocation, derotational varus femur osteotomy, pelvic osteotomy, acetabuloplasty.

Cite as: Kehayov R.I., Semenisty A.A., Georgiev P.R., Gerchev A.I. Treatment Outcomes After Open Reduction, Varus Derotational Osteotomy and Dega Acetabuloplasty in Children With Dislocated Dysplastic Hip: Retrospective Analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):116-124. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17407>.

✉ Anton A. Semenisty; e-mail: an.semenisty@gmail.com

Submitted: 26.10.2023. Accepted: 27.11.2023. Published: 15.12.2023.

© Kehayov R.I., Semenisty A.A., Georgiev P.R., Gerchev A.I., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Прогрессирующая дисплазия тазобедренного сустава (ПДТС) представляет собой спектр патологий от легкой дисплазии до вывиха бедра. Ее отличительной особенностью является прогрессирующее течение, начинающееся в антенатальном периоде и продолжающееся в постнатальном периоде, в связи с чем старые термины «врожденная дисплазия» и «врожденный вывих бедра» больше не используются [1, 2]. Лечение ПДТС связано с большим количеством осложнений и является одной из самых трудных задач детской ортопедии [3]. Наиболее тяжелой формой ПДТС является врожденный вывих бедра, соответствующий III–IV стадиям по классификации IHDI [4]. При неэффективности консервативного лечения к возрасту 18 мес. реконструкция тазобедренного сустава является золотым стандартом [5]. Реконструкция тазобедренного сустава заключается в проведении открытой или закрытой репозиции, остеотомии бедра и таза, иногда комбинированных с различными вмешательствами на сухожилиях и мышцах [6, 7, 8]. Проведение открытой репозиции может быть сопряжено с более высоким риском развития аваскулярного некроза головки бедренной кости (АНГБК), но при этом позволяет добиться лучшего ремоделирования вертлужной впадины [9, 10]. Модификация дигастрального доступа по Ganz без остеотомии большого вертела позволяет сохранить кровоснабжение и снизить риск развития АНГБК [11, 12, 13]. Когда дело касается остеотомий, многие хирурги

предпочитают выполнение только варизирующей деротационной укорачивающей остеотомии бедренной кости, другие — только остеотомии подвздошной кости [14, 15, 16]. Согласно данным литературы, комбинация остеотомии бедра и таза имеет лучшие результаты [17, 18, 19, 20].

Цель исследования — представить собственные среднесрочные результаты лечения пациентов с прогрессирующей дисплазией тазобедренного сустава III–IV степени по классификации IHDI, которым выполнялись открытое устранение вывиха, варизирующая деротационная остеотомия бедренной кости в комбинации с ацетабулопластикой по Dege.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено ретроспективное когортное исследование.

Проанализированы результаты лечения 12 пациентов (11 девочек, 1 мальчик) с ПДТС в возрасте 19–41 мес. У одного пациента наблюдалась двусторонняя патология, в связи с чем коррекция выполнена билатерально с интервалом между операциями в 10 мес. (табл. 1).

Критерии включения: ПДТС III–IV степени по классификации IHDI, возраст пациента на момент операции не более 3,5 лет (42 мес.), период наблюдения не менее 1 года.

Критерии невключения: наличие нейромышечных заболеваний. Признаки развития АНГБК до операции не были учтены при наборе пациентов.

Таблица 1

Характеристика пациентов

№	Пол	Возраст, мес.	Сторона операции	АИ, град.	ШДУ, град.	ИМ, %
1	Ж	22	Правая	40	135	100
2	Ж	22	Правая	35	145	75
3	Ж	41	Левая	40	147	100
4	Ж	29	Левая	34	150	85
		39	Правая	34	150	100
5	М	20	Правая	38	144	85
6	Ж	19	Левая	35	136	100
7	Ж	26	Правая	42	141	100
8	Ж	23	Левая	44	140	85
9	Ж	24	Левая	40	140	100
10	Ж	22	Правая	30	150	100
11	Ж	25	Левая	43	149	80
12	Ж	31	Левая	47	140	100
Ср.		26,38±3,61		38,62±2,67	143,62±2,97	93,08±3,44

АИ — ацетабулярный индекс; ШДУ — шеечно-диафизарный угол; ИМ — индекс миграции Реймера.

Техника операции

Оперативное вмешательство выполнялось через модифицированный доступ Ganz без остеотомии большого вертела [11, 12]. Оно состояло из открытого устранения вывиха головки бедренной кости; деротационной варизирующей укорачивающей остеотомии бедренной кости с фиксацией блокируемой пластиной для варизирующей остеотомии бедра 2,7 мм или 3,5 мм с углом 100° или 110° (Pediatric LCP Plate System, DePuy Synthes); остеотомии таза по методике Dega с пластикой места остеотомии подвздошной кости трансплантатом из бедренной кости (рис. 1).

Оценка результатов

Средний срок наблюдения составил 31,9±4,9 мес. (от 12 до 66 мес.). Для оценки проведенной коррекции выполнен сравнительный анализ рентгенограмм: ацетабулярный индекс (АИ), шеечнодиафизарный угол (ШДУ) и индекс миграции Реймера (ИМ) до (АИ1, ШДУ1, ИМ1), после операции (АИ2, ШДУ2, ИМ2) и на последнем осмотре (АИ3, ШДУ3, ИМ3). Проведена оценка частоты возникновения осложнений: рецидив вывиха, АНГБК, несращения, инфекция и потеря коррекции. У 8 пациентов с периодом наблюдения более 2 лет проведена оценка разницы длины конечностей (рис. 2).

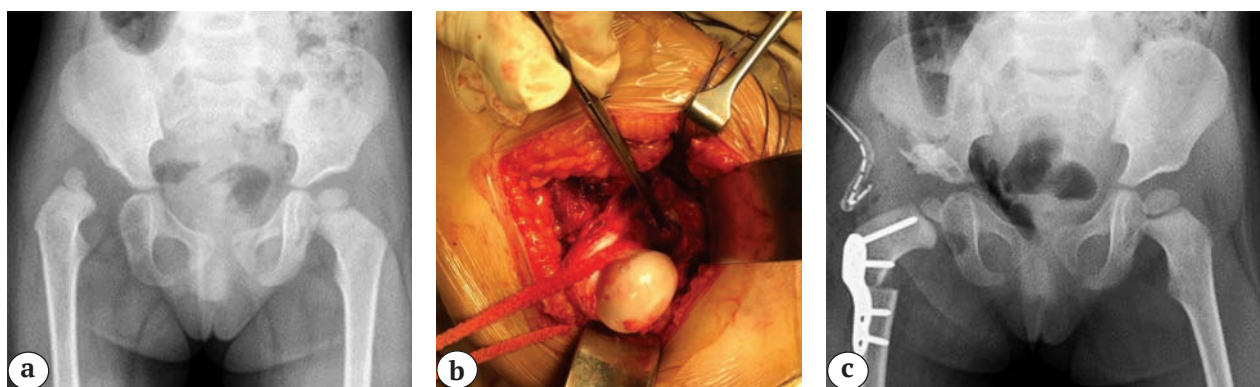


Рис. 1. Хирургическое вмешательство: а — рентгенограмма до операции: визуализируется вывих правого тазобедренного сустава (IV степень дисплазии по классификации IHDI); б — хирургический доступ; в — рентгенограмма после операции: вывих правого тазобедренного сустава устранен, выполнена варизирующая остеотомия бедренной кости, фиксация 2,7 мм LCP пластиной и ацетабулопластика по Dega

Fig. 1. Surgical intervention: а — X-ray before surgery: dislocation of the right hip is visualized (Grade IV dysplasia according to IHDI classification); б — surgical access; в — X-ray after surgery: dislocation of the right hip is corrected, varus osteotomy of the femur is performed, fixation with a 2.7 mm LCP plate, and acetabuloplasty according to the Dega technique

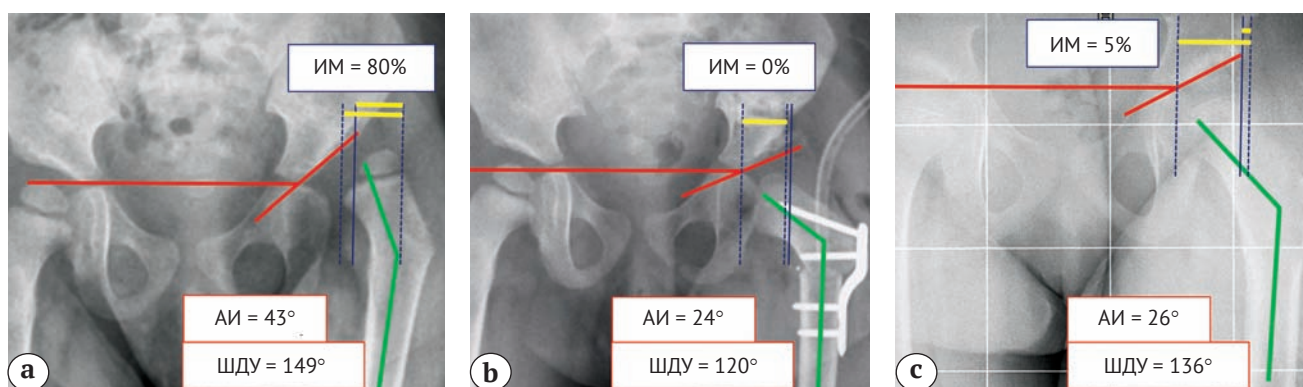


Рис. 2. Рентгенометрические параметры таза пациента 2 лет 1 мес.: а — до операции; б — после операции; в — на последнем осмотре

Fig. 2. Radiometric parameters of the patient's pelvis aged 2 years and 1 month: а — before surgery; б — after surgery; в — at the latest follow-up

Статистический анализ

Анализ результатов исследования проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2010. Из количественных данных составляли невзвешенные вариационные ряды. Определяли средние, их ошибку и статистическую значимость. Полученные данные обрабатывали с помощью методов непараметрической статистики с использованием критерия Вилкоксона. Разница считалась статистически значимой при значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведение остеотомии по Dega позволило снизить значение АИ с $38,62 \pm 2,67^\circ$ до $18,76 \pm 2,36^\circ$ ($p = 0,00165$) после операции и до $20,61 \pm 2,25^\circ$ ($p = 0,00165$) на последнем осмотре. Изменения АИ после операции и на последнем осмотре статистически значимы ($p = 0,00107$).

В результате варизирующей деротационной остеотомии бедра произошло снижение значения ШДУ с $143,62 \pm 2,97^\circ$ до $110,53 \pm 3,44^\circ$ ($p = 0,00160$). АНГБК наблюдался в 4 случаях (30,1%) у 3 детей (25%), включая пациента, которому была выпол-

нена операция с двух сторон (рис. 3). На последнем осмотре ШДУ увеличился до $119,11 \pm 6,82^\circ$ ($p = 0,03765$) у 9 пациентов, у которых не было отмечено развития АНГБК, и уменьшился до $87,7 \pm 31,3^\circ$ (p не определялся из-за маленькой выборки) у 3 пациентов с АНГБК. У одного пациента с АНГБК отмечено развитие медиального вывиха головки бедренной кости из-за прогрессирующей варусной деформации до 41° (рис. 4).

Комбинированная операция позволила снизить индекс миграции Реймера на $89,23\%$ ($p = 0,00074$) — с $93,08 \pm 3,44\%$ до $3,85 \pm 2,01\%$. На последнем осмотре ИМ составил $6,33 \pm 3,05\%$ (из анализа был исключен один пациент с равившимся АНГБК и медиальным вывихом. Различия в ИМ на послеоперационных рентгенограммах и на последнем осмотре были статистически не значимы ($p = 0,05791$).

У 8 пациентов с периодом наблюдения более 2 лет выявлена разница в длине конечностей $1,81 \pm 0,72$ см (табл. 2).

Несращений и инфекционных осложнений не наблюдалось.



Рис. 3. Рентгенограммы пациентки в возрасте 2 лет 5 мес. До операции: двусторонний вывих тазобедренных суставов (III степень дисплазии по классификации IHDI билатерально) (а); после первой операции: вывих левого тазобедренного сустава устранен, выполнена варизирующая остеотомия бедренной кости, фиксация 2,7 мм LCP пластиной и ацетабулопластика по Dega (b); через 10 мес. после второй операции: вывих правого тазобедренного сустава устранен, выполнена варизирующая остеотомия бедренной кости, фиксация 3,5 мм LCP пластиной и ацетабулопластика по Dega (c); развитие аваскулярного некроза билатерально через 2 года и 5 мес. после первой операции (d)

Fig. 3. X-rays of the patient aged 2 years and 5 months. Before the first operation: bilateral dislocation of the hip (Grade III dysplasia according to IHDI classification) (a); after the first operation: dislocation of the left hip is corrected, varus osteotomy of the femur is performed, fixation with a 2.7 mm LCP plate, and acetabuloplasty according to the Dega technique (b); 10 months after the second operation: dislocation of the right hip is corrected, varus osteotomy of the femur is performed, fixation with a 3.5 mm LCP plate, and acetabuloplasty according to the Dega technique (c); development of avascular necrosis bilaterally 2 years and 5 months after the first operation (d)

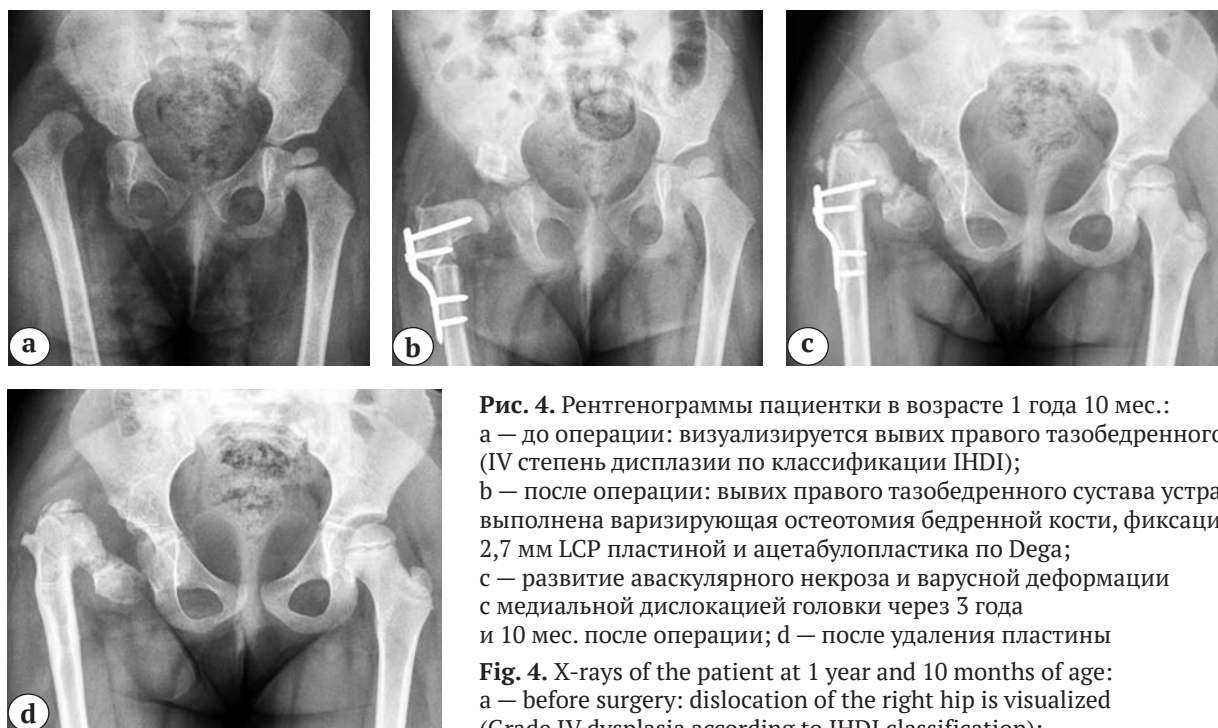


Рис. 4. Рентгенограммы пациентки в возрасте 1 года 10 мес.:
 а — до операции: визуализируется вывих правого тазобедренного сустава (IV степень дисплазии по классификации IHDI);
 б — после операции: вывих правого тазобедренного сустава устранен, выполнена варизирующая остеотомия бедренной кости, фиксация 2,7 мм LCP пластиной и ацетабулопластика по Dega;
 в — развитие аваскулярного некроза и варусной деформации с медиальной дислокацией головки через 3 года и 10 мес. после операции; д — после удаления пластины

Fig. 4. X-rays of the patient at 1 year and 10 months of age:
 a — before surgery: dislocation of the right hip is visualized (Grade IV dysplasia according to IHDI classification);
 б — after surgery: dislocation of the right hip is corrected, varus osteotomy of the femur is performed, fixation with a 2.7 mm LCP plate, and acetabuloplasty according to the Dega technique;
 в — development of avascular necrosis and varus deformity with medial subluxation of the femoral head 3 years and 10 months after surgery;
 д — after plate removal

Таблица 2

Изменения рентгенологических параметров до и после операции, на последнем осмотре и характеристика зарегистрированных осложнений

№	Срок наблюдения, мес.	АИ1, град.	АИ2, град.	АИ3, град.	ШДУ1, град.	ШДУ2, град.	ШДУ3, град.	ИМ1, %	ИМ2, %	ИМ3, %	Осложнения
1	54	40	15	18	135	105	41*	100	10	—	АНГБК + медиальный вывих
2	18	35	19	21	145	117	112	75	5	5	нет
3	30	40	19	21	147	105	127	100	5	5	нет
4	29	34	24	26	150	110	103*	85	0	5	АНГБК
	19	34	18	19	150	110	107*	100	5	5	АНГБК
5	66	38	13	15	144	115	124	85	0	15	нет
6	53	35	15	17	136	104	100*	100	5	5	АНГБК
7	12	42	20	21	141	112	114	100	5	8	нет
8	17	44	20	22	140	100	105	85	0	0	нет
9	13	40	14	16	140	109	111	100	10	18	нет
10	31	30	16	18	150	120	129	100	5	5	нет
11	48	43	24	26	149	120	136	80	0	5	нет
12	24	47	27	28	140	110	114	100	0	0	нет
Ср.	31,9±4,9	38,62 ± 2,67	18,76 ± 2,36	20,61 ± 2,25	143,62 ± 2,97	110,53 ± 3,44	119,11±6,82 / 87,7±31,3*	93,08 ± 3,44	3,85 ± 2,01	6,33 ± 3,05	4/13

* Средний ШДУ на последнем осмотре вычислялся отдельно для пациентов с АНГБК.

ОБСУЖДЕНИЕ

Многочисленные неудачные попытки закрытой репозиции повышают риск развития аваскулярного некроза при лечении врожденного вывиха бедра [12]. В связи с этим хирургическое лечение является основным методом устранения врожденного вывиха бедра, начиная с 18-месячного возраста [5]. Однако на настоящий момент не выработано единого подхода к выбору того или иного хирургического доступа и метода лечения [7, 8]. Закрытое устранение вывиха без выполнения капсулотомии позволяет сохранить кровоснабжение головки бедренной кости и снизить риск аваскулярного некроза, однако сопряжено с более высоким риском рецидивов и худшим ремоделированием вертлужной впадины [9]. В проведенном метаанализе 9 ретроспективных исследований Y.J. Wang с соавторами пришли к выводу, что проведение открытой репозиции сопровождается более высоким риском развития АНГБК (36%) по сравнению с закрытой репозицией (21%) у пациентов до 3 лет [21]. Поэтому при выполнении открытого вправления вывиха (с капсулотомией) большое внимание стоит уделять хирургическим доступам, позволяющим лучше сохранить кровоснабжение сустава. Одним из них является доступ Ganz, используемый для выполнения хирургического вывиха бедра. Авторы не сообщают о случаях развития аваскулярного некроза после выполнения 213 операций у пациентов в возрасте от 16 до 58 лет [11]. Модифицированный дигастральный доступ Ganz позволяет сохранить кровоснабжение головки бедренной кости без выполнения остеотомии большого вертела [12, 13].

Выполнение варизирующей деротационной остеотомии бедренной кости позволяет центрировать головку бедренной кости в вертлужной впадине и является важным элементом реконструкции тазобедренного сустава при дисплазии у детей [14]. По данным некоторых авторов, укорочение бедра является необходимым для снижения давления головки бедренной кости на вертлужную впадину и, соответственно, для снижения риска аваскулярного некроза [22]. Выполнение над-ацетабулярной остеотомии подвздошной кости позволяет произвести реориентацию вертлужной впадины и значительно увеличить покрытие головки бедренной кости [23]. У детей младшей возрастной группы с открытым Y-образным хрящом наименее инвазивным методом, не требующим дополнительной фиксации и при этом хорошо себя зарекомендовавшим, является остеотомия типа Dega, которую также называют ацетабулопластикой [16, 23]. По данным литературы, одноэтапное выполнение остеотомии бедренной кости и таза позволяет добиться наиболее приемлемых

клинических результатов [15]. Тем не менее выбор тактики лечения при ПДТС остается спорным.

A.F. Al Faleh с соавторами проанализировали результаты лечения 204 случаев ПДТС (Tönnis 4 — в 62,3%) у 143 детей в возрасте от 0 до 67 мес. (средний возраст $25,3 \pm 13,9$ мес.). В 82,8% случаев выполняли открытую репозицию и тазовую остеотомию, АНГБК наблюдался у 10 пациентов (5,9%). В 10,8% случаев выполнялись открытая репозиция, варизирующая укорачивающая остеотомия бедра и остеотомия таза. Случаев АНГБК не наблюдалось, однако разница между группами была статистически незначима. Единственным значимым фактором, оказывающим влияние на развитие АНГБК, оказалось консервативное лечение с попытками закрытого устранения вывиха: развитие АНГБК у 6 пациентов (14,3%). Стоит отметить, что в данное исследование были включены пациенты с дисплазией типов 1 и 2 по классификации Tönnis [24]. В проведенном метаанализе 21 исследования частота развития АНГБК составила 20,4% у пациентов с появившимся ядром оссификации и 21,2% — без ядра оссификации на момент начала лечения, разница между группами была статистически незначимой. Кроме того, авторы не нашли статистически значимой разницы в рисках развития АНГБК при различных хирургических доступах и методах лечения [25]. Таким образом, вопрос оценки факторов риска развития АНГБК остается спорным и требует дальнейшего изучения.

Мы применяли дигастральный доступ по Ganz в 13 случаях у 12 пациентов, развитие АНГБК наблюдалось в 4 (30,8%) случаях у 3 (25%) пациентов. Однако сравнивать полученные данные с результатами мировой литературы некорректно в связи с маленькой выборкой и необходимостью оценки большего количества факторов, оказывающих влияние на развитие АНГБК, а именно: неуспешные попытки закрытого устранения вывиха до 18 мес., выполнение открытой репозиции, более высокий риск развития осложнений у пациентов с двусторонним вывихом, а также то, что не учитывались при наборе пациентов признаки дистрофических изменений в головке бедренной кости на предоперационных рентгенограммах.

Таким образом, на настоящий момент остается множество вопросов об оптимальных методах лечения врожденного вывиха тазобедренного сустава в зависимости от возраста и степени дисплазии как проксимального отдела бедренной кости, так и вертлужной впадины. Изучение этих вопросов в проспективных клинических исследованиях представляет большой интерес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комбинация варизирующей деротационной остеотомии бедренной кости с ацетабулопластикой по Dege является эффективным методом лечения врожденного вывиха бедра. Использование модифицированного дигастрального доступа по Ganz может снизить риск развития аваскулярного некроза головки бедренной кости при выполнении

открытого вправления вывиха, однако маленькая выборка и отсутствие группы сравнения не позволяют подтвердить данную гипотезу. Проведение проспективных клинических исследований с большей выборкой необходимо для оценки эффективности модифицированного дигастрального доступа по Ganz как меры профилактики аваскулярного некроза головки бедренной кости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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 фотографий.

DISCLAIMERS

Author contribution

All authors made equal contributions to the study and the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Azar F.M., Canale S.T., Beaty J.H. *Campbell's Operative Orthopaedics*. Vol. 4. Netherlands: Elsevier; 2020. Available from: <https://www.books.google.co.id/books?id=XFGVzQEACAAJ>.
- Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздников 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., Pozdchnik 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.
- Huser A., Mo M., Hosseinzadeh P. Hip Surveillance in Children with Cerebral Palsy. *Orthop Clin North Am*. 2018;49(2):181-190. doi: 10.1016/j.jocl.2017.11.006.
- Narayanan U., Mulpuri K., Sankar W.N., Clarke N.M., Hosalkar H., Price C.T. International Hip Dysplasia Institute. Reliability of a New Radiographic Classification for Developmental Dysplasia of the Hip. *J Pediatr Orthop*. 2015;35(5):478-484. doi: 10.1097/BPO.0000000000000318.
- Yang S., Zusman N., Lieberman E., Goldstein R.Y. Developmental Dysplasia of the Hip. *Pediatrics*. 2019;143(1):e20181147. doi: 10.1542/peds.2018-1147.
- Onimus M., Manzone P., Allamel G. Prevention of hip dislocation in children with cerebral palsy by early tenotomy of the adductor and psoas muscles. *Ann Pediatr (Paris)*. 1993;40(4):211-216. (In French).
- Tazi Charki M., Abdellaoui H., Atarraf K., Afifi M.A. Surgical treatment of developmental dysplasia of the hip in children – A monocentric study about 414 hips. *SICOT J*. 2022;8:29. doi: 10.1051/sicotj/2022030.
- Jäger M., Westhoff B., Zilkens C., Weimann-Stahlschmidt K., Krauspe R. Indications and results of corrective pelvic osteotomies in developmental dysplasia of the hip. *Orthopade*. 2008;37(6):556-570, 572-574, 576. (In German).
- Abousamra O., Deliberato D., Singh S., Klingele K.E. Closed vs open reduction in developmental dysplasia of the hip: The short-term effect on acetabular remodeling. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(2):213-216. doi: 10.1016/j.jcot.2019.09.010.
- Qiu M., Chen M., Sun H., Li D., Cai Z., Zhang W. et al. Avascular necrosis under different treatment in children with developmental dysplasia of the hip: a network meta-analysis. *J Pediatr Orthop B*. 2022;31(4):319-326. doi: 10.1097/BPB.0000000000000932.
- Ganz R., Gill T.J., Gautier E., Ganz K., Krügel N., Berlemann U. Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83(8):1119-1124. doi: 10.1302/0301-620x.83b8.11964.

12. Герчев А., Кехайов Р., Георгиев П., Алексиев В., Слабакова Й., Георгиев Хр. Открита репозиция на тазобедрената става при DDH с бигастричен модифициран достъп по Ganz. *Ортопедия и травматология*. 2019;56(4):172-180.
13. Schweitzer D., Klaber I., Zamora T., Amenábar P.P., Botello E. Surgical dislocation of the hip without trochanteric osteotomy. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2017;25(1):2309499016684414. doi: 10.1177/2309499016684414.
14. Winanto I.D., Sofyan J., Selamat V. Radiological Outcome in Developmental Dysplasia of the Hip Following Varus Derotation Osteotomy: A Case Series. *Open Access Maced J Med Sci*. 2022;10(C):276-279. doi: 10.3889/oamjms.2022.10512.
15. Spence G., Hocking R., Wedge J.H., Roposch A. Effect of innominate and femoral varus derotation osteotomy on acetabular development in developmental dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(11):2622-2636. doi: 10.2106/JBJS.H.01392.
16. 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.
17. Mazloumi M., Omidi-Kashani F., Ebrahimzadeh M.H., Makhmalbaf H., Hoseinayee M.M. Combined Femoral and Acetabular Osteotomy in Children of Walking Age for Treatment of DDH; A Five Years Follow-Up Report. *Iran J Med Sci*. 2015;40(1):13-18.
18. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop*. 2015;6(11):886-901. doi: 10.5312/wjo.v6.i11.886.
19. Köroğlu C., Özdemir E., Çolak M., Şensöz E., Öztuna F.V. Open reduction and Salter innominate osteotomy combined with femoral osteotomy in the treatment of developmental dysplasia of the hip: Comparison of results before and after the age of 4 years. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2021;55(1):28-32. doi: 10.5152/j.aott.2021.17385.
20. Agus H., Bozoglan M., Kalenderer Ö., Kazımoğlu C., Onvural B., Akan İ. How are outcomes affected by performing a one-stage combined procedure simultaneously in bilateral developmental hip dysplasia? *Int Orthop*. 2014;38(6):1219-1224. doi: 10.1007/s00264-014-2330-1.
21. Wang Y.J., Yang F., Wu Q.J., Pan S.N., Li L.Y. Association between open or closed reduction and avascular necrosis in developmental dysplasia of the hip: A PRISMA-compliant meta-analysis of observational studies. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(29):e4276. doi: 10.1097/MD.0000000000004276.
22. Alexiev V., Georgiev H., Mileva S. Middle Term Results of Simple Open Hip Reduction of Irreducible DDH – What Is the Cut-off Age to Safely Perform It with Lower Complications? *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2017;84(5):386-390.
23. Герасимов С.А., Короткин А.А., Герасимов Е.А., Ковалдов К.А., Новикова Я.С. Остеотомии таза как метод лечения дисплазии тазобедренного сустава. Современное состояние вопроса. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;(4). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27765>. Gerasimov S.A., Korytkin A.A., Gerasimov E.A., Kovaldov K.A., Novikova Y.S. Pelvic osteotomies as a treatment option for development dysplasia of the hip. current concepts. *Modern problems of science and education*. 2018;(4). Available from: <https://science-education.ru/en/article/view?id=27765>. (In Russian).
24. Al Faleh A.F., Jawadi A.H., Sayegh S.A., Al Rashedan B.S., Al Shehri M., Al Shahrani A. Avascular necrosis of the femoral head: Assessment following developmental dysplasia of the hip management. *Int J Health Sci (Qassim)*. 2020;14(1):20-23.
25. Chen C., Doyle S., Green D., Blanco J., Scher D., Sink E. et al. Presence of the Ossific Nucleus and Risk of Osteonecrosis in the Treatment of Developmental Dysplasia of the Hip: A Meta-Analysis of Cohort and Case-Control Studies. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(9):760-767. doi: 10.2106/JBJS.16.00798.

Сведения об авторах

✉ Семенистый Антон Алексеевич — канд. мед. наук
Адрес: Болгария, 1431, г. София, бул. Акад. Иван Гешов,
д. 15

<https://orcid.org/0000-0002-5412-6202>

e-mail: an.semenisty@gmail.com

Кехайов Райчо Иванов — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-0926-2504>

e-mail: rkehayov@abv.bg

Георгиев Павел Радков — канд. мед. наук

e-mail: dr_pgeorgiev@abv.bg

Герчев Александр Иванов — канд. мед. наук

e-mail: gerchevalexander@gmail.com

Authors' information

✉ Anton A. Semenisty — Cand. Sci. (Med.)
Address: 15, Boulevard Acad. Ivan Geshov, Sofia, 1431,
Bulgaria

<https://orcid.org/0000-0002-5412-6202>

e-mail: an.semenisty@gmail.com

Raycho I. Kehayov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0926-2504>

e-mail: rkehayov@abv.bg

Pavel R. Georgiev — Cand. Sci. (Med.)

e-mail: dr_pgeorgiev@abv.bg

Aleksandar I. Gerchev — Cand. Sci. (Med.)

e-mail: gerchevalexander@gmail.com



Замещение костного дефекта таранной кости аутооттрансплантатом, взятым из пяточной кости, с применением AMIC-технологии: клинический случай

Г.В. Коробушкин¹, Б.Г. Ахмедов², В.В. Чеботарев², А.Р. Гайдаров²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, г. Москва, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Вопрос выбора тактики лечения полнослойных остеохондральных дефектов таранной кости до сих пор является актуальным. При выборе тактики лечения следует учитывать два ключевых момента: восстановление архитектоники таранной кости и восстановление хрящеподобного покрытия в зоне остеохондрального дефекта в долгосрочной перспективе.

Описание клинического случая. Пациент 34 лет, физически активный, в 2011 г. получил травму голеностопного сустава, лечился консервативно. В 2020 г. усилились жалобы на боли и снижение активности. Оценка по шкалам при поступлении: ВАШ — 6 баллов, AOFAS-AHS (задний отдел стопы) — 49 баллов, FAAM — 55 баллов. На МРТ выявлен остеохондральный дефект медиального отдела купола таранной кости размером 16,4×9,4 мм и глубиной 20,8 мм. Пациенту выполнено замещение костного дефекта аутооттрансплантатом, взятым из пяточной кости, с применением AMIC-технологии (методики индуцированного на матрице аутохондрогенеза). Через 6 мес. проведен контрольный осмотр, выполнена артроскопия голеностопного сустава с удалением металлофиксаторов. По данным артроскопии, зона хондропластики практически идентична интактному суставному хрящу. Через год после хондропластики пациент вернулся к прежней спортивной активности. Оценка по шкалам: ВАШ — 1 балл, AOFAS-AHS — 94 балла, FAAM — 83 балла.

Заключение. Предложенный метод позволяет восстановить архитектуру таранной кости вместе с хрящевой поверхностью. Применение костного аутооттрансплантата позволяет восполнить дефект таранной кости, а укрытие аутооттрансплантата коллагеновой мембраной способствует формированию в зоне дефекта гиалиноподобной хрящевой ткани.

Ключевые слова: таранная кость, остеохондральный дефект, хондропластика, коллагеновая мембрана, AMIC.

Для цитирования: Коробушкин Г.В., Ахмедов Б.Г., Чеботарев В.В., Гайдаров А.Р. Замещение костного дефекта таранной кости аутооттрансплантатом, взятым из пяточной кости, с применением AMIC-технологии: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):125-133. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15523>.

Чеботарев Виталий Витальевич; e-mail: chebotarew.vitaly@gmail.com

Рукопись получена: 30.08.2023. Рукопись одобрена: 29.11.2023. Статья опубликована: 15.12.2023.

© Коробушкин Г.В., Ахмедов Б.Г., Чеботарев В.В., Гайдаров А.Р., 2023



Repair of Bone Defect of the Talus with Calcaneus Autograft and Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis: A Case Report

Gleb V. Korobushkin¹, Bagavdin G. Akhmedov², Vitaliy V. Chebotarev²,
Arip R. Gaidarov²

¹ National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorova,
Moscow, Russia

² Vishnevsky National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics,
Moscow, Russia

Abstract

Background. The question of choosing a treatment strategy for full-thickness osteochondral defects of the tarsal bone remains relevant. When choosing a treatment strategy, two key points should be considered: restoring the architecture of the tarsal bone and achieving long-term restoration of cartilage-like coverage in the area of the osteochondral defect.

Case report. A 34-year-old physically active patient sustained an ankle injury in 2011 and was treated conservatively. In 2020, he complained of pain and reduced activity. Initial assessment scores were: VAS (Visual Analog Scale) — 6 points, AOFAS-AHS (American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Score) — 49 points, FAAM (Foot and Ankle Ability Measure) — 55 points. An MRI revealed an osteochondral defect in the medial part of the tarsal bone dome, measuring 16.4×9.4 mm and with a depth of 20.8 mm. The patient underwent the replacement of the bone defect with an autograft taken from the heel bone, using autologous matrix induced chondrogenesis (AMIC) procedure. After 6 months, a follow-up examination was performed, including ankle arthroscopy and removal of metal fixators. Arthroscopic findings showed that the chondroplasty area was almost identical to intact joint cartilage. One year after chondroplasty, the patient returned to his previous level of physical activity. Assessment scores were: VAS — 1 point, AOFAS-AHS — 94 points, FAAM — 83 points.

Conclusion. The proposed method allows for the restoration of the architecture of the tarsal bone along with the cartilage surface. The use of a bone autograft helps to fill the tarsal bone defect, and covering the autograft with a collagen membrane contributes to the formation of hyaline-like cartilage tissue in the defect area.

Keywords: tarsal bone, osteochondral defect, chondroplasty, collagen membrane, AMIC.

Cite as: Korobushkin G.V., Akhmedov B.G., Chebotarev V.V., Gaidarov A.R. Repair of Bone Defect of the Talus with Calcaneus Autograft and Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):125-133. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15523>.

✉ Vitaliy V. Chebotarev; e-mail: chebotarew.vitaly@gmail.com

Submitted: 30.08.2023. Accepted: 29.11.2023. Published: 15.12.2023.

© Korobushkin G.V., Ahmedov B.G., Chebotarev V.V., Gaidarov A.R., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Остеохондральные дефекты таранной кости составляют 4% от всех повреждений суставного хряща [1]. В 75% случаев причиной возникновения остеохондральных дефектов таранной кости является травма, как правило, рецидивирующий подвывих в голеностопном суставе [2]. Чаще всего за помощью обращаются люди молодого трудоспособного возраста и пациенты, повседневная деятельность которых сопряжена с повышенной двигательной активностью и спортом [3, 4, 5]. Лечение данной патологии обусловлено сложностью диагностики: неспецифическая клиническая картина, проявляющаяся болью в голеностопном суставе, малоинформативность рентгенографии на ранних стадиях заболевания. Около 30–43% повреждений на рентгенограммах не идентифицируются, а длительная симптоматическая терапия, не дополненная этиотропной, приводит к прогрессированию заболевания и формированию полнослойного остеохондрального дефекта [6, 7].

При хирургическом лечении остеохондральных дефектов широко используются артроскопические остеоперфоративные методики, которые минимизируют повреждения мягких тканей и костных структур [8, 9, 10]. Результат данного воздействия — образование в области дефекта хрящевого регенерата, напоминающего фиброзный хрящ, который по своим биомеханическим характеристикам уступает гиалиновому хрящу [10, 11, 12]. Решением проблемы восстановления хрящевого покрытия может быть применение методики культивирования аутологичных хондроцитов и АМІС-технологии [13].

В 2006 г. Р. Behrens с соавторами впервые применили для лечения остеохондральных дефектов коленного сустава коллагеновые мембраны [14]. М. Wiewiorski с соавторами описали модифицированную методику АМІС (autologous matrix-induced chondrogenesis, в русскоязычной литературе — хондрогенез, индуцированный аутологической матрицей) для лечения пациентов с остеохондральными дефектами таранной кости. Для восстановления архитектоники таранной кости зарубежные коллеги использовали спонгиозный костный аутотрансплантат, костная пластика дополнялась коллагеновой мембраной [15].

Мы адаптировали и модифицировали методику, предложенную К.А. Егизаряном с соавторами для лечения болезни Кёнига, которая заключалась в выполнении мозаичной костной аутохондропластики с применением технологии АМІС и последующим артроскопическим контролем [16]. Нами разработан способ замещения полнослойных костно-хрящевых дефектов суставной поверхности таранной кости, заключающийся

в применении комбинированной костной аутопластики с использованием АМІС-технологии (патент РФ № 2766042).

Цель исследования — на клиническом примере продемонстрировать возможности костной аутопластики в сочетании с технологией АМІС при лечении полнослойного костно-хрящевого дефекта таранной кости.

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Пациент 34 лет без сопутствующей патологии в 2011 г. получил травму голеностопного сустава во время занятий спортом в тренажерном зале, после чего его начали беспокоить постоянные боли ноющего характера и отечность в области голеностопного сустава. Консервативная терапия (НПВП и хондропротекторы) не дала положительного эффекта. Боли усиливались при физической нагрузке, что делало невозможной прежнюю физическую активность. Болевой синдром усилился в 2020 г. Пациент обратился в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова. Состояние пациента при поступлении в клинику: ВАШ — 6 баллов, AOFAS-AHS (American Orthopedic Foot and Ankle Society scale — Ankle Hindfoot Scale) [17] — 49 баллов, FAAM (Foot and Ankle Ability Measure) [18] — 55 баллов.

Было выполнено МРТ левого голеностопного сустава: прослеживался гетерогенный сигнал в медиальном отделе купола таранной кости, выявлены хондромалация суставной поверхности, перестройка костной ткани медиального отдела таранной кости. В области медиального купола таранной кости определялся остеохондральный дефект размерами 16,4×9,4×20,8 мм (рис. 1).



Рис. 1. МРТ левого голеностопного сустава, мультипланарная реконструкция (T2-взвешенное изображение):
а — фронтальная плоскость;
б — сагиттальная плоскость

Fig. 1. MRI of the left ankle, multiplanar reconstruction (T2-weighted image):
a — frontal plane;
b — sagittal plane

Хирургическое вмешательство. В условиях проводниковой анестезии, в положении пациента на левом боку с турникетом на нижней трети бедра, выполнен доступ к медиальной лодыжке. С применением шевронной остеотомии медиальной лодыжки осуществлен доступ к остеохондральному дефекту медиального отдела купола таранной кости. При ревизии определялся измененный хрящ, который легко отделился от подлежащей кости с формированием остеохондрального дефекта 16,4×9,4 мм. Объем удаленного материала определялся по результатам предоперационного планирования, основанного на данных МРТ.

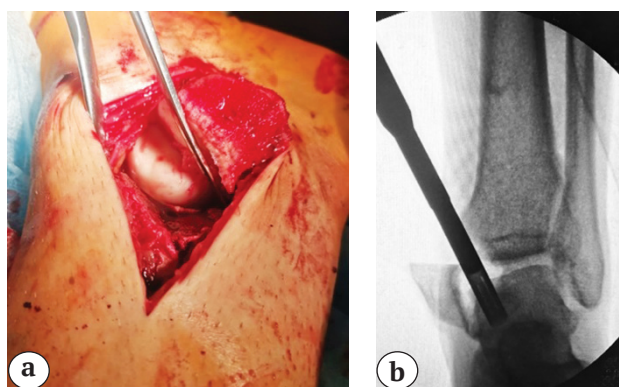


Рис. 2. Удаление измененной костно-хрящевой ткани: а — интраоперационное фото; б — флюороскопическая картина

Fig. 2. Removal of altered bone and cartilage tissue: а — intraoperative photo; б — fluoroscopic image

Измененная костно-хрящевая ткань удалена (рис. 2).

Далее из ската пяточной кости (дорзальная поверхность пяточной кости между задней суставной фасеткой пяточной кости и предахиллярной областью пяточной кости) забирался структурный костный аутографт, объем которого соответствовал объему удаленной костной ткани из таранной кости. Методом press-fit костный аутографт установлен в сформированное ложе таранной кости. Для получения макета дефекта использовался шаблон из стерильной алюминиевой фольги. Модель из фольги соответствовала площади дефекта таранной кости и полностью покрывала костный аутографт, после чего подготовленная коллагеновая мембрана (Ортософт, Россия), предварительно увлажненная фибриновым гелем с клеящей способностью (Криофит, Россия) устанавливалась на костный аутографт. Остеотомированный фрагмент медиальной лодыжки фиксирован двумя винтами, раны послойно ушиты.

Для придания покоя оперированной конечности и профилактики развития эквинусного положения стопы выполнена ее иммобилизация гипсовой повязкой. Рекомендации: ходьба на костылях без нагрузки на оперированную нижнюю конечность в течение 8 нед. с последующим переходом на ортез и началом дозированной нагрузки, активная разработка движений в голеностопном суставе. Переход на полную нагрузку через 8 нед. после операции.

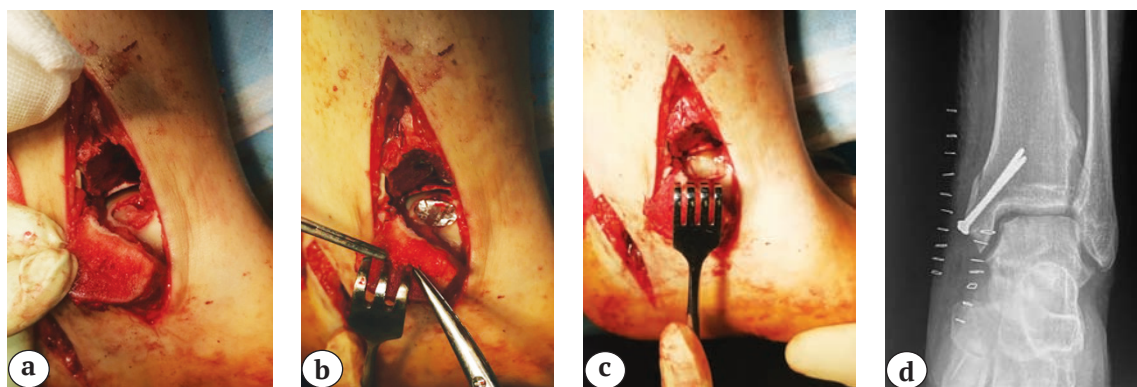


Рис. 3. Замещение дефекта костным аутографтом: а — вид аутографта, помещенного в зону остеохондрального дефекта; б — после заполнения дефекта стерильная фольга смоделирована в соответствии с размером костно-хрящевого дефекта; в — коллагеновая мембрана после нанесения фибринового геля с клеящей способностью помещена в зону остеохондрального дефекта; д — рентгенологический контроль голеностопного сустава после фиксации медиальной лодыжки винтами

Fig. 3. Replacement of the bone defect with an autograft: а — view of the autograft placed in the osteochondral defect; б — after filling the defect, a sterile foil is shaped according to the size of the osteochondral defect; в — a collagen membrane is placed in the osteochondral defect after applying a fibrin adhesive gel; д — radiographic control of the ankle joint after fixing the medial malleolus with screws

На осмотре через 6 мес. отмечена положительная динамика: уровень боли по ВАШ снизился до 2 баллов, оценка по AOFAS-AHS — 90 баллов, по FAAM — 84 балла. Проведена артроскопия голеностопного сустава с целью контроля результата костно-хрящевой аутохондропластики с применением АМС-технологии. Артроскопия осуществлялась через стандартные переднелатеральный и переднемедиальный порты. В связи с наличием дискомфорта в проекции металлофиксаторов выполнено их удаление. Выявлены рубцовые ткани в передних отделах голеностопного сустава, которые были удалены. При визуализации места хондропластики определялось формирование гиалиноподобной хрящевой ткани, архитектура суставной поверхности таранной кости сохранена (рис. 4).

Через 12 мес. выполнено контрольное МРТ-исследование: определяются консолидация зоны остеотомии, перестройка аутографта в зоне дефекта таранной кости и формирование хрящевого покрытия (рис. 5).

Через 12 мес. после хондропластики объем движений в голеностопном суставе восстановлен в полном объеме. Пациент вернулся к занятиям любительским спортом. После удаления металлофиксаторов пациент отметил снижение болевого синдрома. Состояние по данным опросников через 12 мес.: ВАШ — 1 балл, AOFAS-AHS — 94 балла, FAAM — 83 балла.

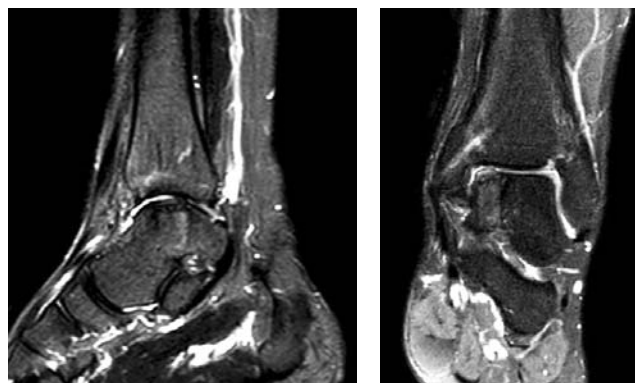


Рис. 5. МРТ через 12 мес. после операции (T2-взвешенное изображение): полная костно-хрящевая интеграция аутографта и коллагеновой мембраны

Fig. 5. MRI of the left ankle (T2-weighted image): the completed osteochondral integration of an autograft and a collagen membrane

ОБСУЖДЕНИЕ

Возможности лечения полнослойных остеохондральных дефектов таранной кости ограничены — единственным способом восстановления архитектуры таранной кости является костная пластика [19, 20]. При крупных дефектах (более 1,5 см²) для восстановления архитектуры таранной кости широко применяется костная ауто- и аллоплас-

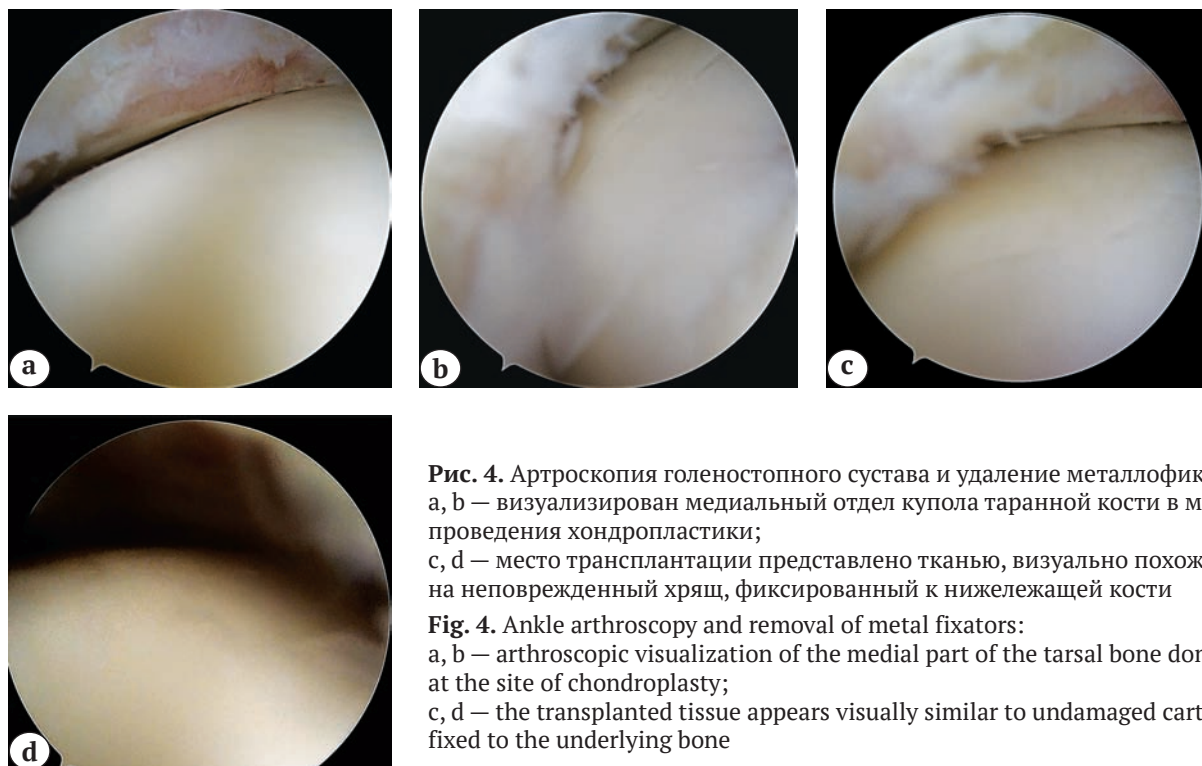


Рис. 4. Артроскопия голеностопного сустава и удаление металлофиксаторов: а, b — визуализирован медиальный отдел купола таранной кости в месте проведения хондропластики; с, d — место трансплантации представлено тканью, визуально похожей на неповрежденный хрящ, фиксированный к нижележащей кости

Fig. 4. Ankle arthroscopy and removal of metal fixators: a, b — arthroscopic visualization of the medial part of the tarsal bone dome at the site of chondroplasty; c, d — the transplanted tissue appears visually similar to undamaged cartilage, fixed to the underlying bone

тика [5, 15]. Несмотря на хорошие клинические результаты при лечении крупных дефектов, при мозаичной костной аутопластике от 20 до 40% дефекта замещается фиброзным хрящом. E. Chang и E. Lenczner отметили, что при мозаичной хондропластике (нескольких костных столбиков) восстановление однородного хрящевого покрытия таранной кости весьма затруднительно [21]. По данным N. Kodama с соавторами, суставная поверхность при выполнении мозаичной хондропластики, в частности пространство между костными столбиками, преимущественно представлено фиброзной тканью [22].

Использование цельного аллотрансплантата позволяет восстановить архитектуру таранной кости, минимизируя развитие фиброзной ткани [23]. Наиболее частым осложнением является костная резорбция, сопровождающаяся замедленной консолидацией или ее отсутствием и проседанием трансплантата, а в редких случаях — трансплантат-ассоциированная инфекция [24]. По данным послеоперационных МРТ-исследований, чаще наблюдается костная резорбция на границе «аллотрансплантат — здоровая кость», нежели «ауто-трансплантат — здоровая кость» [15].

Создание костного «каркаса» с помощью ауто-трансплантатов является одной из приоритетных задач в лечении пациентов с полнослойными остеохондральными дефектами, однако восстановление хрящевого покрытия играет немаловажную роль в долгосрочной перспективе. Использование коллагеновой мембраны для покрытия костного ауто-трансплантата позволяет концентрировать большое количество мезенхимальных клеток и воссоздать цельное хрящевое покрытие, состоящее из гиалиноподобной хрящевой ткани [25]. Фиксация мембраны с помощью фибринового геля с клеящей способностью может способствовать хондрогенной дифференцировке мезенхимальных стволовых клеток [26], чем мы и руководствовались при выборе метода фиксации мембраны.

F. Migliorini с соавторами склоняются к возрастному ограничению имплантации аутологичных культивированных хондроцитов для восстановления хрящевого покрытия, так как пациенты в возрасте 30–33 лет демонстрируют лучшие результаты по сравнению с более старшей возрастной группой. При использовании технологии AMIC данная тенденция не прослеживалась. Поэтому авторы пришли к выводу о том, что эта методика может применяться в старших возрастных группах пациентов с дефектами таранной кости. К тому же одноэтапность и стоимость данной процедуры в отличие от методики культивирования хондроцитов (забор и культивирование хондроцитов в лабораторных условиях с последующей имплан-

тацией) являются немаловажными преимуществами как для пациентов, так и для хирургов [13, 27].

В клиническом наблюдении, представленном M. Wiewiorski с соавторами, описана комбинированная методика лечения крупного дефекта таранной кости, которая состоит из замещения дефекта ауто-трансплантатом, взятым из гребня подвздошной кости, с применением коллагеновой мембраны. Крупный нестабильный остеохондральный дефект площадью около 3 см² был удален в пределах здоровых тканей, выполнена стимуляция костного мозга с использованием ретроградного микро-дриллинга, затем в зону дефекта уложена костная крошка, взятая из гребня подвздошной кости [15]. Как и в нашем случае, коллагеновую мембрану фиксировали к костному ауто-трансплантату фибриновым клеем.

В экспериментальной работе Г.Д. Лазишвили с соавторами провели сравнение эффективности коллагеновых мембран Ортософт (Россия) и Chondro-Gide (Германия). Мембрана Ортософт сформирована методом электроспиннинга из нановолокон диаметром 300–500 нм, состоящих из смеси полилактида и бычьего коллагена I типа. Мембрана Chondro-Gide изготовлена из свиного коллагена I и III типов. В случае применения композитной мембраны Ортософт весьма показательны следующие моменты. Во-первых, образование хрящевой ткани в процентном соотношении заметно выше; во-вторых, ярко выражены островки хрящевой ткани в центре дефекта по всей его толщине, скорость репарации клеток выше, что и является причиной большего объема хрящевой ткани, в отличие от зоны имплантации мембраны Chondro-Gide, где выявлялся только «краевой» неохондрогенез. Во всех случаях хрящевая ткань при неохондрогенезе была представлена гиалиновым хрящом. Таким образом, проведенное исследование подтвердило эффективность применения коллагеновых мембран для регенерации хрящевой ткани. Эксперимент показал, что композитная мембрана Ортософт не уступает, а в ряде случаев и превосходит эффективность мембраны Chondro-Gide [25].

Для профилактики формирования субхондральных кист предпочтительнее использовать структурный ауто-трансплантат с прочной посадкой, нежели спонгиозную крошку [28]. В нашей работе ауто-трансплантат мы брали в виде костных столбиков и имплантировали в место дефекта методом press-fit по аналогии с техникой хондропластики по Hangody. В оригинальной методике L. Hangody было предложено выполнение «мозаичной» аутохондропластики, где костный трансплантат брался из ненагружаемой области мыщелка бедренной кости [29]. К преимуществам забора трансплантата из данной области относится воз-

возможность восполнения крупных дефектов костным аутооттрансплантатом, покрытым хрящевой тканью. Отрицательной стороной способа является возникновение болевого синдрома в донорском месте [30]. В.В. Кузнецов с соавторами предложили брать костный аутооттрансплантат из преахиллярной области пяточной кости, что обеспечивает меньший остаточный болевой синдром «донорского места» и большую удовлетворенность пациентов по сравнению с оригинальной методикой [31]. В нашем клиническом случае мы брали костный аутооттрансплантат из ската пяточной кости, и болевого синдрома через 12 мес. после операции не наблюдалось. Однако методика АМІС с остеотомией лодыжки при доступе к остеохондральному дефекту таранной кости не лишена недостатков. Так, зарубежные коллеги сообщают об основном осложнении, связанном не столько с самой методикой, сколько с фиксацией остеотомированной лодыжки винтами — это жалобы пациентов на наличие дискомфорта в проекции металлофиксаторов [32]. Именно поэтому мы считаем целесообразным удалять металлофиксаторы, но не ранее чем через полгода после операции. Артроскопическая санация с обзором места хондроластики в совокупности с МРТ-исследованием позволяют ви-

зуально оценить хрящеподобное покрытие зоны хондроластики и его идентичность с окружающим хрящевым покрытием таранной кости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При полнослойном остеохондральном дефекте таранной кости оптимальным методом лечения является замещение остеохондрального дефекта костным аутооттрансплантатом. Данный способ является одним из самых доступных, воспроизводимых, а «мозаичная» имплантация костных аутооттрансплантатов позволяет замещать дефекты различных размеров и формы.

В представленном клиническом наблюдении применение костного аутооттрансплантата позволило восполнить дефект таранной кости, а укрытие аутооттрансплантата коллагеновой мембраной способствовало формированию в зоне дефекта гиалиноподобной хрящевой ткани, визуально идентичной окружающему хрящевому покрытию таранной кости. Несмотря на положительный результат лечения, невозможно сделать вывод о преимуществе метода лечения на основании одного клинического наблюдения. Необходимы более масштабные исследования нового метода лечения и его сравнение с уже существующими.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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

Author contribution

All authors made equal contributions to the study and the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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]

- DeBerardino T.M., Arciero R.A., Taylor D.C. Arthroscopic treatment of soft tissue impingement of the ankle in athletes. *Arthroscopy*. 1997;13(4):492-498. doi: 10.1016/s0749-8063(97)90129-8.
- Rikken Q.G.H., Kerkhoffs G.M.M.J. Osteochondral Lesions of the Talus: An Individualized Treatment Paradigm from the Amsterdam Perspective. *Foot Ankle Clin*. 2021;26(1):121-136. doi: 10.1016/j.fcl.2020.10.002.

- Shimozono Y., Yasui Y., Ross A.W., Kennedy J.G. Osteochondral lesions of the talus in the athlete: up to date review. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017;10(1):131-140. doi: 10.1007/s12178-017-9393-8.
- Lan T., McCarthy H.S., Hulme C.H., Wright K.T., Makwana N. The management of talar osteochondral lesions — Current concepts. *J Arthrosc Jt Surg*. 2021;8(3):231-237. doi: 10.1016/j.jajs.2021.04.002.

5. Giannini S., Buda R., Faldini C., Vannini F., Bevoni R., Grandi G. et al. Surgical treatment of osteochondral lesions of the talus in young active patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87 Suppl 2:28-41. doi: 10.2106/JBJS.E.00516.
6. Verhagen R.A., Maas M., Dijkgraaf M.G.W., Tol J.L., Krips R., van Dijk C.N. Prospective study on diagnostic strategies in osteochondral lesions of the talus. Is MRI superior to helical CT? *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(1):41-46.
7. Hepple S., Winson I.G., Glew D. Osteochondral Lesions of the Talus: A Revised Classification. *Foot Ankle Int.* 1999;20(12):789-793. doi: 10.1177/107110079902001206.
8. Зейналов В.Т., Шкуро К.В. Методы лечения остеохондральных повреждений таранной кости (рассекающий остеохондрит) на современном этапе (обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2018;4(34):24-36. doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.4.24-36.
9. Zeinalov V.T., Shkuro K.V. Recent methods of treatment of osteochondral lesions (osteochondritis dissecans) of the talus (Literature review). *Department of Traumatology and Orthopedics.* 2018;4(34):24-36. (In Russian). doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.4.24-36.
10. Айрапетов Г., Воротников А., Коновалов Е. Методы хирургического лечения локальных дефектов гиалинового хряща крупных суставов (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2017;23(4):485-491. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-485-491.
11. Airapetov G., Vorotnikov A., Konovalov E. Surgical methods of focal hyaline cartilage defect management in large joints (literature review). *Genij Ortopedii.* 2017;23(4):485-491. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-485-491.
12. Choi W.J., Park K.K., Kim B.S., Lee J.W. Osteochondral Lesion of the Talus. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):1974-1980. doi: 10.1177/0363546509335765.
13. Yang H.Y., Lee K.B. Arthroscopic Microfracture for Osteochondral Lesions of the Talus: Second-Look Arthroscopic and Magnetic Resonance Analysis of Cartilage Repair Tissue Outcomes. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(1):10-20. doi: 10.2106/JBJS.19.00208.
14. Герасимов С.А., Тенилин Н.А., Корыткин А.А., Зыкин А.А. Хирургическое лечение ограниченных повреждений суставной поверхности: современное состояние вопроса. *Политравма.* 2016;(1):63-69.
15. Gerasimov S.A., Tenilin N.A., Korytkin A.A., Zykin A.A. Surgical treatment of localized injuries to articular surface: the current state of the issue. *Polytrauma.* 2016;(1):63-69. (In Russian).
16. Migliorini F., Maffulli N., Eschweiler J., Götze C., Hildebrand F., Betsch M. Prognostic factors for the management of chondral defects of the knee and ankle joint: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2023;49(2):723-745. doi: 10.1007/s00068-022-02155-y.
17. Behrens P., Bitter T., Kurz B., Russlies M. Matrix-associated autologous chondrocyte transplantation/implantation (МАСТ/МАЦИ) — 5-year follow-up. *Knee.* 2006;13(3):194-202. doi: 10.1016/j.knee.2006.02.012.
18. Wiewiorski M., Barg A., Valderrabano V. Autologous matrix-induced chondrogenesis in osteochondral lesions of the talus. *Foot and Ankle Clinics.* 2013;18(1):151-158. doi: 10.1016/j.fcl.2012.12.009.
19. Егиазарян К.А., Лазишвили Г.Д., Ратъев А.П., Сиротин И.В., Бут-Гусаим А.Б., Данилов М.А. и др. Современные тенденции в лечении локальных хрящевых дефектов коленного сустава. *Хирургическая практика.* 2020;(3):65-72. doi: 10.38181/2223-2427-2020-3-65-72.
20. Егиазарян К.А., Лазишвили Г.Д., Ратъев А.П., Сиротин И.В., Бут-Гусаим А.Б., Данилов М.А. et al. Modern trends in the treatment of local cartilage defects of the knee. *Surgical Practice.* 2020;(3):65-72. (In Russian). doi: 10.38181/2223-2427-2020-3-65-72.
21. De Boer A.S., Tjioe R.J.C., Van Der Sijde F., Meuffels D.E., den Hoed P.T., Van der Vlies C.H. et al. The American Orthopaedic Foot and Ankle Society AnkleHindfoot Scale; Translation and validation of the Dutch language version for ankle fractures. *BMJ Open.* 2017;7(8):e017040. doi: 10.1136/bmjopen-2017-017040.
22. Martin R.L., Irrgang J.J., Burdett R.G., Conti S.F., Van Swearingen J.M. Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int.* 2005;26(11):968-983. doi: 10.1177/107110070502601113.
23. Тимофеев К.А. Дефекты таранной кости и возможности их замещения. *Уральский медицинский журнал.* 2022;21(2):55-58. doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-55-58.
24. Timofeev K.A. Pelvic bone defects and possibilities of their replacement. *Ural Medical Journal.* 2022;21(2):55-58. (In Russian). doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-55-58.
25. Корышков Н.А., Хапилин А.П., Ходжиев А.С., Воронкевич И.А., Огарёв Е.В., Симонов А.Б. и др. Мозаичная аутологичная остеохондропластика в лечении локального асептического некроза блока таранной кости. *Травматология и ортопедия России.* 2014;20(4):90-98. doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-4-90-98.
26. Koryshkov N.A., Khapilin A.P., Khodzhiev A.S., Voronkevich I.A., Ogarev E.V., Simonov A.B. et al. Treatment of local talus osteochondral defects using mosaic autogenous osteochondral plasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2014;20(4):90-98. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-4-90-98.
27. Chang E., Lenczner E. Osteochondritis dissecans of the talar dome treated with an osteochondral autograft. *Can J Surg.* 2000;43(3):217-221.
28. Kodama N., Honjo M., Maki J., Hukuda S. Osteochondritis dissecans of the talus treated with the mosaicplasty technique: a case report. *J Foot Ankle Surg.* 2004;43(3):195-198. doi: 10.1053/j.jfas.2004.03.003.
29. Bisicchia S., Rosso F., Amendola A. Osteochondral allograft of the talus. *Iowa Orthop J.* 2014;34:30-37.
30. Merritt G., Epstein J., Roland D., Bell D. Fresh osteochondral allograft transplantation (FOCAT) for definitive management of a 198 square millimeter osteochondral lesion of the talus (OLT): A case report. *Foot (Edinb).* 2021;46:101639. doi: 10.1016/j.foot.2019.09.001.
31. Лазишвили Г.Д., Егиазарян К.А., Никишин Д.В., Воронцов А.А., Шпак М.А., Клинов Д.В. и др. Экспериментальное обоснование применения коллагеновых мембран для реконструкции полнослойных дефектов гиалинового хряща. *Хирургическая практика.* 2020;(1):45-52. doi: 10.38181/2223-2427-2020-1-45-52.
32. Lazishvili G.D., Egiazaryan K.A., Nikishin D.V., Vorontsov A.A., Shpak M.A., Klinov D.V. et al. Experimental substantiation of the use of collagen membranes for the reconstruction of full-thickness defects in hyaline cartilage. *Surgical Practice.* 2020;1(41):45-52. (In Russian). doi: 10.38181/2223-2427-2020-1-45-52.

26. Malahias M.A., Kostretzis L., Megaloikonos P.D., Cantiller E.B., Chytas D., Thermann H. et al. Autologous matrix-induced chondrogenesis for the treatment of osteochondral lesions of the talus: A systematic review. *Orthop Rev (Pavia)*. 2021;12(4):8872. doi: 10.4081/or.2020.8872.
27. Migliorini F., Maffulli N., Baroncini A., Knobe M., Tingart M., Eschweiler J. Matrix-induced autologous chondrocyte implantation versus autologous matrix-induced chondrogenesis for chondral defects of the talus: a systematic review. *Br Med Bull*. 2021;138(1):144-154. doi: 10.1093/bmb/ldab008.
28. Hurley E.T., Murawski C.D., Paul J., Marangon A., Prado M.P., Xu X. et al. Osteochondral Autograft: Proceedings of the International Consensus Meeting on Cartilage Repair of the Ankle. *Foot Ankle Int*. 2018;39(1 suppl):28S-34S. doi: 10.1177/1071100718781098.
29. Hangody L., Füles P. Autologous osteochondral mosaicplasty for the treatment of full-thickness defects of weight-bearing joints: ten years of experimental and clinical experience. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A Suppl 2:25-32. doi: 10.2106/00004623-200300002-00004.
30. Пашкова Е., Сорокин Е., Коновальчук Н., Фомичев В., Шулепов Д., Демьянова К. Ретроспективный анализ результатов оперативного лечения пациентов с остеохондральными повреждениями блока таранной кости. *Гений ортопедии*. 2022;28(5):643-651. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-643-651.
31. Кузнецов В.В., Пахомов И.А., Корочкин С.Б., Репин А.В., Гуди С.М. Способ забора остеохондрального аутотрансплантата из преахиллярной области пяточной кости. *Современные проблемы науки и образования*. 2017;(5). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27105&ysclid=lp15n1sy70942901269>.
32. Kuznetsov V.V., Pakhomov I.A., Korochkin S.B., Repin A.V., Gudi S.M. Osteochondral graft from the pre-Achilles for repair of ankle joint articular surface defects and lesions. *Modern Problems of Science and Education*. 2017;(5). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27105&ysclid=lp15n1sy70942901269>. (In Russian).
33. Waltenspül M., Meisterhans M., Ackermann J., Wirth S. Typical Complications After Cartilage Repair of the Ankle Using Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis (AMIC). *Foot Ankle Orthop*. 2023;8(1):24730114231164150. doi: 10.1177/24730114231164150.

Сведения об авторах

✉ Чеботарев Виталий Витальевич

Адрес: Россия, 127299, г. Москва, ул. Приорова, д. 10

<https://orcid.org/0009-0001-6483-3162>

e-mail: chebotarew.vitaly@gmail.com

Коробушкин Глеб Владимирович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-9960-2911>

e-mail: kgleb@mail.ru

Ахмедов Багавдин Гаджиевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-9041-9539>

e-mail: drbagavdin@mail.ru

Гайдаров Арип Рашидович

<https://orcid.org/0000-0003-4295-4294>

e-mail: 91gaydarov91@mail.ru

Authors' information

✉ Vitaliy V. Chebotarev

Address: 10, Priorova st., Moscow, 127299, Russia

<https://orcid.org/0009-0001-6483-3162>

e-mail: chebotarew.vitaly@gmail.com

Gleb V. Korobushkin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9960-2911>

e-mail: kgleb@mail.ru

Bagavdin G. Akhmedov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9041-9539>

e-mail: drbagavdin@mail.ru

Arip R. Gaidarov

<https://orcid.org/0000-0003-4295-4294>

e-mail: 91gaydarov91@mail.ru



Correction of Multiapical Deformities of Long Bones of the Lower Extremities: A Literature Review

Evgeniy S. Golovenkin¹, Leonid N. Solomin^{1,2}

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

² LLC "Ortho-SUV", St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Multiapical deformities of the long bones of the lower extremities represent a complex and widely prevalent orthopedic pathology. A numerous of publications address its individual aspects: diagnosis, planning, and correction. However, no single study was found that offers a comprehensive assessment of contemporary views on treating patients with multiapical deformities of long bones.

Aim of the review – to define current concepts and unresolved issues in the analysis, planning, and correction of multiapical deformities of the long bones of the lower limbs based on the scientific literature.

Methods. Electronic databases were utilized for literature search: PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase, eLIBRARY, Google Scholar. Particular attention was paid to studies that provide information on diagnosis, planning, and correction methods for multiapical deformities. A total of 46 publications were included in the review.

Results. In the literature, the terms «multiapical deformity» and «multilevel deformity» are used synonymously. At the same time, the term «multilevel deformity» is used to denote uniapical deformities of different limb segments. The main diagnostic feature of a multiapical deformity is the location of the apex outside the bone. Unlike uniapical deformities, the correction planning of multiapical deformities uses the axis of the intermediate fragment(s). Most authors define it as the mid-diaphyseal line. The correction of multiapical deformities is performed either acute or gradually. Acute correction with internal fixation is undoubtedly more comfortable for the patient. If there are contraindications to it, the deformity correction is performed gradually using Ilizarov hinges or orthopedic hexapods.

Conclusions. The term «multiapical deformity» inherently indicates that the deformed bone has more than one apex, so it should take precedence over the term “multilevel deformity”. The diagnostic feature of the multiapical deformity “localization of the AOD outside the bone” is not absolute and requires clarification. There are challenges in planning the correction using mechanical axes, as well as in determining the axis of the nonlinear (bowing) intermediate fragment(s). The “spring technique” has significant advantages over other variants of using orthopedic hexapods in correcting a multiapical deformity. However, a rationale for the optimal characteristics of springs, their fixation points to supports, and clarification of the computer program’s use method is required. Addressing these issues will enhance the treatment efficiency for patients with multiapical deformities.

Keywords: multiapical deformities, multilevel deformities, deformity correction planning, acute deformity correction, gradual deformity correction, assisted external fixation, orthopedic hexapod, “spring techniques”.

Cite as: Golovenkin E.S., Solomin L.N. Correction of Multiapical Deformities of Long Bones of the Lower Extremities: A Literature Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):134-146. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>.

✉ Evgeniy S. Golovenkin, e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Submitted: 17.05.2023. Accepted: 17.08.2023. Published Online: 18.10.2023

© Golovenkin E.S., Solomin L.N., 2023

Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы

Е.С. Головёнкин¹, Л.Н. Соломин^{1,2}

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

² ООО «Орто-СУВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Многовершинные деформации длинных костей нижних конечностей являются сложной и широко распространенной ортопедической патологией. Большое количество публикаций посвящено ее отдельным аспектам: диагностике, планированию, коррекции. Однако не было найдено ни одной работы, содержащей комплексную оценку современных взглядов на проблему лечения пациентов с многовершинными деформациями длинных костей.


Цель — основываясь на данных научной литературы, определить современные представления и нерешенные вопросы анализа, планирования и коррекции многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей.


Материал и методы. Для поиска литературы были использованы электронные базы данных: PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase, eLIBRARY, Google Scholar. Особое внимание уделялось работам, содержащим информацию о диагностике, планировании и методах коррекции многовершинных деформаций. В обзор было включено 46 публикаций.

Результаты. В литературе как синонимы используются термины «многовершинная деформация» и «многоуровневая деформация». Одновременно с этим термин «многоуровневая деформация» используется для обозначения одновершинных деформаций разных сегментов конечности. Основным диагностическим признаком многовершинной деформации является расположение вершины за пределами границ кости. В отличие от одновершинных деформаций, при планировании коррекции многовершинных деформаций используется ось промежуточного(-ых) фрагмента(-ов). Большинство авторов определяют ее как среднediaфизарную линию. Коррекция многовершинных деформаций выполняется одномоментно или постепенно. Одномоментная коррекция с внутренней фиксацией, несомненно, является более комфортной для пациента. При наличии противопоказаний к ней устранение деформации выполняется дозированно с использованием унифицированных репозиционных узлов или ортопедических гексаподов.

Заключение. Термин «многовершинная деформация» априори показывает, что деформированная кость имеет несколько вершин деформаций, поэтому он должен иметь приоритет перед термином «многоуровневая деформация». Диагностический признак многовершинной деформации «локализация вершины деформации за пределами границ кости» не является абсолютным и требует уточнения. При планировании коррекции имеются сложности при использовании механических осей, а также определения оси нелинейного промежуточного фрагмента (фрагментов). «Пружинная техника» имеет значимые преимущества перед другими вариантами применения ортопедических гексаподов при коррекции многовершинной деформации. Однако необходимо обоснование оптимальных характеристик эластичных тяг, точек их фиксации к опорам, а также уточнение способа использования компьютерной программы. Решение данных задач позволит повысить эффективность лечения пациентов с многовершинными деформациями.

Ключевые слова: многовершинные деформации, многоуровневые деформации, одномоментная коррекция деформаций, постепенная коррекция деформаций, ассистирующая внешняя фиксация, чрескостный остеосинтез, ортопедический гексапод, «пружинная техника».

 **Для цитирования:** Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н. Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):134-146. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>.

 Головёнкин Евгений Сергеевич; e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Рукопись получена: 17.05.2023. Рукопись одобрена: 17.08.2023. Статья опубликована онлайн: 18.10.2023

© Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н., 2023

BACKGROUND

The definitions of the term “deformity” from a technical and orthopedic point of view differ significantly. From a technical standpoint, deformation is a change in the relative positions of points of a solid body, the distance between which changes under the influence of external forces*. In orthopedic surgery, the concept of “deformation” implies a discrepancy of reference lines and angles from accepted norm values in the presence or absence of shortening [1, 2, 3]. Components of deformation include displacement along the length, angular displacement, peripheral displacement, and rotational displacement. In the presence of angular deformity, the term “apex of deformity – AOD” is used – the point of intersection of the axes of the proximal and distal parts of the bone [2, 4, 5, 6, 7, 8]. The terms “Center of Rotation of Angulation - CORA” [9, 10, 11, 12, 13, 14], “Center of deformity – CD” [15] and “Vertex” [16] are used in a similar meaning.

Deformities can have one or multiple apexes. Deformation with multiple apexes within one segment is referred to as multiapical deformity [3, 6, 13, 17, 18] or multilevel deformity [5, 7, 8, 19, 20, 21]. Multiapical deformities (MD) of the long bones in the lower extremities are relatively common and complex orthopedic pathologies that lead to severe disruptions in the statics and kinetics of the musculoskeletal system [5, 21, 22]. Specialized publications have addressed specific aspects of MD, including diagnosis, planning, and correction, particularly concerning different segments. However, no comprehensive review has been found that provides a holistic assessment of contemporary perspectives on the treatment of patients with MD of long bones.

Aim of the review – to define current concepts and unresolved issues in the analysis, planning, and correction of multiapex deformities of the long bones of the lower limbs based on the scientific literature.

METHODS

A literature search was conducted in the following electronic databases: PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase (in English), eLIBRARY (in Russian), Google Scholar (in Russian and English). The following keywords were used: multiapical deformities, multilevel

deformities, acute deformity correction, gradual deformity correction, acute deformity correction, assisted external fixation, Ilizarov apparatus, orthopedic hexapods, spring technique. Key terms in Russian and English were used to ensure comprehensive coverage.

Inclusion criteria:

- 1) studies of all levels of evidence;
- 2) publications containing information about the treatment of patients with MD of long bones in the lower extremities;
- 3) publications that define the term “deformation” and contain data on the diagnosis, planning, and treatment of long bone deformities;
- 4) availability of the full text of the publication in Russian or English.

The review included 47 publications (8 in Russian and 39 in English). Particular attention was given to the methods used by authors to correct MD, indicators of accuracy and duration of correction, as well as complications.

It should be noted that the vast majority of reviewed sources consisted of expert opinions [1, 11, 19, 23, 24, 25], case analysis or series of clinical cases [4, 11, 17, 18, 20-37]. Many authors did not distinguish patients with MD as a separate group in their studies, making it difficult to interpret the results within the scope of the topic [4, 11, 18, 29, 35, 37, 38]. Based on this, it can be concluded that there is a deficiency in high-evidence research in this area.

RESULTS

As previously noted, in scientific literature, two terms, multiapical deformity and multilevel deformity, are used synonymously to denote deformations with multiple apices within one segment. Simultaneously, the term “multilevel deformity” is used to refer to uniapical deformities of different segments within one limb [39].

The diagnosis of multiapical deformities of the femur or tibia is discussed in 12 publications [1, 6, 8, 9, 12, 13, 17, 21, 24, 29, 34, 35]. In these publications, the primary criterion for MD is the localization of the deformity apex outside the bone: medially, laterally, anteriorly, or posteriorly (Fig. 1a), as well as higher or lower (Fig. 1b). Diagnosis of MD of the tibia is recommended to be performed using mechanical axes, while the femur is recommended to use anatomical axes [1, 12]. Other diagnostic criteria for MD mentioned in the literature include:

- the presence of a "bowing" bone [8] (Fig. 1 c);
- deviation of one of the angles from reference values when crossing anatomical axes in the area of "obvious deformity" [8] (Fig. 1 d);
- the localization of the deformity apex within the bone but outside the obvious deformity" [1, 8] (Fig.1 e);
- the presence of parallel axes in the proximal and distal segments of the bone [8] (Fig. 1 f).

Planning for the correction of multiapical deformities is discussed in 12 studies [1, 6, 8, 9, 12, 13, 17, 21, 24, 29, 34, 35]. In addition to the axes of the proximal and distal segments of the bone, the axis of the intermediate part of the bone where osteotomies will be performed to create intermediate fragments is also used.

The majority of authors agree that the axis of the intermediate fragment is the mid-diaphyseal line [8, 12, 13, 17, 21, 29, 34]. However, in D. Paley's study, an alternative position is presented, suggesting that the axis of the intermediate fragment "can be drawn at different

orientations" [9] (Fig. 2). Based on the illustration provided in his article, it can be assumed that any position and angle of inclination of the axis of the intermediate segment are permissible as long as it intersects with the axes of the proximal and distal segments of the bone and does not extend beyond the bone's boundaries.

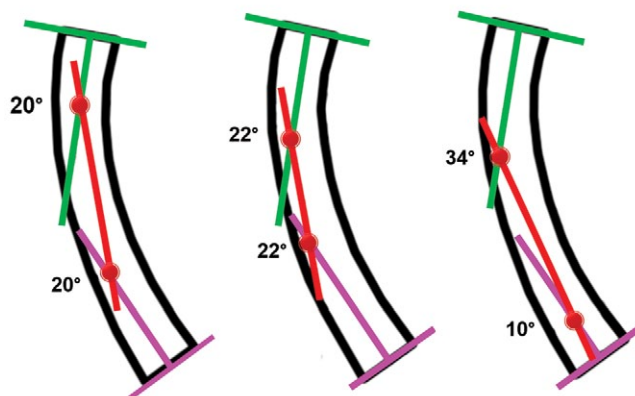


Fig. 2. Different options of identifying the axis of intermediate fragment according to D. Paley [9]

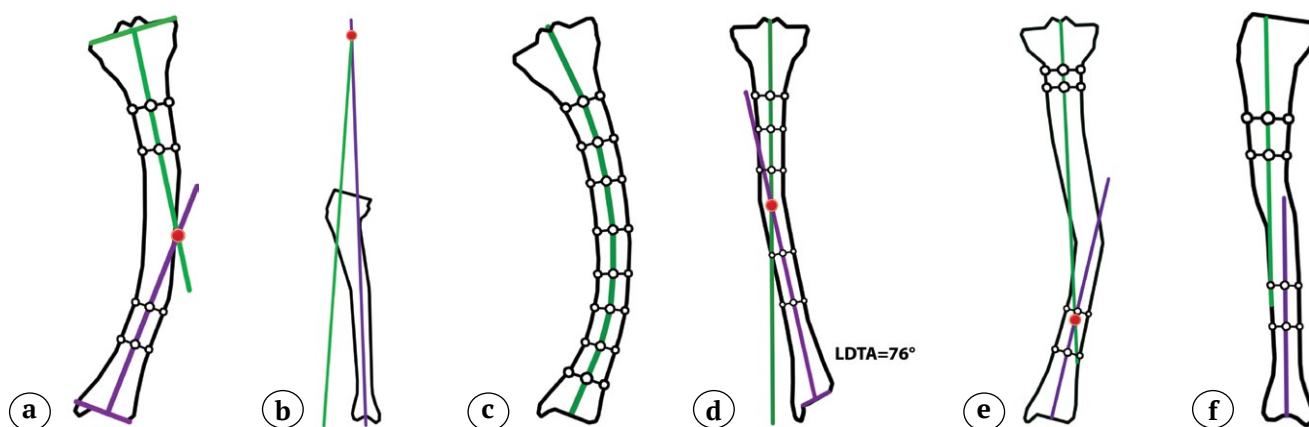


Fig. 1. Diagnostic signs of MD (using the tibia as an example):

- a – AOD is located outside of the bone (laterally);
- b – AOD is located outside of the bone (proximally);
- c – the bone has a long, curving bow;
- d – the bone segment has an obvious deformity plus the LDTA formed by the mid-diaphyseal line is abnormal;
- e – AOD doesn't match the obvious deformity;
- f – the proximal and distal axes are parallel

Authors concur that the points of intersection of the axis of the intermediate segment with the axes of the proximal and distal segments are optimal for performing osteotomies. Correction at each apex is carried out according to the 1st osteotomy rule. In cases where the size of one of the segments is too small, the use of the 2nd osteotomy rule is recommended [8]. If correction of deformities with more than two apices is required [4, 17, 20, 30, 31, 35, 37], planning is carried out using axes of multiple intermediate fragments [1, 20]. In planning the correction of tibia deformities, D. Paley recommends the following algorithm [1]:

- 1) draw mid-diaphyseal lines of the proximal and distal segments of the bone;
- 2) determine the correspondence of anatomical angles to normative values; in case of mismatch, draw anatomical axes corresponding to the norm;
- 3) identify AODs (points of intersection of the axes of the proximal, intermediate, and distal fragments), measure the angular deformities for each AOD, and determine the optimal levels for performing osteotomies.

Correction of deformities, including multiapical ones, can be performed either acutely or gradually, i.e. progressive. The following advantages of acute correction with internal fixation over gradual correction have been identified:

- 1) convenience for the patient due to the absence of bulky external metal constructs [17, 18, 24, 29, 30];
- 2) prevention of deformity recurrence and refractures, especially in cases of osteogenesis imperfecta [17, 28];
- 3) absence of complications typical of external fixation, such as transfixation contractures and inflammations around the transosseous elements [30, 31];
- 4) elimination of the need for patient and/or orthopedic curator participation in the correction process [40];
- 5) reduction of overall treatment duration [29].

The use of monolateral [17, 24] or circular [31] frames as assisted external fixation increases the accuracy of acute correction [18, 24, 27, 29, 31]. This method has been successfully applied

in the correction of multiapical deformities of the long bones in the lower extremities. For the final fixation of bone fragments during single-step correction of multiapical deformities, intramedullary nails were used (Table 1).

At acute correction, according to various authors, the total magnitude of angular deformity should not exceed 20-35° [4, 10, 41, 42], and torsional deformity should not exceed 20° [41]. Acute correction with internal fixation compared to gradual correction has the following disadvantages:

- longer duration of the operation [38];
- lower accuracy of correction [7, 29];
- inability to correct residual deformity [7, 29];
- longer time required for consolidation [10, 44];
- risk of deep infection [17, 28, 29, 31];
- greater intraoperative blood loss [38];
- objective limitations on the magnitude of deformity that can be corrected without the risk of neurotrophic complications [10, 29, 38, 41, 42].

In cases where there are contraindications to acute correction, gradual correction should be used. This method is preferable when there is a need to correct complex (multi-planar, multi-component) deformities [1, 7, 44]. Ilizarov hinges [4, 28, 32, 33] and orthopedic hexapods [11, 20, 21, 34, 35, 36, 37] were used in gradual correction of MD (Table 2).

Orthopedic hexapods offer several advantages over Ilizarov hinges:

- the ability to correct all components of the deformity in a one-step procedure [2, 11, 20, 44];
- better accuracy of correction, especially when dealing with complex deformities [11, 40, 44, 45, 46];
- a shorter learning curve [34, 40, 44, 45].

As of today, there are three techniques for correcting MD using orthopedic hexapods:

- 1) simultaneous correction of multiple apices of the deformity using multiple orthopedic hexapods, one at each apex [11, 14, 21, 25, 34, 36, 37, 47];
- 2) sequential correction of MD using a single hexapod [21]. When correcting at the level of one apex, the level of the other(s) is fixed. Deformity is corrected sequentially at each apex;

3) simultaneous correction of multiple apexes of the deformity using a single orthopedic hexapod with the use of the so-called "spring technique" [19]. The struts of the orthopedic hexapod are fixed to proximal and distal rings. An intermediate ring (one or more) is fixed to adjacent supports using elastic springs. When correction is performed, the

intermediate fragment "automatically" takes its correct position.

Despite all the positive qualities, orthopedic hexapods have a significant disadvantage - relatively high cost, making them less accessible for widespread use compared to the Ilizarov apparatus [33, 34].

Table 1

**Studies on acute correction of multiapical deformities
(level of reliability higher than expert opinion)**

Author, publication year	Methodology	Number of patients (segments)	Correction accuracy	Consolidation period	Complications
Bilen F.E. et al., 2010 [17]	Fixator-assisted nailing	4 (4)	MAD +2.25 mm (0–6) MPTA 89.75° (89–90) LDTA 90° (90)	Average BHI – 43 days/cm (30–48))	1 st degree by Caton – 2 episodes
Galal S., 2017 [18]	Fixator-assisted nailing	≥1(≥1)	N/a	N/a	N/a
Paley D. et al., 1997 [26]	Fixator-assisted nailing	n/a (8)	±1° from planned	N/a	Absent
Eralp L. et al., 2004 [27]	Fixator-assisted nailing (FAN)	2 (7)	MAD +8.75 mm (5–11) MPTA 86.5° (85–90) LDFA 87.5° (86–90)	N/a	Absent
Song H.R. et al., 2006 [28]	Final locking nail fixation	≥1(≥1)	N/a	N/a	N/a
Eralp L. et al., 2011 [29]	Fixator-assisted nailing	≥1(≥1)	N/a	N/a	N/a
Kocaoğlu M. et al., 2011 [30]	Fixator-assisted nailing	17 (43)	LDFA 87° (80–92) (val.), 90° (87–109) (var.); MPTA 88° (86–90) (var.), 87° (85–91) (val.); MAD (var.) +7 mm (0–29); MAD (val.) -6 (-20...+7)	N/a	1 st degree by Caton – 5 episodes, 2 nd degree by Caton – 4 episodes
Hughes A. et al., 2017 [31]	Fixator-assisted internal fixation	N/a (12)	N/a	N/a	N/a
Chaudhary M.M. et al., 2019 [38]	Fixator-assisted nailing	12 (12)	LDFA 89.1° (80.4–90.0) PDFFA 86.6° (82.0–90.3) MAD restored in 42% of cases	161 days (103–208)	N/a

MAD – mechanical axis deviation; LPFA – lateral proximal femoral angle; PDFFA – posterior distal femoral angle; LDFA – lateral distal femoral angle; MPTA – medial proximal tibial angle; LDTA – lateral distal tibial angle; BHI – bone healing index; N/a – not available; val. – valgus; var. – varus.

Table 2

**Studies on gradual correction of multiapical deformities
(level of reliability higher than expert opinion)**

Author, publication year	Methodology	Number of patients (segments)	Correction accuracy	Correction and fixation period	Complications
Zyrjanov S.Y., 1995 [4]	Use of Ilizarov hinges	<66 (N/a)	N/a	N/a	N/a
Ganger R. et al., 2009 [11]	Simultaneous correction using multiple Hexapods	≥1 (≥1)	N/a	N/a	N/a
Solomin L.N. et al., 2017 [20]	«Spring technique»	7 (7)	97.6%	6 (4–9) weeks; 47 (37–54) weeks	1 st degree by Caton — 2 episodes, 2 nd degree by Caton — 1 episode
Vilenskiy V.A. et al., 2019 [21]	Simultaneous correction using multiple Hexapods	25 (30)	Val: MPTA 90.1±4.4° LDTA 86.5±8.0° Var: MPTA 88.6±1.8° LDTA 88.7±4.4°	31.1±20 days; 47 (37–54) weeks.	1 st degree by Caton — n/a ("almost in all"), 2 nd degree by Caton — 11 cases
	Gradual deformity correction using one Hexapod	14 (19)	Val: MPTA 90.9±2.3° LDTA 89.7±5.5° Var: MPTA 87±3.2° LDTA 86±11.2°	27.1±48.3 days; 177.8±10.3 days	1 st degree by Caton — more than 3 episodes ("almost in all"), 2 nd degree by Caton — 5 episodes (26%)
Song H.R. et al., 2006 [28]	Use of Ilizarov hinges	≥1(≥1)	N/a	N/a	N/a
Vaidya S.V., 2006 [32]	Use of Ilizarov hinges	24 (47)	MPTA 86.3±6.4° LDTA 91.2±8.4° MAD 4.7±11.6 mm	n/a; Average BHI 26.06±3.27 days/cm	1 st degree by Caton — 17 episodes; 2 nd degree by Caton — 29 episodes
Matsubara H. et al., 2008 [33]	Use of Ilizarov hinges	2 (6)	LDFA 88° (87–90); MPTA 86.5° (85–88); LDTA 87° (86–88)	n/a; 146 (133–157) days	Absent
Naqui S.Z.H. et al., 2008 [34]	Simultaneous correction using multiple Hexapods	≥1 (≥1)	N/a	N/a	N/a
Koren L. et al., 2016 [35]	Simultaneous correction using multiple Hexapods	≥2 (≥2)	N/a	N/a	N/a
Riganti S. et al., 2018 [36]	Simultaneous correction using multiple Hexapods	≥1 (≥1)	N/a	N/a	N/a

MAD — mechanical axis deviation; LPFA — lateral proximal femoral angle; PDFFA — posterior distal femoral angle; LDFA — lateral distal femoral angle; MPTA — medial proximal tibial angle; LDTA — lateral distal tibial angle; BHI — bone healing index; N/a — not available; val. — valgus; var. — varus.

DISCUSSION

There is terminological confusion arising from the use of "multiapical deformity" and "multilevel deformity" as synonyms. In our opinion, the term "multiapical deformity" inherently indicates that the deformed bone has several (two or more) apices of deformity. Therefore, we consider that preference should be given to this term. The term "multilevel deformity" is more appropriate for denoting deformities in different segments of the same limb.

The diagnosis of MD (multiapical deformity) deserves separate consideration. Signs referred to as "bow curving bone" and "deviation of one of the angles from the reference values when crossing anatomical axes in the area of "obvious deformity" are illustrated in Fig. 1 c and 1 d. However, when determining the MD using mechanical axes in both cases, the point of intersection is located outside the bone (Fig. 3 a, b). Thus, the discussed signs are not independent but rather specific cases of feature No. 1, which is "location of the MD outside the boundaries of the bone."

Another MD feature, "localization of the apex of deformity outside the obvious deformity," (see Fig. 1e) also cannot be considered universal. With standard planning using mechanical axes,

the MD is determined within the boundaries of the bone, allowing correction according to the 1st osteotomy rule (Fig. 3 c).

Deformity with parallel axes of the proximal and distal fragments (Fig. 1 f) is referred to in the literature as "isolated translation deformity." Its correction can be performed with either one or two osteotomies. The question of whether translational deformities corrected with two osteotomies can be classified as multiapical is a subject of debate.

Despite the fact that restoring proper relationships between reference lines and angles is a key goal of deformity correction, the bone's shape after correction must also be taken into account. MD correction can be successfully accomplished with a single osteotomy, following either the 1st osteotomy rule (for MD located anteriorly, posteriorly, medially, or laterally to the bone's boundaries) or the 2nd osteotomy rule (for MD located above or below the bone). However, in the first case, a "zig-zag" in the anatomical axis and a bony "bump" may occur [6], while in the second case, pronounced distal fragment translation occurs. Performing multiple osteotomies can eliminate these undesirable outcomes. The optimal number of osteotomies in specific cases and the best levels for their execution remain points of discussion.

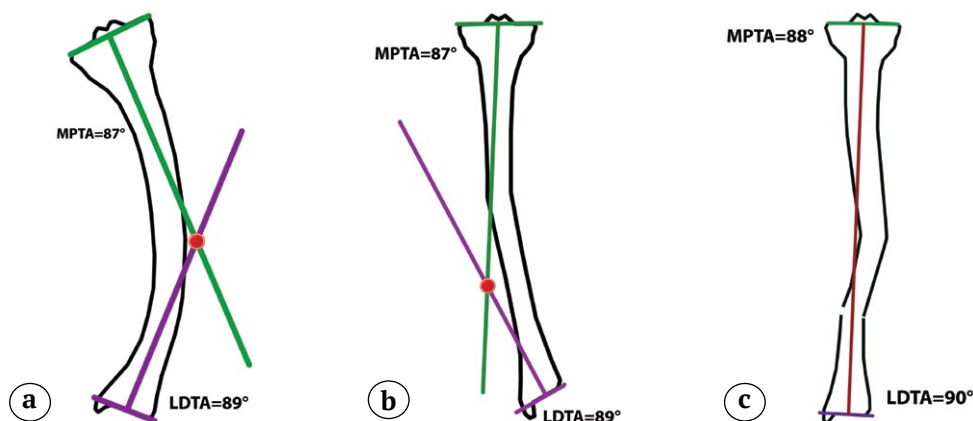


Fig. 3. Analysis of the diagnostic signs of MD:

a – correction planning using the mechanical axes of the proximal and distal bone fragments (analysis of sign N 2);

b – correction planning using the mechanical axes of the proximal and distal bone fragments (analysis of sign N 3);

c – correction according to the 1st osteotomy rule (analysis of sign N 4)

In the implementation of most MD correction techniques, the axis of the intermediate fragment is aligned with the proximal fragment's axis, and the axis of the distal fragment is aligned with the intermediate fragment's axis. However, this method can be easily implemented only when the intermediate fragment's axis is linear (i.e., straight). If we consider the axis of the intermediate fragment as the mid-diaphyseal line, then in cases where the intermediate fragment (and thus its axis) is nonlinear, the realization of the described method becomes impossible. Recommendations for planning MD correction, as described by D. Paley et al. (See Fig. 2) and the algorithm for planning three apical deformities, become significantly more challenging when dealing with nonlinear fragments. The more "curved" the bone is, the more challenging it is to implement the described planning method; there are no recommendations on how many straight segments the anatomical axis curve should be divided into.

Diagnosing deformity and preoperative planning are just the initial steps in the treatment of patients with MD. A literature analysis has shown that the most common surgical treatment methods for MD at present are acute correction with internal fixation using intramedullary rods and gradual correction using orthopedic hexapods.

One of the most important indicators in assessing correction results is its accuracy. However, only 10 out of 20 authors provided these data. Furthermore, in some studies, correction accuracy is reflected as percentages [20], while in others, values of reference lines and angles are provided [17, 21, 26, 27, 30, 32, 33, 37, 38]. All of this creates challenges for an objective evaluation of the effectiveness of the methods being used.

As previously noted, despite its advantages, acute correction with internal fixation has objective limitations and contraindications. In cases where these exist, gradual correction is preferable. However, techniques for gradual correction using orthopedic hexapods also have their disadvantages. When multiple hexapods are used simultaneously, the construct becomes excessively heavy and cumbersome, increasing patient discomfort associated with the external

fixation frame. There is also an increase in labor requirements; the orthopedic surgeon must perform several isolated calculations in the computer program, and during correction, adjustments need to be made not for just six, but for twelve, or in the case of three apical deformities, eighteen struts. Additionally, the economic burden on the healthcare facility increases because more orthopedic hexapods are required to implement this method.

In sequential correction using a single hexapod, a choice must be made regarding which apex to start correction from, and two separate calculations are necessary. The correction period increases proportionally with the number of deformity apexes (See Table 2). Premature consolidation at the level of the apex «awaiting» correction is possible.

The "spring technique" aims to overcome the drawbacks of both methods. This technique involves using only one hexapod, which is more comfortable for both the surgeon and the patient. The correction is performed simultaneously at multiple apexes, reducing its duration. However, despite the promise of this technique, several technical details essential for its successful realization remain unclear:

- the optimal number and technical characteristics of elastic rods;
- the optimal points for attaching elastic rods to supports;
- the specifics of using computer software for orthopedic hexapods when the "spring technique" is realized.

In the "spring technique," during the calculation of correction in the computer program, the distal fragment's axis is aligned with the proximal fragment's axis, ignoring the intermediate fragment's axis. In this case, it remains unclear how to define the "yellow contour" in the computer program, indicating the initial position of the mobile bone fragment: should it correspond to the boundaries of the distal fragment or include the intermediate fragment entirely or partially? Another function of the "yellow contour" is to establish so-called "structures at risk" (SAR) based on its boundaries. SAR are critical points for calculating the number of correction days in the program. SAR represent the point at the proximal edge of the

distal fragment that will undergo the greatest displacement in both the frontal and sagittal planes during correction.

In the implementation of the "spring technique," the first stage of correction (distraction) is performed using the orthopedic hexapod at one apex and two-plane Ilizarov hinges at another apex. When performing the standard calculation in the computer program to achieve distraction, axes of the proximal and distal (mobile) fragments are required. Based on this, the algorithm built into the program aligns the distal fragment's axis with the proximal one. Therefore, in cases where one axis is not an extension of the other, meaning there is angular deformity, the distal fragment will experience displacement in width and/or at an angle (Fig.4).

The "free movement" of the red contour using program options is not technically sound and may cause a malfunction in the program. Therefore, the technique for correctly performing

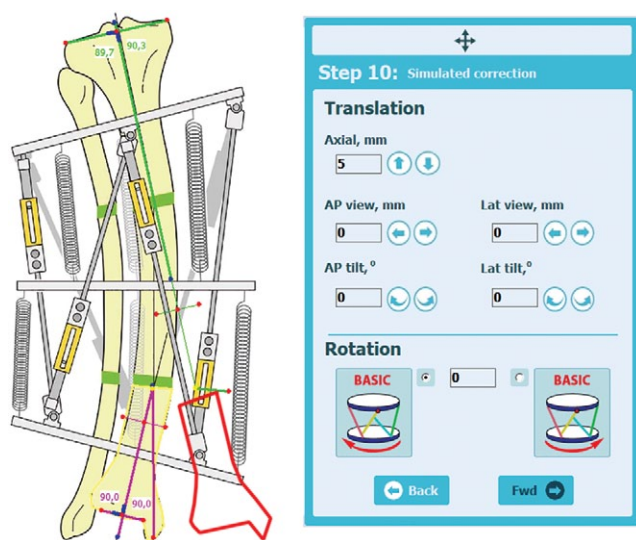


Fig. 4. When trying to identify the axes of the proximal and distal fragments by the standard method, the program calculates not the plane-parallel distraction, but the translation and angulation of the distal fragment

distraction using an orthopedic hexapod when implementing the "spring technique" currently requires clarification.

CONCLUSIONS

The term "multiapical deformation," in contrast to the term "multilevel deformation," inherently indicates the presence of two or more deformation apices in the bone. Therefore, it should be used to denote this pathology. The key diagnostic feature of MD is the localization of the point of intersection of the axes of the proximal and distal fragments outside the bone. However, it is not an absolute feature and requires further clarification. Unlike uniapical deformities, MD requires the use of intermediate fragment(s) axes for planning correction. To date, there is no known method for accurately determining the axis of a nonlinear intermediate fragment(s). It remains unknown how to perform MD correction planning based on mechanical axes.

Acute correction of MD with intramedullary fixation and gradual correction using several orthopedic hexapods (one for each deformity apex) are the most commonly used methods. The "spring technique" has clear advantages as it allows the use of only one orthopedic hexapod and one calculation for MD correction. However, there is a need for justification of the optimal characteristics of elastic rods, their fixation points, and clarification of the method for using the hexapod's computer program, specifically for calculating initial distraction and defining the boundaries of the movable fragment and "structures at risk." Addressing these challenges will enhance the effectiveness of treating patients with MD of the long bones of the lower extremities.

DISCLAIMERS

Author contribution

Evgeniy S. Golovenkin — literature search and review, drafting the manuscript.

Leonid N. Solomin — study concept and design, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

- Paley D. *Principles of deformity correction*. New York: Springer-Verlag; 2009. p. 61-154.
- Solomin L.N. Basic Principles of Correction of Long-Bone Deformities. In: *The Basic Principles of External Skeletal Fixation*. Solomin L.N. (ed.). Moscow: BINOM; 2015. Vol. 2. p. 590-735. (In Russian).
- Schröter S., Elson D.W., Ateshrang A., Ihle C., Stöckle U., Dickschas J. et al. Lower Limb Deformity Analysis and the Planning of an Osteotomy. *J Knee Surg*. 2017;30(5):393-408. doi: 10.1055/s-0037-1603503.
- Zyryanov S.Ya. Simultaneous deformity correction of all segments of the lower limb. *Genij ortopedii*. 1995;(1): 53-58. (In Russian).
- Shevtsov V.I., Shreiner A.A., Smelyshev K.N., Sveshnikov A.A., Obanina N.F. Roentgenologic patterns and mineral density in leg bones at the stages of correction of their two-level deformities with the Ilizarov apparatus. *Genij Ortopedii*. 2000;(1):60-64. (In Russian).
- Paley D., Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal plane angular and bowing deformities of the femur and tibia. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(280):65-71.
- Tetsworth K.D., Paley D. Accuracy of correction of complex lower-extremity deformities by the Ilizarov method. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(301):102-110.
- Standard S.C., Herzenberg J.E., Conway J.D., Siddiqui N.A., McClure P.K. *The Art of Limb Alignment*. Baltimore: Rubin Institute for Advanced Orthopedics, Sinai Hospital of Baltimore; 2019. p. 77-135.
- Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhava A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am*. 1994;25(3):425-465.
- Matsubara H., Tsuchiya H., Sakurakichi K., Watanabe K., Tomita K. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *Int Orthop*. 2006;30(6):550-554. doi: 10.1007/s00264-006-0133-8.
- Ganger R., Radler C., Speigner B., Grill F. Correction of post-traumatic lower limb deformities using the Taylor spatial frame. *Int Orthop*. 2010;34(5): 723-730. doi: 10.1007/s00264-009-0839-5.
- Brinker M. R., O'Connor D. P. Principles of malunions. In: *Rockwood Green's fractures in adults*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2015. p. 869-894.
- Çakmak M., Civan M. Multiapical Deformities. In: *Basic Techniques for Extremity Reconstruction*. Cham: Springer, 2018. p. 285-294.
- Massobrio M., Mora R. (ed.). *Hexapod External Fixator Systems: Principles and Current Practice in Orthopaedic Surgery*. Springer International Publishing; 2021. p. 61-65; p. 133-152.
- Heijens E., Gladbach B., Pfeil J. Definition, Quantification, and Correction of Translation Deformities Using Long Leg Frontal Plane Radiography. *J Pediatric Orthop. Part B*. 1999;8(4):285-291. doi: 10.1097/01202412-199910000-00011.
- Seide K., Faschingbauer M., Wenzl M.E., Weinrich N., Juergens C. A hexapod robot external fixator for computer assisted fracture reduction and deformity correction. *Int J Med Robot*. 2004;1(1):64-69. doi: 10.1002/rcs.6.
- Bilen F.E., Kocaoglu M., Eralp L., Balci H.I. Fixator-assisted nailing and consecutive lengthening over an intramedullary nail for the correction of tibial deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(1):146-152. doi: 10.1302/0301-620X.92B1.22637.
- Galal S. Comparison of Fixator Assisted Plating versus Fixator Assisted Nailing for Distal Femoral Osteotomy. *J Limb Length Reconstr*. 2017;3(1):52-56.
- Tsuchiya H., Uehara K., Abdel-Wanis M.E., Sakurakichi K., Kabata T., Tomita K. Deformity correction followed by lengthening with the Ilizarov method. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;(402):176-183. doi: 10.1097/00003086-200209000-00016.
- Solomin L.N., Shchepkina E.A., Korchagin K.L., Sabirov F.K., Takata M., Tsuchia Kh. The New Method of Long Bone Multilevel Deformities Correction Using the Orthopedic Hexapod (Preliminary Report). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(3):103-109. (In Russian).
- Vilensky V.A., Zakharyan E.A., Zubairov T.F., Dolgiev B.Kh., Toldieva Kh.B., Fomylina O.A. Treatment of two-level deformities of lower leg bones: two hexapods or one? *Modern Problems of Science and Education. Surgery*. 2019;(6):141-141. doi: 10.17513/spno.29352. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29352>. (In Russian).
- Luniova S.N., Smelyshev K.N., Yerofeyeva T.N., Desiatnichenko K.S. Proliferative and expressive activities of articular cartilage cells during experimental correction of leg deformity. *Genij Ortopedii*. 2000;(4):15-18. (In Russian).

23. Nicol S., Jackson M., Monsell F. Recent advances in external fixation. *Bone Joint* 360. 2015;4(4):2-7. doi: 10.1302/2048-0105.42.360352.
24. Kocaoğlu M., Tsuchiya H., Eralp L. (ed.). Femoral and Tibial Deformity Correction and Consecutive Lengthening over an Intramedullary Nail (FAN-LON). In: *Advanced techniques in limb reconstruction surgery*. Springer; 2015. p. 49-85.
25. Trombetti A., Al-Daghri N., Brandi M.L., Cannata-Andía J.B., Cavalier E., Chandran M. et al. Interdisciplinary management of FGF23-related phosphate wasting syndromes: a Consensus Statement on the evaluation, diagnosis and care of patients with X-linked hypophosphataemia. *Nat Rev Endocrinol*. 2022;18(6):366-384. doi: 10.1038/s41574-022-00662-x.
26. Paley D., Herzenberg J.E., Bor N. Fixator-assisted nailing of femoral and tibial deformities. *Tech Orthop*. 1997;12(4):260-275. doi: 10.1097/00013611-199712000-00004.
27. Eralp L., Kocaoğlu M., Cakmak M., Ozden V.E. A correction of windswept deformity by fixator assisted nailing. A report of two cases. *J Bone Joint Surg Br*. 2004; 86(7):1065-1068. doi: 10.1302/0301-620x.86b7.14923.
28. Song H.R., Soma Raju V.V., Kumar S., Lee S.H., Suh S.W., Kim J.R. et al. Deformity correction by external fixation and/or intramedullary nailing in hypophosphatemic rickets. *Acta Orthop*. 2006;77(2):307-314. doi: 10.1080/17453670610046073.
29. Eralp L., Kocaoğlu M., Toker B., Balci H.I., Awad A. Comparison of fixator-assisted nailing versus circular external fixator for bone realignment of lower extremity angular deformities in rickets disease. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011;131(5):581-589. doi: 10.1007/s00402-010-1162-8.
30. Kocaoğlu M., Bilen F.E., Sen C., Eralp L., Balci H.I. Combined technique for the correction of lower-limb deformities resulting from metabolic bone disease. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(1):52-56. doi: 10.1302/0301-620X.93B1.24788.
31. Hughes A., Heidari N., Mitchell S., Livingstone J., Jackson M., Atkins R. et al. Computer hexapod-assisted orthopaedic surgery provides a predictable and safe method of femoral deformity correction. *Bone Joint J*. 2017;99-B(2):283-288. doi: 10.1302/0301-620X.99B2.BJJ-2016-0271.R1.
32. Vaidya S.V., Song H.R., Lee S.H., Suh S.W., Keny S.M., Telang S.S. Bifocal tibial corrective osteotomy with lengthening in achondroplasia: an analysis of results and complications. *J Pediatr Orthop*. 2006;26(6):788-793. doi: 10.1097/01.bpo.0000242429.83866.97.
33. Matsubara H., Tsuchiya H., Kabata T., Sakurakichi K., Watanabe K., Tomita K. Deformity correction for vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets of adults. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2008;128(10):1137-1143. doi: 10.1007/s00402-007-0548-8.
34. Naqui S.Z., Thiryayi W., Foster A., Tselentakis G., Evans M., Day J.B. Correction of simple and complex pediatric deformities using the Taylor-Spatial Frame. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(6): 640-647. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181831e99.
35. Koren L., Keren Y., Eidelman M. Multiplanar Deformities Correction Using Taylor Spatial Frame in Skeletally Immature Patients. *Open Orthop J*. 2016;10:71-79. doi: 10.2174/1874325001610010603.
36. Riganti S., Nasto L.A., Mannino S., Marrè Brunenghi G., Boero S. Correction of complex lower limb angular deformities with or without length discrepancy in children using the TL-HEX hexapod system: comparison of clinical and radiographical results. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28(3):214-220. doi: 10.1097/BPB.0000000000000573.
37. Ray V., Popkov D., Lascombes P., Barbier D., Journeau P. Simultaneous multisegmental and multifocal corrections of complex lower limb deformities with a hexapod external fixator. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2023;109(3):103042. doi: 10.1016/j.otsr.2021.103042.
38. Chaudhary M.M., Lakhani P.H. Double-level fixator-assisted nailing (DL-FAN). *Bone Joint J*. 2019;101(2):178-188. doi: 10.1302/0301-620x.101b2.bjj-2018-0622.r1.
39. Artem'ev A.A., Shipulin A.A., Abrosimov M.N. Corrective osteotomy at the level of the femur and lower leg in the treatment and prevention of gonarthrosis in varus and valgus deformity. In: *II International Congress of the Association of Rheumo-Orthopedists*. 2018. p. 7-8. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36811524_56467721.pdf. (In Russian).
40. Manner H.M., Huebl M., Radler C., Ganger R., Petje G., Grill F. Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator. *J Child Orthop*. 2007;1(1):55-61. doi: 10.1007/s11832-006-0005-1.
41. Donnan L.T., Saleh M., Rigby A.S. Acute correction of lower limb deformity and simultaneous lengthening with a monolateral fixator. *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85(2):254-260. doi: 10.1302/0301-620x.85b2.12645.
42. Aranovich A.M., Stogov M.V., Gasanova A.G., Korkin A.Ya. Mineral metabolism condition in children with phosphate diabetes for correction of lower limb deformities by the Ilizarov method. *Genij Ortopedii*. 2011(1):71-74. (In Russian).
43. Mayer S.W., Hubbard E.W., Sun D., Lark R.K., Fitch R.D. Gradual Deformity Correction in Blount Disease. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(5):257-262. doi: 10.1097/BPO.0000000000000920.
44. Lu Y., Li J., Qiao F., Xu Z., Zhang B., Jia B. et al. Correction of severe lower extremity deformity with digital hexapod external fixator based on CT data. *Eur J Med Res*. 2022;27(1):252. doi: 10.1186/s40001-022-00887-6.

45. Dammerer D., Kirschbichler K., Donnan L., Kaufmann G., Krismer M., Biedermann R. Clinical value of the Taylor Spatial Frame: a comparison with the Ilizarov and Orthofix fixators. *J Child Orthop.* 2011;5(5):343-349. doi: 10.1007/s11832-011-0361-3.
46. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J Child Orthop.* 2012;6(2):89-104. doi: 10.1007/s11832-012-0391-5.
47. Keshet D., Eidelman M. Clinical utility of the Taylor spatial frame for limb deformities. *Orthop Res Rev.* 2017;9:51-61. doi: 10.2147/ORR.S113420.

Authors' information

✉ Evgeniy S. Golovenkin

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

e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7064-5689>

Leonid N. Solomin — Dr. Sci. (Med.), Professor

e-mail: solomin.leonid@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>



Значение инфрапателлярной жировой ткани в патогенезе остеоартрита коленного сустава: обзор зарубежной литературы

Ю.С. Корнева^{1,2}, М.Б. Борисенко¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Смоленск, Россия

Реферат

Остеоартрит (ОА) является одним из самых распространенных заболеваний суставов среди взрослого населения. В настоящее время доказана роль вялотекущего воспаления и преобладания катаболических цитокинов над анаболическими при ОА. Доказано влияние ожирения на развитие ОА посредством выделения жировой тканью воспалительных медиаторов. Потенциальным донатором провоспалительных цитокинов, и в том числе специфических провоспалительных цитокинов жировой ткани — адипокинов, является инфрапателлярная жировая ткань (жировое тело Гоффа). У здорового человека инфрапателлярная жировая ткань участвует в распределении механической нагрузки на сустав и метаболизме синовиальной жидкости. Инфильтрация инфрапателлярной жировой ткани макрофагами и лимфоцитами способствует не только выработке провоспалительных цитокинов, обладающих хондролитическими свойствами, но и поддержанию хронического воспаления в синовиальной оболочке, суставном хряще и субхондральной кости. Морфологические изменения в жировом теле Гоффа могут являться как индикатором воспалительного процесса в суставной полости, так и предиктором патологических изменений в суставе. Среди гистологических изменений для течения ОА важными являются инфильтрация макрофагами и лимфоцитами, фиброз, утолщение междольковых перегородок, уменьшение размеров жировых долек и адипоцитов и усиление васкуляризации. Морфологические изменения можно оценивать при помощи неинвазивного метода визуализации — магнитно-резонансной томографии, благодаря которой можно оценить наличие и выраженность синовита, утолщение синовиальной оболочки, отек, утолщение междольковых перегородок, уменьшение объема жирового тела Гоффа. Гистологические и томографические признаки потенциально могут быть использованы для оценки степени тяжести ОА и составления прогностических шкал. Инфрапателлярная жировая ткань также является источником мезенхимальных стволовых клеток, фенотипически сходных с хондроцитами, которые могут быть использованы для регенерации хрящевой ткани сустава при минимально инвазивном вмешательстве для их получения.

Ключевые слова: инфрапателлярная жировая ткань, жировое тело Гоффа, остеоартрит коленного сустава, адипокины, коленный сустав, синовиальная оболочка, магнитно-резонансная томография.

Для цитирования: Корнева Ю.С., Борисенко М.Б. Значение инфрапателлярной жировой ткани в патогенезе остеоартрита коленного сустава: обзор зарубежной литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):147-155. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15999>.

Корнева Юлия Сергеевна; e-mail: ksu1546@yandex.ru

Рукопись получена: 25.09.2023. Рукопись одобрена: 23.11.2023. Статья опубликована онлайн: 01.12.2023.

© Корнева Ю.С., Борисенко М.Б., 2023



Role of Infrapatellar Fat Tissue in the Pathogenesis of Knee Osteoarthritis: A Review

Yulia S. Korneva^{1,2}, Marina B. Borisenko¹

¹ North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

² Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

Abstract

Osteoarthritis (OA) is one of the most common joint diseases in the adult population. The role of indolent inflammation and predominance of catabolic cytokines over anabolic ones in OA has now been proven. The influence of obesity on the development of OA by releasing inflammatory mediators by fat tissue has been confirmed. Infrapatellar fat tissue (Hoffa's fat pad) is a potential donor of proinflammatory cytokines, including specific fat tissue proinflammatory cytokines - adipokines. In a healthy person, infrapatellar fat tissue contributes to the distribution of mechanical load on the joint and metabolism of the synovial fluid. Infiltration of infrapatellar fat tissue by macrophages and lymphocytes leads not only to the production of proinflammatory cytokines with chondrolytic properties, but also to the maintenance of chronic inflammation in the synovial membrane, articular cartilage, and subchondral bone. Morphologic changes in Hoffa's fat pad can be both an indicator of the inflammatory process in the joint cavity and a predictor of pathologic changes of the joint. Among histological changes, infiltration with macrophages and lymphocytes, fibrosis, thickening of the interlobular septa, reduction in the size of fat lobules and adipocytes, and increased vascularization are important for the course of OA. Morphologic changes can be assessed using a non-invasive method - magnetic resonance imaging, which makes it possible to evaluate the presence and severity of synovitis, thickening of the synovial membrane, edema, thickening of the interlobular septa, and a decrease in the volume of Hoffa's fat pad. Histologic and tomographic signs can potentially be used to assess the severity of OA and develop prognostic scales. Infrapatellar fat tissue is also a source of mesenchymal stem cells phenotypically similar to chondrocytes, which can be used for regeneration of joint cartilage tissue with minimally invasive intervention to harvest them.

Key words: infrapatellar fat tissue, Hoffa's fat pad, knee osteoarthritis, adipokines, knee joint, synovial membrane, magnetic resonance imaging.

Cite as: Korneva Yu.S., Borisenko M.B. Role of Infrapatellar Fat Tissue in the Pathogenesis of Knee Osteoarthritis: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):147-155. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15999>.

✉ Yulia S. Korneva; e-mail: ksu1546@yandex.ru

Submitted: 25.09.2023. Accepted: 23.11.2023. Published Online: 01.12.2023.

© Korneva Yu.S., Borisenko M.B., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит (ОА) является самым распространенным заболеванием суставов среди взрослого населения, а также частой причиной инвалидизации [1]: 8,9% населения имеют клинически значимые проявления этого заболевания [2], при этом наиболее часто поражается коленный сустав — у 6% [2]. Парадигма патогенеза ОА поменялась от представления о банальной деструкции суставного хряща вследствие травмы или привычного изнашивания с возрастом в сторону восприятия ОА как заболевания всего сустава, характеризующегося частичной утратой хряща, утолщением синовиальной оболочки, склерозом субхондральной кости и образованием остеофитов, а также изменениями в структуре суставов, связок и окружающих мышцах [3]. Отсутствие эффективных методов лечения и профилактики при возрастающей частоте встречаемости диктует необходимость поиска новых факторов, участвующих в становлении и прогрессировании ОА. В настоящее время существует несколько вариантов обоснования его патогенеза, однако общепризнанно, что главную роль в развитии данного заболевания играют вялотекущее воспаление и дисбаланс катаболических и анаболических цитокинов [4]. Ожирение вместе с метаболическим синдромом связаны с развитием провоспалительного состояния в организме за счет высвобождения цитокинов, которые запускают изменения в метаболизме хрящевой ткани [5, 6 7]. Известно, что жировая ткань продуцирует большое количество катаболических цитокинов (адипокинов), таких как адипонектин, лептин, резистин, хемерин, IL-6 и TNF- α [8]. Однако, помимо метаболической активности висцеральной жировой ткани, нельзя исключать влияние инфрапателлярной жировой ткани (жирового тела Гоффа) на развитие ОА коленного сустава [9], изучение которого является целью данного обзора.

Структурно-функциональная характеристика инфрапателлярной жировой ткани

Жировое тело Гоффа представляет собой скопление жировой ткани, расположенное под капсулой коленного сустава в непосредственной близости от синовиальной оболочки, то есть является внутрисуставным и внесиновиальным включением, покрытым синовиальной оболочкой [10]. Спереди оно ограничено нижней поверхностью надколенника и его связкой, сзади к ней прилегает синовиальная оболочка коленного сустава, передние рога менисков, мышечки и межмышечковая вырезка бедренной кости [11, 12]. В норме инфрапателлярная жировая ткань — это белая жировая ткань, клетки которой содержат одну большую каплю жира, окруженную ободком цитоплазмы с отнесенным на периферию ядром, что является ее осо-

бенностью. Жировое тело Гоффа сформировано в виде крупных долек, которые разделены тонкими соединительнотканными перегородками из коллагена I и III типов [13], который встроен в аморфное основное вещество, содержащее гликозаминогликаны. При этом процентное соотношение соединительной ткани здесь выше по сравнению с висцеральной жировой тканью, что связано с механической нагрузкой, которой подвержено жировое тело Гоффа [14, 15]. Его можно разделить на две части — наружную и внутреннюю [10]. Внутренняя часть — это сердцевина прокладки с твердой, похожей на подушку, жировой тканью, обладающая амортизирующими свойствами, в то время как внешняя представляет собой мягкую жировую ткань, окружающую внутреннюю часть. Периферия жирового тела Гоффа хорошо васкуляризирована, центр васкуляризован слабо; кровоснабжение осуществляется посредством артериальной сети, сформированной верхней и нижней коленными артериями, соединенными тремя горизонтальными анастомозами [15]. Инфрапателлярная жировая ткань имеет лимфатические сосуды, а также богато иннервирована и содержит значительное количество субстанции P, которая высвобождается из первичных афферентных нервных окончаний и играет важную роль при хроническом воспалении, что во многом определяет развитие болевого синдрома при ОА [16]. Переднемедиальная ее часть иннервируется ветвями подкожного, большеберцового и запирательного нервов и нервом широкой медиальной мышцы, в то время как переднебоковая часть снабжается ветвями от нерва широкой латеральной мышцы, а также большеберцовым, возвратным малоберцовым и общим малоберцовым нервами [10].

Считается, что основной функцией жирового тела Гоффа является распределение механической нагрузки на сустав [14]. Помимо этого оно может участвовать в секреции и распределении синовиальной жидкости и стабилизации надколенника [14, 15, 17]. Тесная анатомическая связь инфрапателлярной жировой ткани и синовиальной оболочки позволяет выделить эти два образования в структурно-функциональную единицу коленного сустава [18].

Роль инфрапателлярной жировой ткани в патогенезе остеоартрита коленного сустава

Инфильтрация жировой ткани любой локализации макрофагами 1 и 2 типов [3] и лимфоцитами [19] запускает выделение многочисленных провоспалительных медиаторов, которые активируют деструктивные процессы в суставном хряще [17, 20, 21], что является одним из ключевых звеньев патогенеза ОА и сопровождается в дальнейшем

воспалением в синовиальной оболочке, суставном хряще и субхондральной кости. Это дополнительно стимулирует хондролитический эффект за счет ингибирования синтеза протеогликанов в хондроцитах человека и активации выработки катаболических молекул и провоспалительных цитокинов уже непосредственно хондроцитами [22]. Инфрапателлярная жировая ткань, способная выделять такие адипокины, как адипонектин, адипсин, лептин, резистин и висфатин, является паракринным источником факторов роста и цитокинов для синовиальной оболочки коленного сустава [5]. При этом количество провоспалительных цитокинов, секретируемых инфрапателлярной жировой тканью, коррелирует с системным воспалением в подкожно-жировой клетчатке при метаболическом синдроме [23]. Однако их локальная секреция в суставе значительно превышает таковую в подкожно-жировой клетчатке [13].

Лептин способствует пролиферации остеобластов и гипертрофии хондроцитов, выработке остеокальцина, который стимулирует эндохондральное окостенение и образование остеофитов, характерных для ОА [24]. Также лептин стимулирует продукцию хондроцитами матриксных металлопротеиназ 1-го и 3-го типов, простагландина E, NO, IL-6 и IL-8, что приводит к разрушению хряща [25]. Кроме того, IL-6 подавляет синтез коллагена II типа, усиливает опосредованную IL-1 β дегенерацию протеогликанов и индуцирует выделение различных металлопротеиназ, включая ADAMTS (A-дезинтегрин и металлопротеиназы, содержащие мотив тромбоспондина), которые вносят дополнительный вклад в дегенерацию хряща [13, 26]. Механизм действия резистина при ОА окончательно не установлен, считается, что он способен усиливать выработку хондроцитами таких провоспалительных цитокинов, как IL-1 α , IL-1 β , IL-6, IL-8, CCL2, CCL3, CCL4 и TNF- α [27]. Адипонектин является противовоспалительным цитокином, который стимулирует выработку макрофагами 2-го типа другого противовоспалительного цитокина IL-10 [25].

Воспалительная инфильтрация инфрапателлярной жировой ткани способствует возникновению болевого синдрома за счет выделения нервными окончаниями вещества P и пептида, связанного с геном кальцитонина (CGRP), которые участвуют в образовании болевых импульсов в периферической нервной системе и дополнительно могут стимулировать продукцию провоспалительных цитокинов IL-1 β , IL-6 и IL-8 различными типами клеток [13].

Механическая нестабильность при ОА вызывает клеточную и молекулярную реакцию в субхондральном слое кости, активирующую неоваскуляризацию и воспаление. Впоследствии на

поздних стадиях ОА развиваются кисты субхондральной кости, а также остеофиты и склероз. Поврежденные остеобласты экспрессируют высокие уровни провоспалительных цитокинов и факторов роста, которые вовлекают иммунные клетки и клетки-предшественники, запуская склероз и ремоделирование кости. Склероз может усиливаться под воздействием активированных макрофагов, которые в большом количестве содержатся в жировом теле Гоффа [24].

Роль инфрапателлярной жировой ткани в патогенезе ОА коленного сустава подтверждена в эксперименте с его удалением у морских свинок, что приводило к формированию в суставе соединительной ткани, уменьшению содержания провоспалительных медиаторов, адипокинов, снижению частоты формирования остеофитов и дегенеративных изменений хряща по данным микро-КТ, гистологического, иммуногистохимического и биомеханического исследований [23]. Предполагается, что инъекции глюкокортикостероидов в жировое тело Гоффа (вне полости сустава) могут уменьшать воспаление и облегчать клиническое течение ОА, оказывая противовоспалительный эффект, учитывая паракринное влияние инфрапателлярной жировой ткани на синовиальную оболочку, предупреждая неблагоприятное влияние глюкокортикостероидов на сам хрящ и субхондральную кость [28].

Морфологические изменения инфрапателлярной жировой ткани и их прогностическое значение для течения остеоартрита коленного сустава

Характерными морфологическими изменениями инфрапателлярной жировой ткани у пациентов с ОА коленного сустава являются ее инфильтрация лимфоцитами, макрофагами и тучными клетками [20], развитие фиброза с утолщением междольковых перегородок, уменьшение размеров жировых долек и размеров адипоцитов, а также усиление васкуляризации [12, 29].

Макрофаги M1 инфрапателлярной ткани, T- и B-лимфоциты выделяют провоспалительные цитокины и стимулируют пролиферацию и дифференцировку фибробластов, синтез коллагена, вызывая фиброзирование синовиальной оболочки и связок коленного сустава, что делает их более плотными и ригидными [24]. Предполагают, что макрофаги жирового тела Гоффа также участвуют в формировании субхондрального склероза: они продуцируют большое количество провоспалительных медиаторов, включая TGF- β , который способствует образованию остеофитов и склерозу субхондральной кости по мере прогрессирования ОА [24]. Фиброз инфрапателлярной жировой ткани запускается за счет повышения количества цито-

кинов, способствующих пролиферации и созреванию фибробластов в зоне воспаления, таких как IL-6, IL-8, простагландина F2a и фактора некроза опухоли- α (TNF- α), фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), фактора роста фибробластов- β (FGF- β). При увеличении объема интрапателлярной жировой ткани у пациентов с ожирением возникает ее гипоксия, которая также индуцирует развитие фиброза под влиянием фактора, индуцируемого гипоксией-1 α (HIF-1 α), активирующего пролиферацию фибробластов [30]. Появление фиброза сопровождается усилением секреции таких молекул, как фактор роста эндотелия сосудов (VEGF) и фактор роста соединительной ткани (CTGF), фибробластами [12, 31] и снижением эффективности механической защиты сустава за счет повышения жесткости жировой подушки [12, 13, 32]. При моделировании химически индуцированного фиброза интрапателлярной жировой ткани его выраженность коррелировала с выраженностью дегенерации хряща и болевого синдрома [22].

Инфильтрация жировой ткани макрофагами 1-го и 2-го типов, лимфоцитами и тучными клетками с последующей секрецией провоспалительных цитокинов вызывает отек и нарушает способность интрапателлярной жировой ткани ослаблять механическое воздействие и гравитационную нагрузку на сустав во время движения, что усиливает его механическое повреждение [13]. Клетки воспалительного инфильтрата также взаимодействуют с резидентными макрофагами и адипоцитами [22]. Известно, что адипоциты, полученные из интрапателлярной жировой ткани, могут регулировать проникновение макрофагов и CD4+ T-клеток в синовиальную оболочку за счет выделения липидов [5, 11, 13]. Свободные жирные кислоты, обнаруженные в кондиционированной среде, полученной из адипоцитов жирового тела Гоффа, усиливают пролиферацию CD4+ T-клеток и их способность продуцировать интерферон- γ , а также могут снижать секрецию цитокина IL-12p40 макрофагами [5]. Наличие провоспалительных макрофагов типа M1 в жировом теле Гоффа способствует появлению в синовиальной оболочке сустава субпопуляции Th1 T-лимфоцитов, макрофагов, B-лимфоцитов и тучных клеток, продукции матриксных металлопротеиназ и дегенерации хрящевой ткани. Смена фенотипа макрофагов на противовоспалительный M2 подавляет секрецию провоспалительных цитокинов [13, 25], сменяя их на противовоспалительные медиаторы (аргиназу 1, антагонист рецептора IL-1, IL-10) и направляет дифференцировку лимфоцитов в сторону Th2 — все это запускает репаративные процессы [13].

Повышение уровня VEGF в ткани жирового тела Гоффа также наблюдается при ОА, что положительно коррелирует с васкуляризацией синовиаль-

ной оболочки, обеспечивая поступление клеток, формирующих воспалительный инфильтрат, и прогрессирование воспалительного процесса [13]. Наличие лимфоцитарной инфильтрации и усиление васкуляризации наблюдаются одновременно и в синовиальной оболочке, и в интрапателлярной жировой ткани, что может свидетельствовать о формировании порочного круга, поддерживающего персистирующее воспаление [24].

Также для ОА характерно увеличение количества тучных клеток в интрапателлярной жировой ткани. Тучные клетки продуцируют фермент триптазу, активируя матриксные металлопротеиназы типов 3 и 13, эффекты которых были упомянуты выше [13, 32].

Таким образом, гистологическое исследование интрапателлярной жировой ткани с оценкой совокупности морфометрических показателей может со временем стать основой для оценки степени тяжести ОА либо создания прогностических шкал.

Выявление изменений интрапателлярной жировой ткани с помощью методов визуализации и их прогностическое значение

Морфологические изменения интрапателлярной жировой ткани могут быть зафиксированы на МРТ и стать прогностическими факторами для оценки риска развития ОА и его прогрессирования [33, 34].

Синовит и утолщение синовиальной оболочки относятся к наиболее типичным для ОА МРТ-признакам [28], которые сочетаются с воспалительными изменениями в интрапателлярной жировой ткани в виде отека и утолщения междольковых перегородок [35]. Жировое тело Гоффа также претерпевает изменения: на поздних стадиях ОА наблюдается уменьшение его объема, площади поверхности, усиление гипоинтенсивного сигнала МРТ, что свидетельствует о фиброзировании [14]. Изменения, определяемые при МРТ-исследовании интрапателлярной жировой ткани, могут быть использованы для формирования клинической системы оценки риска развития и прогрессирования ОА на основе обработки 3D-изображений МРТ в совокупности с анализом клинических данных: пола, возраста, индекса массы тела, травм и хирургических вмешательств в анамнезе [34, 35]. На данный момент существует полуколичественная система оценки изменения интенсивности МР-сигнала интрапателлярной жировой ткани с помощью шкалы MR Imaging Osteoarthritis Knee Score (MOAKS) с оценкой такого параметра, как синовит Гоффа, который характеризует интенсивность сигнала и может принимать значения от 0 до 3 [36]. В исследовании K. Yu с соавторами показана прогностическая ценность исследования изменений интрапателлярной жировой ткани, ко-

торые могут предсказать наличие ОА еще до клинической постановки диагноза [34]. Результаты исследования Н. Тап с соавторами демонстрируют связь между появлением гиперинтенсивных областей в инфрапателлярной жировой ткани, визуализируемых при помощи системы изображений с протонной взвешенной плотностью (PdWI), с выраженностью болевых ощущений у пациентов с ОА [37].

Сравнение результатов исследований для однозначного суждения о возможности использования структурных изменений в инфрапателлярной жировой ткани в качестве предиктора развития ОА затруднительно, поскольку применяются различные методы визуализации, а также разные методологические подходы, используемые для измерения на МРТ-снимках площади, объема и интенсивности сигнала [33].

Возможность использования инфрапателлярной жировой ткани в тканевой инженерии

Было установлено, что человеческие мезенхимальные стволовые клетки (МСК) являются мультипотентными и могут быть выделены из различных тканей взрослого человека, таких как костный мозг, жировая ткань и пуповинная кровь. Доказано, что МСК из инфрапателлярной жировой ткани обладают значительным хондрогенным потенциалом и могут стать клинически приемлемым источником хондрогенитических клеток [38]. Установлено, что их внутрисуставное введение улучшает клиническое течение ОА коленного сустава [39], тем более, что процедура получения МСК из жировой ткани менее инвазивна по сравнению с их получением из костного мозга, а МСК, полученные из внутрисуставных тканей сустава, более фенотипически сходны с хондроцитами [40]. Кроме того, L. Luo с соавторами продемонстрировали, что стволовые клетки, полученные из инфрапателлярной жировой ткани, могут формировать пространственный состав, имитирующий структуру нативного суставного хряща [41]. Культивирование МСК из инфрапателлярной жировой ткани на механически стабильной биоразлагаемой полимерной пленке в течение 28 дней приводило к образованию ткани, богатой сульфатированным гликозаминогликаном и коллагеном, которая потенциально может быть имплантирована в места

дефектов в качестве потенциального средства для регенерации дефектов хряща [42]. Основным ограничением хрящевых конструкций на основе МСК является индукция гипертрофического фенотипа во время дифференцировки *in vivo*, что приводит к эндохондральному окостенению. Однако через 8 нед. после внедрения гибридных структур, в которых МСК из инфрапателлярной жировой ткани и суставные хондроциты культивировались совместно, минерализация хряща была снижена, и фенотип был стабильным [43]. МСК инфрапателлярной жировой ткани могут накапливать большое количество гликозаминогликанов на агарозных гелях суставного хряща, тем самым улучшая механические свойства тканеинженерных конструкций суставных поверхностей [44]. Введение экзосом, полученных из МСК инфрапателлярной жировой ткани, уменьшает тяжесть течения ОА *in vivo* и ингибирует апоптоз хондроцитов, усиливает синтез матрикса и снижает экспрессию катаболических факторов *in vitro*. Механизм может быть связан с MiR100-5p-регулируемым ингибированием mTOR-пути аутофагии, что делает применение экзосом перспективным вариантом лечения ОА в будущем [45].

Таким образом, благодаря своему расположению, минимальной инвазивности получения и хондрогенному потенциалу МСК из инфрапателлярной жировой ткани могут быть использованы для лечения ОА для восстановления поврежденно-го хряща.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время инфрапателлярная жировая ткань привлекает к себе все больше внимания исследователей, занимающихся проблемой остеоартрита коленного сустава, ввиду ее разнонаправленного участия в становлении и прогрессировании данного заболевания. По данным литературы, существует теоретическая возможность использования морфологических и радиологических изменений ее структуры в качестве предиктора развития остеоартрита, что позволит обеспечить своевременную профилактику, а также стадировать процесс. Мезенхимальные стволовые клетки инфрапателлярной жировой ткани и продукты их метаболизма (экзосомы) являются перспективными в отношении замедления прогрессирования остеоартрита коленного сустава.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**Заявленный вклад авторов**

Корнева Ю.С. — концепция обзора, редактирование текста статьи.

Борисенко М.Б. — поиск и анализ источников литературы, написание текста статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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**Author contribution**

Korneva Yu.S. — concept formulation of review, drafting the article.

Borisenko M.B. — literature search and analysis, writing the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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]

- Cross M., Smith E., Hoy D., Nolte S., Ackerman I., Fransen M. et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* 2014;73(7):1323-1330. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204763.
- Michael J.W., Schlüter-Brust K.U., Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Dtsch Arztebl Int.* 2010;107(9):152-162. doi: 10.3238/arztebl.2010.0152.
- Li Z., Huang Z., Bai L. Cell Interplay in Osteoarthritis. *Front Cell Dev Biol.* 2021;9:720477. doi: 10.3389/fcell.2021.720477.
- Molnar V., Matišić V., Kodvanj I., Bjelica R., Jeleč Ž., Hudetz D. et al. Cytokines and Chemokines Involved in Osteoarthritis Pathogenesis. *Int J Mol Sci.* 2021;22(17):9208. doi: 10.3390/ijms22179208.
- Klein-Wieringa I.R., Kloppenburg M., Bastiaansen-Jenniskens Y.M., Yusuf E., Kwekkeboom J.C., El-Bannoudi H. et al. The infrapatellar fat pad of patients with osteoarthritis has an inflammatory phenotype. *Ann Rheum Dis.* 2011;70(5):851-857. doi: 10.1136/ard.2010.140046.
- Nedunchezhiyan U., Varughese I., Sun A.R., Wu X., Crawford R., Prasadam I. Obesity, Inflammation, and Immune System in Osteoarthritis. *Front Immunol.* 2022;13:907750. doi: 10.3389/fimmu.2022.907750.
- Cajas Santana L.J., Rondón Herrera F., Rojas A.P., Martínez Lozano D.J., Prieto N., Bohorquez Castañeda M. Serum chemerin in a cohort of Colombian patients with primary osteoarthritis. *Reumatol Clin (Engl Ed).* 2021;17(9):530-535. doi: 10.1016/j.reuma.2020.05.003.
- Xie C., Chen Q. Adipokines: New Therapeutic Target for Osteoarthritis? *Curr Rheumatol Rep.* 2019;21(12):71. doi: 10.1007/s11926-019-0868-z.
- Zapata-Linares N., Eymard F., Berenbaum F., Houard X. Role of adipose tissues in osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol.* 2021;33(1):84-93. doi: 10.1097/BOR.0000000000000763.
- Jiang L.F., Fang J.H., Wu L.D. Role of infrapatellar fat pad in pathological process of knee osteoarthritis: Future applications in treatment. *World J Clin Cases.* 2019;7(16):2134-2142. doi: 10.12998/wjcc.v7.i16.2134.
- Ioan-Facsinay A., Kloppenburg M. An emerging player in knee osteoarthritis: the infrapatellar fat pad. *Arthritis Res Ther.* 2013;15(6):225. doi: 10.1186/ar4422.
- Zeng N., Yan Z.P., Chen X.Y., Ni G.X. Infrapatellar Fat Pad and Knee Osteoarthritis. *Aging Dis.* 2020;11(5):1317-1328. doi: 10.14336/AD.2019.1116.
- Braun S., Zaucke F., Brenneis M., Rapp A.E., Pollinger P., Sohn R. et al. The Corpus Adiposum Infrapatellare (Hoffa's Fat Pad)-The Role of the Infrapatellar Fat Pad in Osteoarthritis Pathogenesis. *Biomedicines.* 2022;10(5):1071. doi: 10.3390/biomedicines10051071.
- Fontanella C.G., Belluzzi E., Pozzuoli A., Favero M., Ruggieri P., Macchi V. et al. Mechanical behavior of infrapatellar fat pad of patients affected by osteoarthritis. *J Biomech.* 2022;131:110931. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110931.
- Macchi V., Stocco E., Stecco C., Belluzzi E., Favero M., Porzionato A. et al. The infrapatellar fat pad and the synovial membrane: an anatomo-functional unit. *J Anat.* 2018;233(2):146-154. doi: 10.1111/joa.12820.
- Bohnsack M., Meier F., Walter G.F., Hurschler C., Schmolke S., Wirth C.J. et al. Distribution of substance-P nerves inside the infrapatellar fat pad and the adjacent synovial tissue: a neurohistological approach to anterior knee pain syndrome. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125(9):592-597. doi: 10.1007/s00402-005-0796-4.
- He J., Ba H., Feng J., Peng C., Liao Y., Li L. et al. Increased signal intensity, not volume variation of infrapatellar fat pad in knee osteoarthritis: A cross-sectional study based on high-resolution magnetic resonance imaging. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2022;30(1): 10225536221092215. doi: 10.1177/10225536221092215.

18. Emmi A., Stocco E., Boscolo-Berto R., Contran M., Belluzzi E., Favero M. et al. Infrapatellar Fat Pad-Synovial Membrane Anatomofunctional Unit: Microscopic Basis for Piezo1/2 Mechanosensors Involvement in Osteoarthritis Pain. *Front Cell Dev Biol.* 2022;10:886604. doi: 10.3389/fcell.2022.886604.
19. Belluzzi E., Macchi V., Fontanella C.G., Carniel E.L., Olivotto E., Filardo G. et al. Infrapatellar Fat Pad Gene Expression and Protein Production in Patients with and without Osteoarthritis. *Int J Mol Sci.* 2020;21(17):6016. doi: 10.3390/ijms21176016.
20. Eymard F., Chevalier X. Inflammation of the infrapatellar fat pad. *Joint Bone Spine.* 2016;83(4):389-393. doi: 10.1016/j.jbspin.2016.02.016.
21. Christoforakis Z., Dermizaki E., Paflioti E., Katrinaki M., Deiktakis M., Tosounidis T.H. et al. Correlation of systemic metabolic inflammation with knee osteoarthritis. *Hormones (Athens).* 2022;21(3):457-466. doi: 10.1007/s42000-022-00381-y.
22. An J.S., Tsuji K., Onuma H., Araya N., Isono M., Hoshino T. et al. Inhibition of fibrotic changes in infrapatellar fat pad alleviates persistent pain and articular cartilage degeneration in monoiodoacetic acid-induced rat arthritis model. *Osteoarthritis Cartilage.* 2021;29(3):380-388. doi: 10.1016/j.joca.2020.12.014.
23. Afzali M.F., Radakovich L.B., Sykes M.M., Campbell M.A., Patton K.M., Sanford J.L. et al. Early removal of the infrapatellar fat pad/synovium complex beneficially alters the pathogenesis of moderate stage idiopathic knee osteoarthritis in male Dunkin Hartley guinea pigs. *Arthritis Res Ther.* 2022;24(1):282. doi: 10.1186/s13075-022-02971-y.
24. Zhou S., Maleitzke T., Geissler S., Hildebrandt A., Fleckenstein F.N., Niemann M. et al. Source and hub of inflammation: The infrapatellar fat pad and its interactions with articular tissues during knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2022;40(7):1492-1504. doi: 10.1002/jor.25347.
25. Greif D.N., Kouroupis D., Murdock C.J., Griswold A.J., Kaplan L.D., Best T.M. et al. Infrapatellar Fat Pad/Synovium Complex in Early-Stage Knee Osteoarthritis: Potential New Target and Source of Therapeutic Mesenchymal Stem/Stromal Cells. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:860. doi: 10.3389/fbioe.2020.00860.
26. Wiegertjes R., van de Loo F.A.J., Blaney Davidson E.N. A roadmap to target interleukin-6 in osteoarthritis. *Rheumatology (Oxford).* 2020;59(10):2681-2694. doi: 10.1093/rheumatology/keaa248.
27. Zhang Z., Xing X., Hensley G., Chang L.W., Liao W., Abu-Amer Y. et al. Resistin induces expression of proinflammatory cytokines and chemokines in human articular chondrocytes via transcription and messenger RNA stabilization. *Arthritis Rheum.* 2010;62(7):1993-2003. doi: 10.1002/art.27473.
28. Zhang Y., Ruan G., Zheng P., Huang S., Zhou X., Liu X. et al. Efficacy and safety of Glucocorticoid injections into Infrapatellar fat pad in patients with knee osteoarthritis: protocol for the GLITTERS randomized controlled trial. *Trials.* 2023;24(1):6. doi: 10.1186/s13063-022-06993-4.
29. Fontanella C.G., Belluzzi E., Pozzuoli A., Scioni M., Olivotto E., Reale D. et al. Exploring Anatomofunctional Characteristics of Infrapatellar, Suprapatellar Fat Pad, and Knee Ligaments in Osteoarthritis Compared to Post-Traumatic Lesions. *Biomedicines.* 2022;10(6):1369. doi: 10.3390/biomedicines10061369.
30. Kitagawa T., Kawahata H., Aoki M., Kudo S. Inhibitory effect of low intensity pulsed ultrasound on the fibrosis of the infrapatellar fat pad through the regulation of HIF 1 α in a carrageenan induced knee osteoarthritis rat model. *Biomed Rep.* 2022;17(4):79. doi: 10.3892/br.2022.1562.
31. Favero M., El-Hadi H., Belluzzi E., Granzotto M., Porzionato A., Sarasin G. et al. Infrapatellar fat pad features in osteoarthritis: a histopathological and molecular study. *Rheumatology (Oxford).* 2017;56(10):1784-1793. doi: 10.1093/rheumatology/kex287.
32. Magarinos N.J., Bryant K.J., Fosang A.J., Adachi R., Stevens R.L., McNeil H.P. Mast cell-restricted, tetramer-forming tryptases induce aggrecanolytic activity in articular cartilage by activating matrix metalloproteinase-3 and -13 zymogens. *J Immunol.* 2013;191(3):1404-1412. doi: 10.4049/jimmunol.1300856.
33. Martel-Pelletier J., Tardif G., Pelletier J.P. An Open Debate on the Morphological Measurement Methodologies of the Infrapatellar Fat Pad to Determine Its Association with the Osteoarthritis Process. *Curr Rheumatol Rep.* 2022;24(3):76-80. doi: 10.1007/s11926-022-01057-7.
34. Yu K., Ying J., Zhao T., Lei L., Zhong L., Hu J. et al. Prediction model for knee osteoarthritis using magnetic resonance-based radiomic features from the infrapatellar fat pad: data from the osteoarthritis initiative. *Quant Imaging Med Surg.* 2023;13(1):352-369. doi: 10.21037/qims-22-368.
35. Fischer M.A. From Morphology to Biomarker: Quantitative Texture Analysis of the Infrapatellar Fat Pad Reliably Predicts Knee Osteoarthritis. *Radiology.* 2022;304(3):622-623. doi: 10.1148/radiol.221094.
36. Hunter D.J., Guermazi A., Lo G.H., Grainger A.J., Conaghan P.G., Boudreau R.M. et al. Evolution of semi-quantitative whole joint assessment of knee OA: MOAKS (MRI Osteoarthritis Knee Score). *Osteoarthritis Cartilage.* 2011;19:990-1002. doi: 10.1016/j.joca.2011.05.004.
37. Tan H., Kang W., Fan Q., Wang B., Yu Y., Yu N. et al. Intravoxel Incoherent Motion Diffusion-Weighted MR Imaging Findings of Infrapatellar Fat Pad Signal Abnormalities: Comparison Between Symptomatic and Asymptomatic Knee Osteoarthritis. *Acad Radiol.* 2023;30(7):1374-1383. doi: 10.1016/j.acra.2022.11.010.
38. Buckley C.T., Vinardell T., Kelly D.J. Oxygen tension differentially regulates the functional properties of cartilaginous tissues engineered from infrapatellar fat pad derived MSCs and articular chondrocytes. *Osteoarthritis Cartilage.* 2010;18(10):1345-1354. doi: 10.1016/j.joca.2010.07.004.
39. Koh Y.G., Jo S.B., Kwon O.R., Suh D.S., Lee S.W., Park S.H. et al. Mesenchymal stem cell injections improve symptoms of knee osteoarthritis. *Arthroscopy.* 2013;29(4):748-755. doi: 10.1016/j.arthro.2012.11.017.
40. Segawa Y., Muneta T., Makino H., Nimura A., Mochizuki T., Ju Y.J. et al. Mesenchymal stem cells derived from synovium, meniscus, anterior cruciate ligament, and articular chondrocytes share similar gene expression profiles. *J Orthop Res.* 2009;27(4):435-441. doi: 10.1002/jor.20786.
41. Luo L., O'Reilly A.R., Thorpe S.D., Buckley C.T., Kelly D.J. Engineering zonal cartilaginous tissue by modulating oxygen levels and mechanical cues through the depth of infrapatellar fat pad stem cell laden hydrogels. *J Tissue Eng Regen Med.* 2017;11(9):2613-2628. doi: 10.1002/term.2162.

42. Prabhakar A., Lynch A.P., Ahearne M. Self-Assembled Infrapatellar Fat-Pad Progenitor Cells on a Poly-ε-Caprolactone Film For Cartilage Regeneration. *Artif Organs*. 2016;40(4):376-384. doi: 10.1111/aor.12565.
43. Mesallati T., Sheehy E.J., Vinardell T., Buckley C.T., Kelly D.J. Tissue engineering scaled-up, anatomically shaped osteochondral constructs for joint resurfacing. *Eur Cell Mater*. 2015;30:163-185; discussion 185-186. doi: 10.22203/ecm.v030a12.
44. Mesallati T., Buckley C.T., Kelly D.J. Engineering cartilaginous grafts using chondrocyte-laden hydrogels supported by a superficial layer of stem cells. *J Tissue Eng Regen Med*. 2017;11(5):1343-1353. doi: 10.1002/term.2033.
45. Wu J., Kuang L., Chen C., Yang J., Zeng W.N., Li T. et al. miR-100-5p-abundant exosomes derived from infrapatellar fat pad MSCs protect articular cartilage and ameliorate gait abnormalities via inhibition of mTOR in osteoarthritis. *Biomaterials*. 2019;206:87-100. doi: 10.1016/j.biomaterials.2019.03.022.

Сведения об авторах

✉ Корнева Юлия Сергеевна — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 191015, г. Санкт-Петербург,
ул. Кирочная, д. 41
<https://orcid.org/0000-0002-8080-904X>
e-mail: ksu1546@yandex.ru

Борисенко Марина Борисовна
<https://orcid.org/0000-0002-2684-2017>
e-mail: marina-borisenko-2000@mail.ru

Authors' information

✉ Yulia S. Korneva — Cand. Sci. (Med.)
Address: 41, Kirochnaya st., St. Petersburg, 191015,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-8080-904X>
e-mail: ksu1546@yandex.ru

Marina B. Borisenko
<https://orcid.org/0000-0002-2684-2017>
e-mail: marina-borisenko-2000@mail.ru

Персоналии
УДК 61(092)
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17425>



Георгий Сергеевич Бом – основатель кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова

К.А. Егиазарян, Д.С. Ершов

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Георгий Сергеевич Бом является основателем кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии РНИМУ им. Н.И. Пирогова, которой в 2023 г. исполнилось 90 лет, а также одним из основоположников московской ортопедической школы. Он занимался вопросами лечения детских ортопедических заболеваний, костно-суставного туберкулеза; разработал ряд оригинальных операций, в частности операцию для лечения *hallux valgus*, которая получила название «операции Бома». Им разработана классификация всех видов косолапости, которая до сих пор используется в ортопедии. Профессор Г.С. Бом — автор нескольких монографий и большого числа научных статей.

Ключевые слова: история травматологии и ортопедии.

Personalities
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17425>



Georgii S. Bom – the founder of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery of Pirogov Russian National Research Medical University


Karen A. Egiazaryan, Dmitry S. Ershov

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Georgii S. Bom was the founder of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery of Pirogov Russian National Research Medical University. In 2023 the Department celebrated its 90th anniversary. Prof. S. Bom was also one of the founders of the Moscow orthopedic school and specialized in the treatment of pediatric orthopedic diseases, as well as bone and joint tuberculosis. He developed a number of original surgeries, in particular, an intervention for hallux valgus, which was called «Bom's surgery». He offered a classification of all types of clubfoot, which is still used in orthopedics. Prof. G.S. Bom is the author of several monographs and a large number of scientific articles.

Keywords: history of traumatology and orthopedics.

 **Для цитирования:** Егиазарян К.А., Ершов Д.С. Георгий Сергеевич Бом – основатель кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):156-159. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17425>.

Cite as: Egiazaryan K.A., Ershov D.S. Georgii S. Bom – the founder of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery of Pirogov Russian National Research Medical University. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):156-159. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17425>.

Егиазарян Карен Альбертович / Karen A. Egiazaryan; e-mail: egkar@mail.ru

Рукопись получена: 30.10.2023. Статья опубликована: 15.12.2023.
Submitted: 30.10.2023. Published: 15.12.2023.

© Егиазарян К.А., Ершов Д.С. / Egiazaryan K.A., Ershov D.S., 2023

История кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ РНИМУ им. Н.И. Пирогова неразрывно связана с именем Георгия Сергеевича Бома, который в 1933 г. создал и возглавил в университете кафедру ортопедии, которая в этом году отмечает свое 90-летие.

Георгий Сергеевич Бом родился 15 июня 1889 г. в городе Орле в семье потомственного дворянина, титулярного советника Сергея Карловича Бома и его жены Марии Яковлевны Бом (девичья фамилия Темирязева).

С 1899 по 1907 г. Георгий Бом учился в Московской 7-й гимназии памяти императора Александра III и был воспитанником Дворянского пансион-приюта.

В 1907 г. он был зачислен в Императорский Московский университет на медицинский факультет. Еще со студенческих лет Георгий Бом проявлял интерес к ортопедии и костному туберкулезу. С 1910 по 1918 г. он работал в частной ортопедической лечебнице известного московского врача-ортопеда Константина Григорьевича Соловьева. В этой клинике Г.С. Бом выполнял обязанности массажиста, помощника врача и ассистента К.Г. Соловьева.

Одновременно с этим с 1912 г. Г.С. Бом начал работать помощником врача и ассистентом 2-го Лечебного общества борьбы с туберкулезом*.

В 1913 г. Г.С. Бом с отличием окончил Университет и получил степень лекаря.

В течение года Г.С. Бом был экстерном хирургом-ортопедом городской больницы № 1. В 1914 г. он был мобилизован на три года для прохождения военной службы в должности младшего врача полевого госпиталя Алексеевского военного училища, а в 1916 г. стал заведующим городским госпиталем для инвалидов войн.

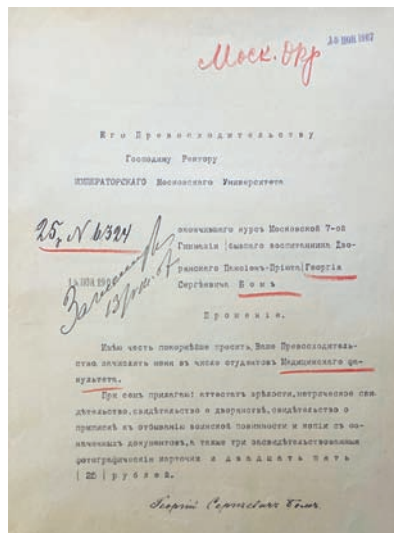
С 1918 г. на протяжении 12 лет Г.С. Бом работал заведующим костным отделением туберкулезного детского госпиталя. Одновременно с 1920 г. он работал ординатором в больнице им. Н.А. Семашко, где в 1921 г. организовал ортопедическое отделение и стал его заведующим. Здесь лечились пациенты с последствиями костно-суставного туберкулеза и полиомиелита, с детской ортопедической патологией. В 1926 г. Г.С. Бом опубликовал научный труд «Костно-суставный туберкулез у детей и его лечение на дому».

С 1926 г. в течение 7 лет Г.С. Бом являлся приват-доцентом хирургической клиники профессора Николая Ниловича Бурденко** и вел доцентский курс ортопедии.

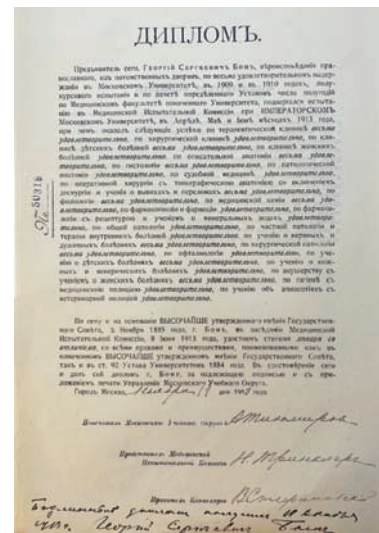
В 1928 г. Г.С. Бом начал работать заведующим отделением физически аномального ребенка Института охраны здоровья детей и подростков. В том же году он посетил для повышения профессиональных знаний клиники Парижа, Берлина, Вены, Праги, а также изучал работу учреждений по борьбе с детским физическим калечеством. После возвращения из Европы С.Г. Бом организовал Дом увечного ребенка в Москве и стал его директором.



Портрет Георгия Сергеевича Бома в юности



Прошение Г.С. Бома о зачислении в число студентов медицинского факультета



Диплом о присвоении Г.С. Бому степени лекаря с отличием

* Всероссийская лига по борьбе с туберкулезом — общественная организация, созданная в 1910 г., существовавшая в основном на благотворительные средства.

** С 1923 по 1946 г. Николай Нилович Бурденко руководил факультетской хирургической клиникой и кафедрой медицинского факультета Московского университета.



Книга «Костно-суставный туберкулез у детей и его лечение на дому»



Монография «Физическое калечество у детей и борьба с ним»



В феврале 1932 г. постановлением ВЦИК в системе Наркомата социального обеспечения (НКСО) в Москве была организована Научно-исследовательская база по борьбе с детским калечеством им. А.С. Киселева, при которой были открыты клиника ортопедии, протезная мастерская и школа по трудовому обучению. Организатором и первым директором базы был профессор Г.С. Бом. В дальнейшем это учреждение было преобразовано в Институт протезирования.

С 1932 г. в течение 10 лет Г.С. Бом работал заведующим 3-м хирургическим отделением Басманной больницы, а с 1938 по 1942 г. совмещал заведывание двумя отделениями.

Как уже говорилось выше, в 1933 г. Г.С. Бом создал и возглавил во Втором Московском медицинском институте кафедру ортопедии. Под его руководством велась научная работа по актуальным тогда проблемам лечения детских ортопедических заболеваний, костно-суставного туберкулеза, деформаций стопы, были разработаны оригинальные оперативные методы лечения. Сотрудниками кафедры были М.С. Жуховицкий, Б.Г. Высоцкий, Б.П. Попов, Е.А. Панкова, М.Г. Гопиус. В 1934 г. Г.С. Бом опубликовал монографию «Физическое калечество у детей и борьба с ним».

По инициативе профессора Г.С. Бома в системе социального обеспечения была развернута сеть детских учреждений для физически и умственно дефективных детей. Им было организовано образцовое детское учреждение с широкими методическими и лечебными задачами в Перedelкино.

С началом Великой Отечественной войны профессор Г.С. Бом включился в работу по лечению и восстановлению трудоспособности инвалидов войны. Он заведовал хирургическим отделением эвакогоспиталя № 5001, а затем был переведен



Профессор
Георгий Сергеевич Бом

во 2-ю городскую больницу, где возглавил отделение восстановительной хирургии. Одновременно Г.С. Бом был консультантом в санатории Наркомсобеса для офицеров в поселке Кратово Московской области, в течение нескольких лет руководил отделом лечебной помощи инвалидам Отечественной войны Наркомздрава СССР.

Георгий Сергеевич Бом является одним из основоположников московской ортопедической школы. Он занимался вопросами лечения детских ортопедических заболеваний, костно-суставного туберкулеза; разработал ряд оригинальных операций. Разработанная им хирургическая операция для лечения *hallux valgus* (иссечение экзостоза внутренней поверхности головки I плюсневой кости и трапециевидного участка ее средней части с последующим сближением оставшихся проксимального и дистального участков) получила название «операция Бома».

В 1937 г. он предложил классификацию всех видов косолапостей, разделив их на 9 групп. Классификация до сих пор является актуальной и используется в ортопедии. В 1942 г. профессор Г.С. Бом опубликовал монографию «Гипсовая повязка в ортопедии и травматологии», в которой описал ряд оригинальных способов наложения гипсовых повязок.

Одним из последних научных трудов профессора Г.С. Бома стала опубликованная в 1943 г. монография «Основы восстановительного лечения конечностей».

Г.С. Бом был бессменным заместителем председателя Ученого совета Наркомсобеса РСФСР. Награжден орденом «Знак Почета» (1944), медалью «За оборону Москвы» (1944), знаком «Отличник здравоохранения».

Г.С. Бом скоропостижно скончался 7 сентября 1945 г. и был похоронен на Новодевичьем кладбище. После смерти профессора Г.С. Бома кафедра была реорганизована в доцентский курс, который возглавил его ученик Михаил Самойлович Жуховицкий. В последующем курс вновь был преобразован в кафедру.

В настоящее время кафедру травматологии, ортопедии и ВПХ возглавляет Заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор Карен Альбертович Егиазарян. Ему удалось сохранить и преумножить кадровый состав кафедры и клиники, открыть новые направления научных исследований, увеличить количество клинических баз.

Прошло 90 лет со дня основания кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ, но она по-прежнему динамично развивается и продолжает традиции, заложенные ее основателем Г.С. Бомом.

Сведения об авторах

✉ *Егиазарян Карен Альбертович* — д-р мед. наук, профессор
Адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
e-mail: egkar@mail.ru

Ершов Дмитрий Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
e-mail: ershov0808@gmail.com



Монография «Гипсовая повязка в ортопедии и травматологии»



Монография «Основы восстановительного лечения конечностей»

Authors' information

✉ *Karen A. Egiazaryan* — Dr. Sci. (Med.), Professor
Address: 1, Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
e-mail: egkar@mail.ru

Dmitry S. Ershov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
e-mail: ershov0808@gmail.com

ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ ЗУБИКОВ К 70-летию со дня рождения

23 декабря 2023 г. свой 70-летний юбилей отмечает доктор медицинских наук, профессор, лауреат Премии правительства РФ в области науки и техники Владимир Сергеевич Зубиков.

Владимир Сергеевич родился в 1953 г. в Москве в семье служащих. В 1971 г. он окончил среднюю школу и в том же году поступил в 1-й Московский медицинский институт им. И.М. Сеченова на 2-й лечебный факультет. С первого курса института он стал принимать активное участие в работе научного студенческого кружка на кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии, возглавляемой профессором Т.Б. Богуславской. Среди его первых преподавателей оперативной хирургии в студенческом кружке был известный в настоящее время кардиохирург лауреат Государственной премии СССР С.Л. Дземишкевич. На старших курсах института В.С. Зубиков занимался в студенческом кружке на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии, которой руководил д-р мед. наук, профессор Г.С. Юмашев.

В 1977 г. В.С. Зубиков поступил в клиническую ординатуру, после окончания которой он был принят на работу в Московский областной научно-исследовательский клинический институт (МОНКИ) им. М.Ф. Владимирского на должность младшего научного сотрудника в клинику травматологии и ортопедии, возглавляемую доктором медицинских наук, профессором О.Ш. Буачидзе. В 1986 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию «Стабильный остеосинтез метафизарных и метадиафизарных отделов бедренной и большеберцовой костей при лечении последствий травм и ортопедических заболеваний».

В 1996 г. в составе коллектива сотрудников МОНКИ и РКК «Энергия» В.С. Зубиков получил Премию правительства РФ в области науки и техники за разработку и экспериментальное обоснование новой медицинской техники. В 2002 г. В.С. Зубиков защитил докторскую диссертацию «Накостный стабильно-функциональный остеосинтез при лечении последствий переломов костей конечностей» и в этом же году был назначен на должность главного научного сотрудника отделения последствий травм. Свою научную и хирургическую деятельность В.С. Зубиков совмещал с преподавательской, работая на должности профессора кафедры травматологии и ортопедии факультета усовершенствования врачей МОНКИ им. М.В. Владимирского.



В 2007 г. решением ВАК РФ ему присвоено ученое звание профессора. За время своей работы в МОНКИ Владимир Сергеевич активно развивал и совершенствовал методы хирургического лечения тяжелых последствий травм конечностей и таза, много занимался проблемами посттравматического остеомиелита, нарушений регенерации костной ткани. Им приобретен значительный опыт хирургической коррекции костей и суставов конечностей при различного рода ортопедических заболеваниях у взрослых. В.С. Зубиков относится к поколению российских специалистов, которые впервые в нашей стране начали осваивать и внедрять в практику современные методы эндопротезирования крупных суставов, сначала тазобедренного, а затем — коленного, плечелопаточного и локтевого. В это время, до появления специализированных клиник в онкологических центрах РФ, Владимир Сергеевич в своей практике использовал также онкологическое эндопротезирование при злокачественных опухолях костей и суставов нижних конечностей с замещением искусственными имплантатами суставов и прилежащих диафизарных отделов костей.

Профессор В.С. Зубиков более 10 лет являлся членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций МОНКИ им. М.Ф. Владимирского и ЦИТО (НМИЦ ТО) им.

Н.Н. Приорова. Под его руководством защищены 4 кандидатские диссертации. Он являлся членом международной образовательной организации SICOT и членом научного комитета Русского общества тазобедренного сустава, входящего ассоциированным членом в Европейское общество тазобедренного сустава, а также участвовал в работе конгрессов Европейского общества инфекции костей и суставов.

В 2013 г. В.С. Зубиков начал работу в системе лечения костно-суставного туберкулеза Московской области, придя на должность заведующего отделением ГБУЗ «Московский областной центр специализированной медицинской помощи больным внелегочными формами туберкулеза», где применяет свой богатый опыт ортопедической хирургии при лечении костно-суставного туберкулеза и неспецифической инфекции суставов. Там он начал разработку усовершенствованных методик артропластики при инфекционных туберкулезных и неспецифических артритах, методик стабилизации пораженных туберкулезом суставов, впервые предложил насыщать цементные спейсеры противотуберкулезными химиопрепаратами.

Профессор В.С. Зубиков докладывает о результатах своей работы на конгрессах фтизиатрического сообщества, где его хирургическая и научная деятельность получает однозначную положительную оценку. С 2018 г. свою работу В.С. Зубиков продолжил в только что открывшемся

ФГБУ «Национальный медицинский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России на должности ведущего научного сотрудника научного отдела костно-суставной патологии. Там он успешно продолжил заниматься разработкой методик артропластики инфицированных суставов, публикуя авторские статьи в специализированных изданиях. В 2020 г. В.С. Зубиков с соавторами опубликовали статью в журнале «Туберкулез и болезни легких», в которой впервые в Российской Федерации проанализировали значительный накопленный опыт первичного двухэтапного эндопротезирования крупных суставов, пораженных туберкулезной или неспецифической инфекцией. С его активным участием впервые в России проведен комплекс исследований (химических, микробиологических, механических испытаний) образцов цемента, насыщенного большой группой противотуберкулезных химиопрепаратов, что позволило усовершенствовать используемые цементные спейсеры и улучшить результаты эндопротезирования при инфекционных артритах, включая их туберкулезное поражение.

В.С. Зубиков является автором более чем 280 научных работ, 13 патентов.

В настоящее время д-р мед. наук, профессор В.С. Зубиков является членом Ассоциации травматологов-ортопедов России и членом Российского общества фтизиатров (РОФ).

*Коллектив НМИЦ фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний поздравляет Владимира Сергеевича с 70-летним юбилеем и желает ему доброго здоровья, новых творческих достижений!
Редакция журнала присоединяется к поздравлениям юбиляра.*

Персоналии



ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ЦЕЛЬ К 125-летию со дня рождения

Реферат

Статья посвящена 125-летию со дня рождения д-ра мед. наук, профессора В.Ф. Целя — создателя школы хирургии, травматологии и ортопедии в г. Архангельске, внёсшего огромный вклад в становление и развитие самого северного медицинского института.

Ключевые слова: история травматологии и ортопедии.

Personalities



Vladimir F. Tsel To the 125th Anniversary of the Birth

Abstract

The article is dedicated to the 125th anniversary of the birth of Doctor of Medical Sciences, professor V.F. Tsel. He was the founder of the school of surgery, traumatology and orthopedics in Arkhangelsk, who made a huge contribution to the formation and development of the northernmost medical institute.

Keywords: history of traumatology and orthopedics.

В 2023 г. исполнилось 125 лет со дня рождения профессора В.Ф. Целя, который внес большой вклад в развитие медицины европейского Севера России, проработав полвека на хирургических кафедрах Архангельского государственного медицинского института (АГМИ). Он — основатель и первый заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-морской хирургии в самом северном медицинском вузе мира.

Владимир Федорович (Вольдемар Теодорович) Цель родился 14 марта 1898 г. в с. Долиновка Константиновской волости Самарской губернии в крестьянской семье. Окончил медицинский факультет Томского университета (1924), где его преподавателями были выдающиеся ученые. Свою трудовую деятельность В.Ф. Цель начал с работы участковым врачом в селах Самарской губернии. С 1929 г. в Северном крае (в настоящее время — Архангельская область) был заведующим хирургических отделений ЦРБ, одновременно преподавал хирургию и заведовал учебной частью Маймаксанского фельдшерского училища. В 1936–1942 гг. — ассистент кафедры общей хирургии Архангельского мединститута. В августе 1942 г. был мобилизован в трудовую армию и до мая 1943 г. работал главным врачом и хирургом лазарета в лагере для заключенных при Котласском мостозаводе.



В 1943 г. В.Ф. Цель успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Переломы лодыжек (механизм происхождения, клиника и лечение)». После демобилизации из трудовой армии до марта 1944 г. заведовал хирургическим отделением Котласской районной больницы. Затем Владимир Федорович снова вернулся в г. Архангельск, был утвержден на должность доцента кафедры госпитальной хирургии и навсегда связал свою судьбу с медицинским институтом.

Эти и последующие годы замечательного хирурга были особенно плодотворными: он виртуозно проводил кожнопластические операции, впервые в Архангельской области оперировал детей с врожденной расщелиной верхней губы и твердого неба, внедрил хирургические методы лечения врожденного вывиха бедра и косолапости. В 1953 г. В.Ф. Цель защитил докторскую диссертацию на тему «Кожная пластика язв и незаживающих ран». Владимир Федорович был избран на должность второго профессора кафедры госпитальной хирургии (1956), а затем возглавил эту кафедру (1959). При клинике профессор В.Ф. Цель открывал экспериментальную лабораторию для проведения научных исследований.

В педагогической деятельности и руководстве кафедрой Владимир Федорович проявлял себя умелым организатором, хорошим лектором и опытным клиницистом. Он был инициатором преподавания студентам старших курсов института основ травматологии и ортопедии, туберкулезной остеологии и челюстно-лицевой хирургии. Владимир Федорович воспитал многих хирургов.

Владимир Федорович организовал и возглавил Архангельское общество травматологов-ортопедов, избирался членом правления Всесоюзного общества, был главным травматологом Архангельской области.

В 1971 г. В.Ф. Цель организовал и возглавил новую кафедру травматологии, ортопедии и военно-морской хирургии АГМИ. За время работы в АГМИ Владимир Федорович проявил себя как вдумчивый клиницист, опытный хирург и самоотверженный научный работник, он не только сам трудился над разрешением ряда научных проблем, но и привлекал коллектив врачей. Под его руководством было выполнено 3 докторских и 10 кандидатских

диссертаций. Он является автором 90 публикаций, 3 изобретений и 6 рацпредложений.

В.Ф. Цель был председателем Научно-практического общества травматологов-ортопедов Архангельской области (1968–1973), членом правления Российского общества травматологов-ортопедов. За заслуги в подготовке врачебных кадров, развитие травматолого-ортопедической службы, улучшение качества лечебной работы в Архангельской области, научные достижения профессор В.Ф. Цель награжден орденами «Знак Почета» (1961), «Трудового Красного Знамени» (1968) и медалями.

Профессор В.Ф. Цель выступал инициатором внедрения в практику всего нового и передового: чрескостный компрессионно-дистракционный остеосинтез по Г.А. Илизарову, костная гомопластика, реконструктивные операции на крупных суставах и т.д. Им предложены оригинальная модификация гипсовой повязки для функционального лечения перелома лодыжек, разработаны новые способы операций при расхождении прямых мышц живота, корригирующие остеотомии бедра при варусной деформации шейки бедренной кости, этапная методика «воспитания» итальянского лоскута кожи для пластики незаживающих язв и ран, фиксация несвободных кожных лоскутов при закрытии дефектов покровных тканей и многое другое.

За полвека своей лечебной, научной и педагогической деятельности В.Ф. Цель создал замечательную школу хирургов, травматологов-ортопедов, которую отличают высочайшая ответственность, преданность избранному делу и организаторская активность. Его по праву можно назвать основоположником травматологии и ортопедии как научной дисциплины на европейском Севере нашей страны.

Брагина Светлана Валентиновна

канд. мед. наук, доцент, заведующая кафедрой травматологии, ортопедии и ВХ
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет»

Минздрава России,
г. Архангельск

О статье «Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай»

Letter to the Editor Regarding the Article “Treatment of Iatrogenic Nerve Injury After Humeral Shaft Fracture Fixation: A Case Report”

С большим интересом я прочитал статью «Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай» Д.А. Киселя с соавторами, опубликованную в журнале «Травматология и ортопедия России» [1].

Сложно представить тему, касающуюся повреждения нервной системы, которая была бы более подходящей для травматолого-ортопедического журнала, чем нейрохирургического.

Действительно, подавляющее большинство повреждений лучевого нерва являются либо следствием прямого действия травматолога при остеосинтезе плечевой или лучевой кости или при восстановлении сухожилия двуглавой мышцы плеча, либо они сопутствуют перелому диафиза плечевой кости и пропускаются при клиническом осмотре. Это приводит к тому, что помощь пациенту оказывается с существенным опозданием. При этом зачастую пациент находит профильного специалиста уже на тех сроках, на которых оказать помощь может уже только ортопед, выполнив сухожильно-мышечные транспозиции.

Анализ нашего опыта показал, что среди более чем 45 пациентов с так называемой висящей кистью встретилось только два пациента, состояние которых не являлось следствием упомянутых выше особенностей работы травматологов или ортопедов. В одном случае на нерв давило новообразование, во втором — имел место так называемый синдром фокальной констрикции нерва. Поэтому актуализация темы поражений лучевого нерва в ортопедической среде очень важна, и мы выражаем искреннюю благодарность авторам статьи за приведенный клинический пример. Стоит подчеркнуть, что он является, к сожалению, скорее классическим, чем редким.

В связи с тем, что среди читателей журнала есть обучающиеся, приобретающие клинический опыт, в том числе читая статьи в рубрике «Случаи из практики», очень хотелось бы заострить их внимание на некоторых моментах, которые авторы,

возможно с высоты своего опыта, описали без акцентов, но которые были бы полезны для достижения заявленной цели данной публикации — «на клиническом примере показать причины возникновения, методы профилактики, диагностики и лечения ятрогенных повреждений лучевого нерва при переломах плечевой кости».

Авторами достаточно подробно проанализированы возможные ошибки при остеосинтезе плечевой кости блокируемым стержнем. С учетом того, что в названии статьи и в цели было заявлено рассмотрение повреждения лучевого нерва при остеосинтезе плечевой кости в целом, а не только при интрамедуллярном, то недостаточное уделенное внимание авторами может сформировать ложное впечатление у читателя о малой вероятности повреждения другими способами, например при накостном остеосинтезе или просто манипуляции отломками при любой репозиции. Упоминания публикаций об этом было бы достаточно в рамках рассмотрения клинического случая [2].

Что касается методов диагностики, мы совершенно согласны с авторами — выявить ятрогенную травматическую нейропатию сразу после окончания анестезии при клиническом осмотре несложно. При клиническом осмотре авторы выявили отсутствие активного разгибания левой кисти и пальцев (M0), отведения большого пальца (M0), нарушение чувствительности по наружной поверхности левого предплечья и кисти по типу анестезии в области автономной иннервации поверхностной ветвью лучевого нерва (S0). На наш взгляд, оценки этих параметров могло бы быть достаточно при абсолютной уверенности в локализации повреждения на уровне предплечья, но не плеча. Также есть некоторые противоречия, которые могут сбить с толку молодых специалистов.

Во-первых, при описании неврологических нарушений полезно отмечать и работающие мышцы, и зоны кожной иннервации, сохранившие чувствительность, чтобы можно было понять, от како-

Поступило 07.11.2023. Опубликовано 15.12.2023.

го места начинается уровень поражения. В данном случае непонятно, какие структуры не работают, а какие просто не проверялись.

Во-вторых, категорически важно проверять функцию плечелучевой мышцы. Поскольку это первая мышца предплечья, иннервируемая лучевым нервом, это имеет важное диагностическое и тактическое значение. При оценке результата восстановления нерва, а также при выбранной выжидательной тактике именно по включению или невключению функции на определенное время принимаются тактические решения об операции. Ветвь к плечелучевой мышце отходит от лучевого нерва на плече. И именно в случае нейропатии, возникшей при интрамедуллярном остеосинтезе, ее функция иногда помогает при дифференциальной диагностике между поражением нерва на уровне дистального блокирования и компрессии его отломками. В случаях нейропатии лучевого нерва бывает полезно проверить также и функцию трехглавой мышцы. Супинация также не оценена.

В-третьих, не оценена кожная чувствительность латеральной поверхности нижней части плеча (зона иннервации нижнего латерального нерва плеча — ветви лучевого нерва); не оценена кожная чувствительность задней поверхности предплечья (зона иннервации заднего кожного нерва предплечья — ветви лучевого нерва) [3]. Оценка этих зон также могла бы дать информацию для дифференциального диагноза уровня поражения. В данном клиническом случае зона иннервации заднего кожного нерва предплечья должна была пострадать. А вот нижний латеральный кожный нерв плеча должен был функционировать, но он мог пострадать в ходе операции по восстановлению нерва, однако это не было оценено.

Выглядит странным выявленное авторами отсутствие чувствительности по латеральной поверхности предплечья, не имеющей отношения к лучевому нерву. Несмотря на то, что поверхностная ветвь лучевого нерва располагается на латеральной поверхности предплечья, эту зону иннервирует латеральный кожный нерв предплечья — ветвь мышечно-кожного нерва. Это часто встречающаяся анатомическая путаница. Если авторы не ошиблись, назвав заднюю поверхность латеральной, то этот выявленный симптом можно объяснить одновременным (с лучевым) поражением латерального кожного нерва предплечья по типу аксонотмезиса, которое могло впоследствии восстановиться самостоятельно, что, видимо, и произошло.

К счастью, пациент поступил в клинику с уже выполненным УЗИ с верифицированным поражением нерва и установленным уровнем (по крайней мере, одним). Все тактические решения могли приниматься на основании данных УЗИ, не полагаясь на данные клинического осмотра.

При оценке динамики после операции и результата было бы корректно, помимо указания времени уже упомянутого включения плечелучевой мышцы, также оценить отдельно локтевой и лучевые разгибатели запястья. И важно написать оценку наиболее дистальной из двигательных ветвей — ветви к разгибателю 2-го пальца. Наличие функции этой мышцы вместе с восстановлением чувствительности поверхностной ветви лучевого нерва ставит точку в оценке результата невралной части реконструкции функции руки при поражении лучевого нерва. Причем функция мышцы важнее, так как чувствительность может частично восстанавливаться за счет перекрестной иннервации от других нервов. Стоит отметить, что нейрофизиолог проверил м-волну на данной мышце и оценил ее как низкоамплитудную с увеличенной хронодисперсией.

К слову о частичном восстановлении чувствительности: было бы полезным для публикации более объективно оценить восстановление чувствительности, хотя бы дискриминационным тестом и, конечно, указать другие чувствительные ветви лучевого нерва, кроме терминальной (поверхностной).

При оценке восстановления двигательной функции указано, что 1-й палец разгибается не на полную амплитуду — дана оценка м3–м4. Оценка силы по шкале MRC на кисти бывает сложной, однако невозможность осуществить полную амплитуду движений, наверное, стоит оценивать как меньшее, чем м3 [4]. Это имеет тактическое значение, так как в этом случае есть показания к выполнению реконструктивного вмешательства.

Жаль, что в статье мало внимания уделено описанию ортопедической части. Для читателей этого журнала было бы любопытно прочитать разбор тактического решения смены типа остеосинтеза. По описанию, приведенному авторами, признаков формирования ложного сустава не было. При этом замена стержня на более длинный позволила бы меньше травмировать костную мозоль, меньше нарушать локальное кровоснабжение, но, главное, зона невралных трансплантатов осталась бы на большем расстоянии от металлоконструкции. По собственному опыту могу сказать, что в случае повторных вмешательств невралные трансплантаты бывает сложно дифференцировать в рубцах, особенно вблизи металлоконструкции, кроме того, они больше, чем здоровый нерв, подвержены травматизации при выделении из рубцов. Это одна из причин, по которой описанный клинический случай сложно считать завершенным. Поскольку нет данных о консолидации перелома, нет и уверенности в отсутствии необходимости повторного вмешательства в этой зоне с риском вновь повредить нерв.

И второе – разгибание большого пальца не достигнуто. Принимая во внимание, что статья опубликована в травматолого-ортопедическом журнале, стоит упомянуть, что эта проблема может и должна быть решена путем ортопедической реконструкции. В данном клиническом наблюдении возможно достижение полной функции кисти и консолидации перелома плечевой кости. После их констатации цель показать методы лечения ятрогенных поражений лучевого нерва при переломах плечевой кости можно было бы считать достигнутой в полной мере.

В заключение еще раз хотелось бы отметить актуальность темы, выбранной авторами, и поблаго-

дарить коллектив за представленное интересное и поучительное клиническое наблюдение. Именно такой классический случай очень полезен для читателей нашей специальности. Отдельная благодарность авторам за крайне полезный теоретический разбор в разделе «Обсуждение» с описанием своего алгоритма принятия решений при выявлении поражения лучевого нерва. Хотелось бы только добавить собственное субъективное мнение: поскольку УЗИ – оператор-зависимый метод, при возможности ревизии в первые сутки можно прибегнуть к активной тактике, даже если в заключении врача, выполнявшего УЗИ, отсутствуют признаки перерыва нерва.

Наконец Дмитрий Георгиевич

канд. мед. наук

ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России
ФГБОУВО «ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России

Клиника «Скандинавия»

<https://orcid.org/0000-0002-7853-4825>

dnakonechny@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Кисель Д.А., Файн А.М., Светлов К.В., Боголюбский Ю.А., Алейникова И.Б., Синкин М.В. Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):110-117. doi: 10.17816/2311-2905-7984
Kisel D.A., Fain A.M., Svetlov K.V., Bogolyubsky Y.A., Aleynikova I.B., Sinkin M.V. Treatment of Iatrogenic Nerve Injury After Humeral Shaft Fracture Fixation: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):110-117. doi: 10.17816/2311-2905-7984. (In Russian).
2. Amer K.M., Kurland A.M., Smith B., Abdo Z., Amer R., Vosbikian M.M., Ahmed I.H. Intramedullary Nailing Versus Plate Fixation for Humeral Shaft Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Bone Jt Surg*. 2022;10(8):661-667.
3. Mancall E.L., Brock D.G. Gray's Clinical Neuroanatomy: The Anatomic Basis for Clinical Neuroscience (Gray's Anatomy). Saunders; 2011. 445 p.
4. Compston A. Aids to the investigation of peripheral nerve injuries. Medical Research Council: Nerve Injuries Research Committee. His Majesty's Stationery Office: 1942; pp. 48 (iii) and 74 figures and 7 diagrams; with aids to the examination of the peripheral nervous system. By Michael O'Brien for the Guarantors of Brain. Saunders Elsevier: 2010; pp. [8]. *Brain*. 2010;133(10):2838-44. doi: 10.1093/brain/awq270.