

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



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

2023 • Т. 29 • № 1

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

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

Travmatologiya i Ortopediya Rossii

Vol. 29, N 1, 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

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, A.R. Mironov

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)
Aleksander V. Gubin – Dr. Sci. (Med.), Professor (St. Petersburg State University, St. Petersburg, 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.) (Tsvivan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)
Djoldas Kuldjanov – MD, Professor (University Hospital, St. Louis, USA)
Dmitry A. Malanin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia)
Alexander M. Miromanov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Chita State Medical Academy, Chita, Russia)
Vyacheslav N. Mitrofanov – Cand. Sci. (Med.) (Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia)
Valery Yu. Murylev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia)
Javad Parvizi – MD, Professor (Rothman Institute, Philadelphia, USA)
Carsten Perka – MD, Professor (Charité – University Medicine, Berlin, Germany)
Dmitry A. Ptashnikov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Sergey O. Ryabykh – Dr. Sci. (Med.) (Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia)
Andrey P. Sereda – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Leonid N. Solomin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Marc Thomsen – MD, Professor (Mittelbaden Clinics Baden-Baden Balg, Baden-Baden, Germany)
Vladimir V. Khominets – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)
Robert Hube – MD, Professor (Center of Arthroplasty, Munich, Germany)

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



Травматология и ортопедия России

Том 29, Выпуск 1, 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@rniito.org
<https://journal.rniito.org>

ИНДЕКСАЦИЯ

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 Но ФС77-82474)



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

Распространяется по подписке:
Индекс **ПНОЗО** в каталоге «Почта России»;
Индекс **З3020** в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакторы Колесникова И.В., Шен А.С.
Технический редактор Гаврилова С.В.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург,
ул. Сабировская, 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. Джanelидзе, 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)
Губин А.В. – д-р мед. наук, профессор (Санкт-Петербургский ГУ, Санкт-Петербург, 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)
Кочии А.Ю. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Кренин 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 (РНИМУ 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.rniito.org>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя и редакции, ссылка на журнал обязательна.

CONTENTS

CLINICAL STUDIES

- Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovich M.S.**
Variants of Acetabular Deformity in Developmental Dysplasia of the Hip in Young Children.....5
- Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch.**
Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study 17

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

- Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G.**
Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study 25
- Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A.**
Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experimental Study 36
- Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A.**
Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study 46

TRAUMA AND ORTHOPEDIC CARE

- Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M.**
Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics 60

- Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A.**
The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors 73

EXPERIENCE EXCHANGE

- Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A.**
Stenotrophomonas Maltophilia Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review 84

CASE REPORTS

- Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A.**
Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Case Report and Review 95
- Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M.**
Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report..... 104

REVIEWS

- Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A.**
Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment..... 111
- Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu.**
Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review 123
- Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V.**
Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review 135

MEMORIAL DATES

- Sergei S. Tkachenko**
To the 100th Anniversary of the Birth 143

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С.
Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста5

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч.
Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование..... 17

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Щербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г.
Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование.....25

Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А.
Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование.....36

Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А.
Использование депротезинизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование46

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ

Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Бильк С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М.
Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена60

Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А.
Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей73

ОБМЕН ОПЫТОМ

Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А.
Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы.....84

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А.
Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы..... 95

Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М.
Реконструкция медиальной лодыжки свободным аутоотрансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай 104

ОБЗОРЫ

Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А.
Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения..... 111

Михайловский М.В., Сергунин А.Ю.
Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы 123

Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В.
Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы 135

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Сергей Степанович Ткаченко
К 100-летию со дня рождения 143



Variants of Acetabular Deformity in Developmental Dysplasia of the Hip in Young Children

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

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

Background. The choice of pelvic reconstruction technique in children with developmental dysplasia of the hip (DDH) has been the subject of discussion for many years and is often determined by personal preferences of a surgeon rather than by X-ray anatomical state of the acetabulum. The variants of its anatomy structure have still not been reflected in the available scientific literature.

Aim of the study — to identify the most typical variants of acetabular deformation in children with varying severity of DDH, based on the X-ray anatomical analysis of structure of the acetabulum.

Methods. The study was based on the results of examination of 200 patients (200 hip joints) aged 2 to 4 years (3.1 ± 0.45) with Tönnis grade II-IV DDH. All patients underwent conventional clinical and radiological examination. The latter consisted of hip radiography in several views and computed tomography. We took the values of acetabular index, the extent of acetabulum arch and the presence or the absence of bone oriel as criteria for determination of the most typical variants of acetabular deformation.

Results. X-ray analysis of anatomical structure of the acetabulum in young children with varying severity of DDH revealed 3 most common variants of acetabular deformity: 1 — moderate underdevelopment of the acetabulum arch ($AI \leq 35^\circ$), its shortening and the presence of bone oriel; 2 — pronounced underdevelopment of the acetabulum arch ($AI > 35^\circ$), its shortening and the presence of bone oriel; 3 — pronounced underdevelopment of the acetabulum arch ($AI > 35^\circ$), its sufficient length and the absence of bone oriel.

Conclusion. Suggested supplements to existing Tönnis DDH classification might become basic for choosing the surgical correction technique of the acetabulum in children with different severity of DDH.

Keywords: developmental dysplasia of the hip, DDH, children, acetabular deformity, pelvic osteotomy.

Cite as: Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin 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 Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2012>.

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

Submitted: 24.10.2022. Accepted: 09.12.2022. Published Online: 25.01.2023.

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

Научная статья

УДК 616.728.2-007.17-053.4:616.718.16-089

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-2012>

Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста

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

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

Актуальность. Выбор методики реконструкции таза у детей с дисплазией тазобедренного сустава остается предметом дискуссий на протяжении многих лет и часто зависит от личных предпочтений хирурга, а не от рентгеноанатомического состояния вертлужной впадины, варианты строения которой не отражены в научной литературе.

Цель исследования — на основании рентгеноанатомического анализа строения вертлужной впадины выявить наиболее распространенные варианты ее деформации у детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов.

Материал и методы. Исследование основано на результатах обследования 200 пациентов (200 тазобедренных суставов) в возрасте от 2 до 4 лет ($3,10 \pm 0,45$) с дисплазией тазобедренных суставов II–IV ст. по классификации D. Tönnis. Всем пациентам проводили клиническое и лучевое исследование по общепринятой методике. Лучевое исследование заключалось в выполнении рентгенографии тазобедренных суставов в нескольких проекциях и компьютерной томографии. В качестве критериев для определения наиболее типичных вариантов деформации вертлужной впадины нами были выбраны значения ацетабулярного индекса, величина протяженности свода вертлужной впадины и наличие или отсутствие костного эркера.

Результаты. Рентгенометрический анализ состояния вертлужной впадины у детей младшего возраста с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов показал наличие трех наиболее часто встречающихся вариантов деформации вертлужной впадины: вариант 1 — умеренно выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI \leq 35^\circ$), его укорочение и наличие костного эркера; вариант 2 — выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI > 35^\circ$), его укорочение и наличие костного эркера; вариант 3 — выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI > 35^\circ$), его достаточная протяженность и отсутствие костного эркера.

Заключение. Предложенные дополнения к имеющейся классификации дисплазии тазобедренных суставов, разработанной D. Tönnis, могут стать основой алгоритма выбора методики хирургической коррекции вертлужной впадины у детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренного сустава.

Ключевые слова: дисплазия тазобедренного сустава, дети, деформация вертлужной впадины, остеотомия таза.

Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин 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. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2012>.

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

Рукопись получена: 24.10.2022. Рукопись одобрена: 09.12.2022. Статья опубликована онлайн: 25.01.2023.

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

BACKGROUND

According to many authors, dysplasia of the hip is one of the most common pediatric orthopedic diseases with the incidence rate of 3-4 to 50 cases per 1000 newborns. A severe degree of hip dysplasia characterized by prominent anatomic changes developed ante- and postnatally still plays one of the leading roles among all congenital musculoskeletal disorders [1, 2, 3, 4].

Impossibility of ultrasonic screening examination, as well as its improper interpretation and indiscriminate application of conservative therapy methods force to perform surgical stabilization of the joint in order to restore correct relations between pelvic and femoral components during reconstructive surgeries. The Tönnis classification of hip dysplasia and its modification, the International Hip Dysplasia Institute (IHDI), are used to verify the disorders of intraarticular relations in the hip joint before starting the surgical treatment [5, 6]. Many Russian and foreign authors proved the efficacy of the surgeries on pelvic components, such as Salter innominate osteotomy of the pelvis, Pemberton pericapsular osteotomy, Dega's acetabuloplasty and combined Salter-Pemberton pelvic osteotomy, described by P.C. Perlik [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

The choice of pelvic reconstruction technique has been the subject of discussion for many years and is often determined by the surgeon's qualification and experience, as well as his personal preference for one or another technique, rather than by the radiological and anatomical conditions of the acetabulum, whose structural variants have not been found in the available scientific literature. Besides, the available classifications of hip dysplasia reveal only the degree of femoral head dislocation. Said facts necessitate more detailed study of radiological and anatomical conditions of the acetabulum in order to identify its most typical deformities. In our opinion, these pathologic changes will determine the choice of the reconstruction technique of the acetabulum.

Aim of the study. Basing on the X-ray anatomy of the acetabulum, to identify the most frequent types of its deformity in children aged 2 to 4 years with varying severity of hip dysplasia.

METHODS

Study design: monocenter cohort retrospective.

Inclusion criteria:

- age 2-4 years;
- presence of Tönnis grade II-IV unilateral hip dysplasia [5];
- absence of any signs of dysplastic changes in the contralateral joint;
- absence of any prior surgeries on the pelvic component of the joint;
- no neurological diseases;
- no genetic or systemic skeleton diseases;
- consent of the patient's legal representatives to participate in the study.

Exclusion criteria:

- age under 2 years and over 4 years;
- presence of bilateral hip dysplasia;
- prior hip surgeries;
- neurological, systemic or genetic diseases;
- refusal to fill out the informed consent to participate in the study.

The study included 200 patients (200 hip joints) aged 2 to 4 years (3.10 ± 0.45) with Tönnis grade II-IV hip dysplasia who were admitted to the hospital for the following surgical treatment between 2016 and 2021. All patients underwent the standard clinical examination typical for this orthopedic pathology, hip X-rays in AP and Lauenstein views, in position of abduction and internal rotation of the lower extremities, as well as computed tomography.

We selected the following criteria to determine the most common types of acetabular deformity:

- acetabular index (AI) — the angle formed by the line connecting both Y-shaped cartilages (Hilgenreiner line) and the tangent line to the acetabular arch;
- length of the acetabular arch — the distance from the inferomedial to its superolateral point (to the Ombredanne-Perkins line);
- bony prominence — the presence or absence of a step-like transition of the upper edge of the acetabulum into the iliac wing.

In order to objectify the data, the above-mentioned criteria were calculated using both X-rays and CT slice in the middle of the acetabulum (Figs. 1, 2).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS Statistic v.26 software (IBM, USA). Arithmetical mean (M), standard deviation (SD), median (Me) with quartiles (25-75%) were calculated. Within groups, the data obtained were analyzed using Wilcoxon criterion. Correlation analysis (Pearson criterion) was performed, and the strength of correlation was assessed as follows: $0.01 \leq p \leq 0.29$

– weak correlation; $0.30 \leq p \leq 0.69$ – moderate correlation; $0.70 \leq p \leq 1.00$ – strong correlation. The coefficient value determined the presence of a positive or negative correlation. Regression analysis in the form of paired linear and quadratic regression models was performed to assess the degree and the variant of the influence of one attribute on another. Sample proportion was estimated using the coefficient of multiple determination (R^2).

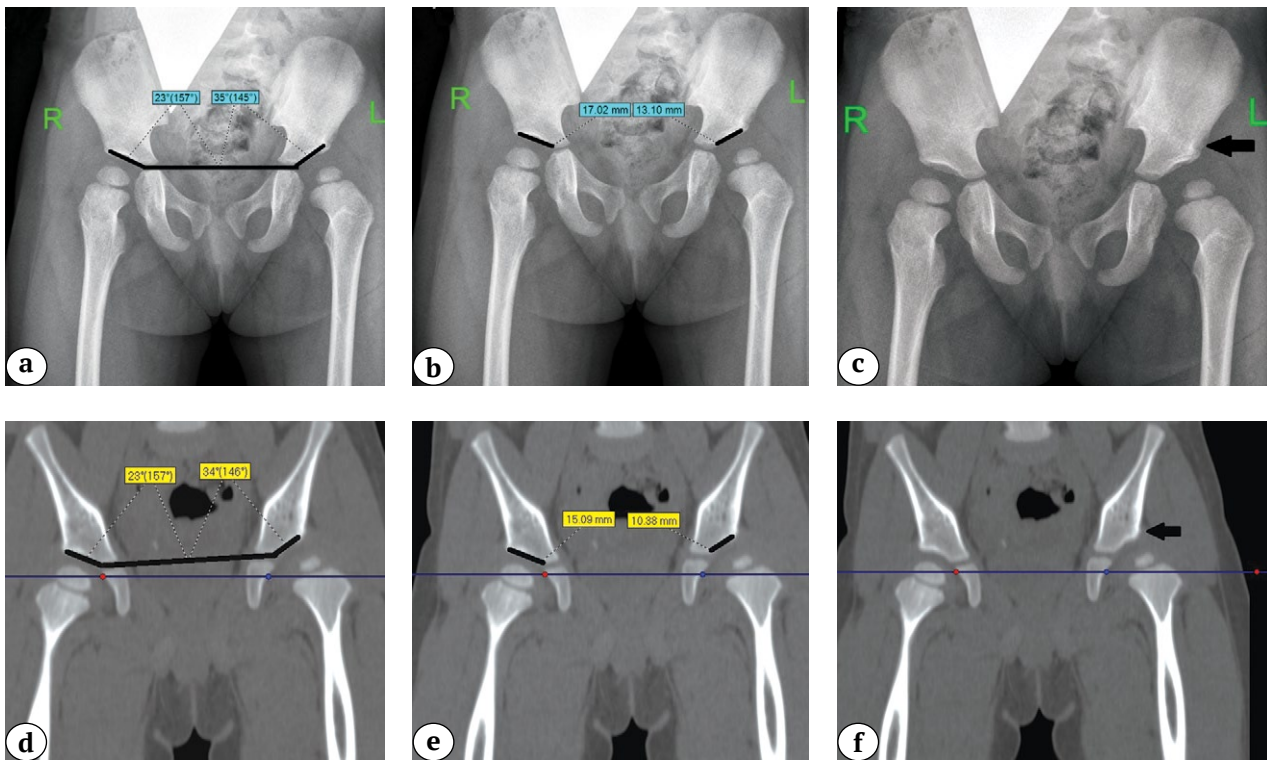


Fig. 1. Determination in patients with Tönnis grade II DDH based on X-ray and CT results:

- a, d – acetabular index;
- b, e – extent of acetabulum arch (length of the sclerosis zone);
- c, f – presence of bone oriel (indicated by black arrow)

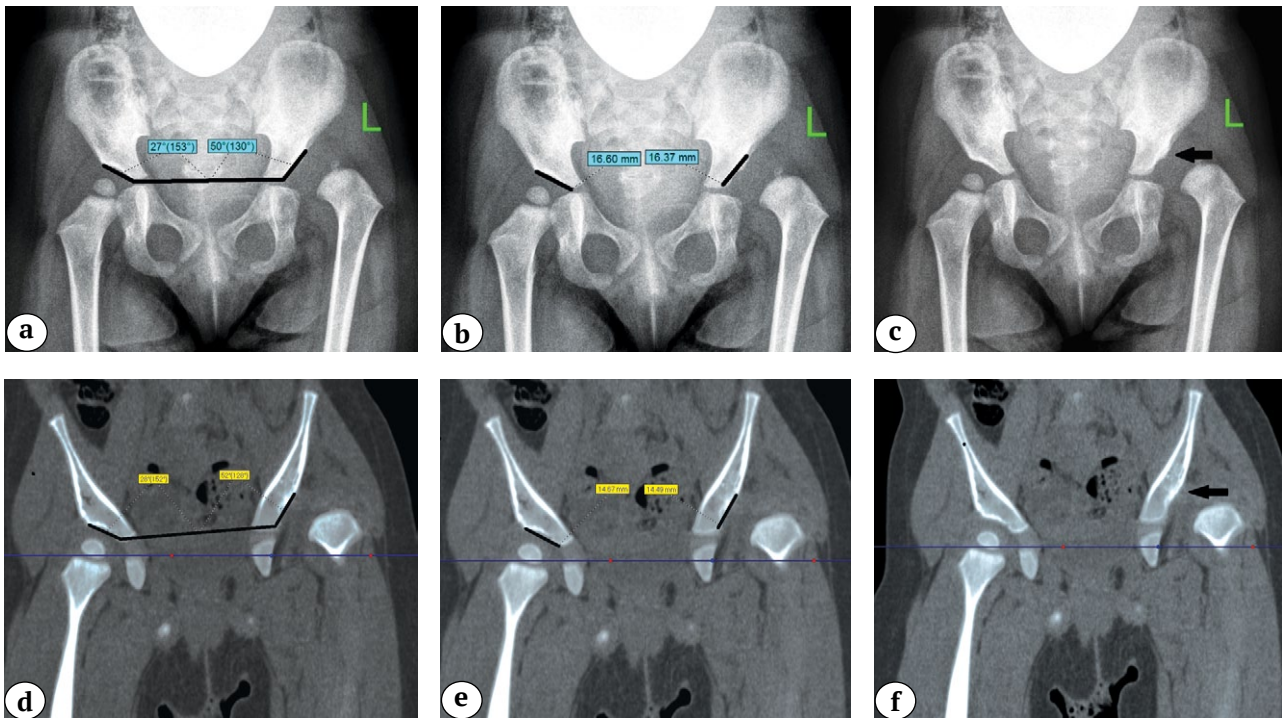


Fig. 2. Determination in patients with Tönnis grade IV DDH based on X-ray and CT results: a, d – acetabular index; b, e – length of acetabulum arch; c, f – absence of bone oriel (indicated by black arrow)

RESULTS

Legal representatives of the patients complained of lameness in children on admission to the hospital. The relative shortening of the lower extremity was 1.7 ± 0.5 cm. Goniometry changes were typical for hip dysplasia in form of abduction restrictions and excessive rotational movements on the side of the lesion.

Results of performed radiometry according to the above-mentioned X-ray anatomy criteria of the acetabulum in patients with various severity of dysplasia are presented in Table 1.

Basing on the Table 1 data, it can be concluded that there was the marked underdevelopment and shortening of the acetabular arch in the overall cohort of patients. It should be noted that by shortening of the arch we mean a situation in which the difference in measurement compared to the contralateral joint is at least 25% of the individual norm. Moreover, 1/3 of patients had bony prominence – the transition of the acetabu-

lar arch into the iliac wing, which was represented by the bone edge rounded downwards. The correlation analysis between the AI values and the length of the acetabular arch, measured on X-ray and CT scans, showed a strong positive correlation which was $r = 0.96$ and 0.98 , respectively.

Regression analysis showed that the coefficient of determination (R^2) for the correlation of AI and acetabular arch length measured on X-ray and CT scans was 0.93 and 0.96 , respectively. It had no significant differences between the linear and quadratic models, which brought the studied attributes closer to the linear regression (Fig. 3). Approximation is considered very good, because more than 90% of sample can be substantiate by the regression formula. Thus, reliable radiometry of such parameters of the acetabular anatomy as AI and the length of the acetabular arch can be adequately performed without the use of CT, which will significantly reduce the radiation dose to the child.

Table 1

Values of acetabular deformity in patients with varying severity of hip dysplasia

Parameter	Patients with hip dysplasia M±SD (min-max) Me (25–75%)	Contralateral joint M±SD (min-max) Me (25–75%)
AI according to X-ray, deg.	40.6±5.0 (31.0–51.0) 41.0 (37.0–44.0)	20.6±2.0 (15.0–24.0) 20.5 (19.0–22.8)
AI according to CT, deg.	39.9±4.9 (30.0–52.0) 41.0 (36.0–43.0)	20.5±2.0 (14.0–23.0) 20.3 (19.0–22.5)
Arch length according to X-ray, mm	14.1±3.5 (10.0–22.1) 13.2 (11.3–16.7)	19.3±2.6 (14.3–24.3) 19.4 (17.2–21.4)
Arch length according to CT, mm	13.8±3.4 (10.0–21.7) 13.0 (10.9–16.2)	19.1±2.3 (13.9–24.1) 18.8 (16.7–21.1)
Bony prominence: – present – absent	37% 63%	100% –

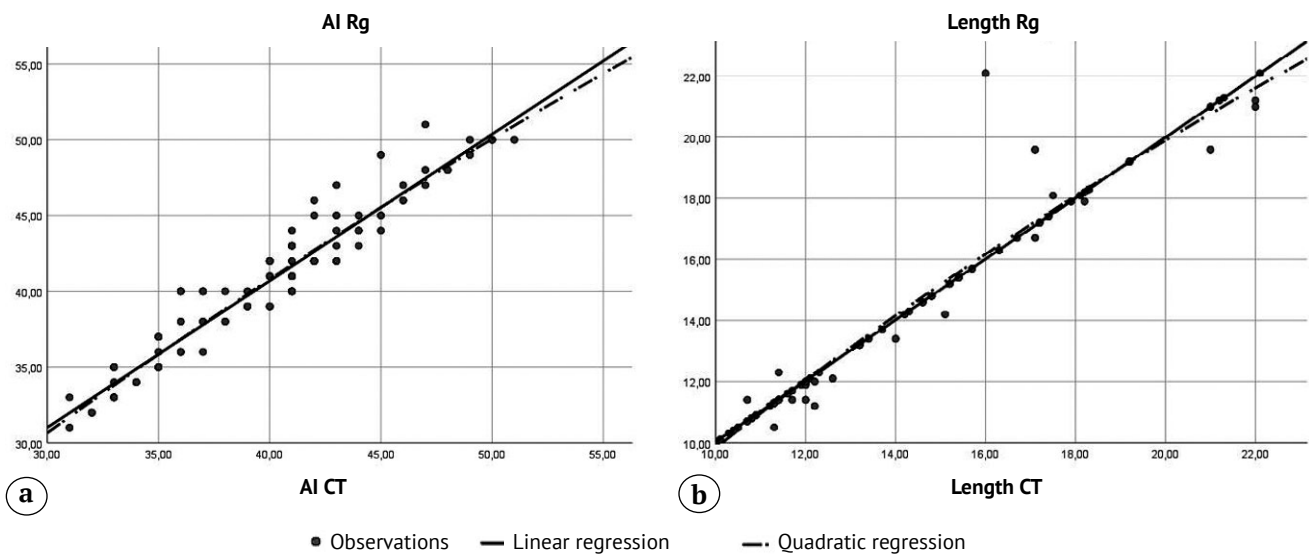


Fig. 3. Results of regression analysis reflecting the correlation between:
a – values of AI measured in X-rays and CT scans;
b – values of acetabulum arch length measured in X-rays and CT scans

Patients were divided into two groups depending on the severity of dysplastic instability of the hip in order to study possible variants of acetabular deformity in more details. The first group enrolled 90 patients (90 hip joints) with grade II dysplasia, i.e., hip subluxation. The second group included 110 patients (110 hip joints) with grade III-IV dysplasia, i.e., hip dislocation.

Table 2 shows the results of radiometric analysis performed in patients with hip subluxation.

Analysis of the X-ray anatomy of the acetabulum in children with hip subluxation (Tönnis grade II) showed that 44% of patients (40 hip joints) had a distinct bony prominence, AI values did not exceed 35°, and the acetabular arch shortening was 25% or more compared to the

healthy joint. In 56% of cases (50 hip joints), the bony prominence was not detected, AI was greater than 35° and was not accompanied by the shortening of the acetabular arch. Correlation and regression analysis showed strong positive correlation ($r = 0.66$) between AI and the length

of the acetabular arch. Coefficient of determination was 0.44 with approximation value of 44% (Fig. 4).

The results of the radiometric analysis of the above-mentioned parameters in patients with hip dislocation are presented in Table 3.

Table 2

Values of acetabular deformity in children with Tönnis grade II hip dysplasia

Parameter	Patients of Group I M±SD (min-max) Me (25-75%)	Contralateral joint M±SD (min-max) Me (25-75%)
AI according to X-ray, deg.	39.2±5.2 (31.0-50.0) 40.0 (35.0-42.0)	20.6±2.0 (15.0-24.0) 20.5 (19.0-22.8)
Arch length according to X-ray, mm	16±3 (10.0-22.1) 15.7 (14.3-18.2)	19.2±2.6 (14.3-24.1) 19.3 (14.3-21.4)
Bony prominence: - present - absent	44% 56%	100% -

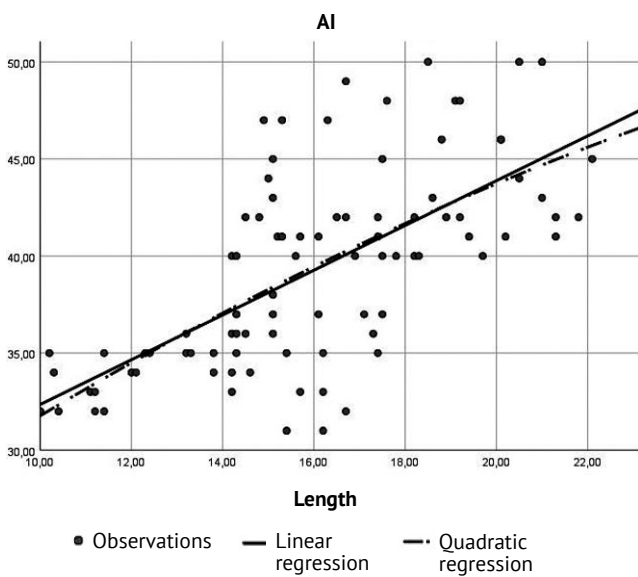


Fig. 4. Results of regression analysis reflecting the correlation between AI values and acetabulum arch length in children with hip subluxation

Table 3

Values of acetabular deformity in children with Tönnis grade III-IV hip dysplasia

Parameter	Patients of Group II M±SD Me (25-75%)	Contralateral joint M±SD Me (25-75%)
AI according to X-ray, deg.	39.0±5.3 (31.0-51.0) 39.0 (35.0-43.0)	20.6±2.0 (15.0-24.0) 20.5 (19.0-22.8)
Arch length, mm	15.3±3.0 (10.0-22.1) 15.1 (13.1-17.7)	19.2±2.6 (14.3-24.1) 19.3 (14.3-21.4)
Bony prominence: - present - absent	51.8% 48.2%	100% -

Analysis of the X-ray anatomy of the acetabulum in children with hip dislocation (Tönnis grade III-IV) showed that 51.8% of patients (57 hip joints) had bony prominence. In 38 patients (34.5%) AI values did not exceed 35° and the acetabular arch shortening was detected. AI values in 19 patients (17.3%) were more than 35° in association with the acetabular arch shortening compared to the contralateral joint. In 48.2% of cases (53 hip joints) the transition of the acetabulum into the iliac wing was not detected, AI values did not exceed 35° and the acetabular arch was extended. Correlation and regression analysis showed moderate positive correlation ($r = 0.4$) between AI and the length of the acetabular arch. Coefficient of determination was 0.16 with approximation value of 16% (Fig. 5).

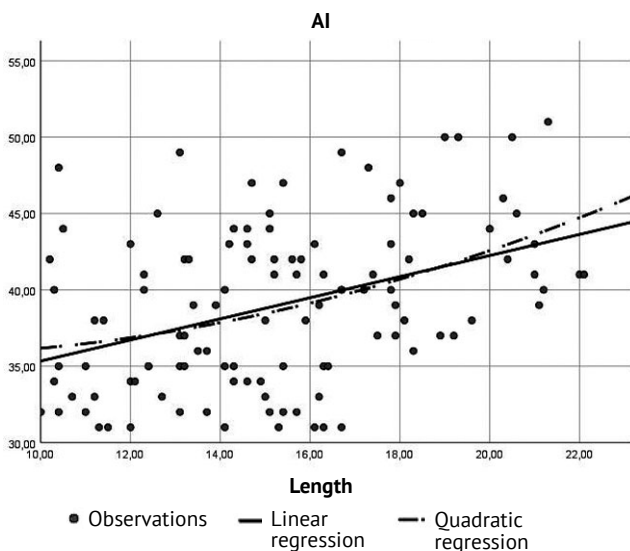


Fig. 5. Results of regression analysis reflecting the correlation between AI and acetabulum arch length in children with hip dislocation

Low coefficient of determination indicates rather large variability of possible acetabular deformities in children with hip dislocation.

Thus, basing on the studied X-ray anatomy of the acetabulum, as well as on the correlation and regression analysis, we can distinguish three most common types of acetabular deformity in case of hip dysplasia in young children.

1. Moderate underdevelopment of the acetabular arch with AI values $\leq 35^\circ$, shortening of the acetabular arch, and the presence of bony prominence. This type occurred in 44% of cases of hip

subluxation and in 34.5% of cases of dislocation.

2. Marked underdevelopment of the acetabular arch with AI values $>35^\circ$, extended acetabular arch and the absence of bony prominence. This type was found in 56% of cases of hip subluxation and in 48.2% of cases of dislocation

3. Marked underdevelopment of the acetabular arch with AI values $>35^\circ$, shortening of the acetabular arch and the presence of bony prominence. This type of deformity occurred in 17.3% of observations only in children with hip dislocation.

DISCUSSION

Severity of this pathology, as well as inaccurate diagnostics and conservative treatment of children with varying severity of hip dysplasia inevitably lead to the need of various surgical interventions performed to restore correct relations in the hip joint and to provide conditions for its correct development and remodeling as the child grows [14, 15, 16, 17].

Nowadays, the verification of diagnosis and determination of severity of the hip deformation in children over 1 year represent no difficulties [5, 6, 18]. At the same time, the overwhelming majority of orthopedic surgeons, when planning a surgery, perform an X-ray assessment of severity of the acetabular arch underdevelopment with the use of AI values, deformity of the proximal femur, as well as the severity of the femoral head dislocation in relation to the acetabulum by integral indicators and available international classifications [19, 20, 21, 22, 23]. It should be pointed out that the latter reflect only the character of incorrect relations in the hip without the detailed verification of possible types of deformities of the pelvic and femoral components of the joint. This sufficiently limits the perception of pathologic disorders in the affected joint and makes it possible to decide only upon the necessity of arthrotomy followed by intraarticular manipulations. Nowadays, the choice of pelvic osteotomy technique depends on the surgeon, his experience and preferences, since the available scientific data show the high efficacy of techniques applied in the international orthopedic practice for surgical correction of dysplastic acetabulum both in the mid-term and long-term follow-up period [24, 25, 26, 27]. Russian scientists developed the working classification of hip dysplasia.

Thus, I.F. Akhtyamov and O.A. Sokolovskii distinguish two types of dysplasia – femoral and pelvic [28]. V.D. Makushin and M.P. Teplen'kii developed more detailed classification of hip dysplasia based on two variants of pathological state – stable and unstable. Both of them are subdivided into femoral, acetabular and mixed forms, while the unstable type is also characterized by the direction of the femoral head dislocation in relation to the acetabulum [29]. Both classifications are intended to define a methodological approach when choosing the way of correction of the pelvic, femoral, or both components of the joint. In our opinion, the main

disadvantage of these classifications is the lack of characteristics of the acetabular deformity types. Nowadays, there is a sonographic classification of hip dysplasia in children in the first year of life developed by R. Graf which reflects both hip joint relations and types of deformity of the acetabular structures [30]. This classification prompted us to perform this study.

In our opinion, basing on the most frequent types of acetabular deformities in children with Tönnis grade II-IV hip dysplasia verified during the present study, it is reasonable to include them in the existing classification, presented in Figure 6.

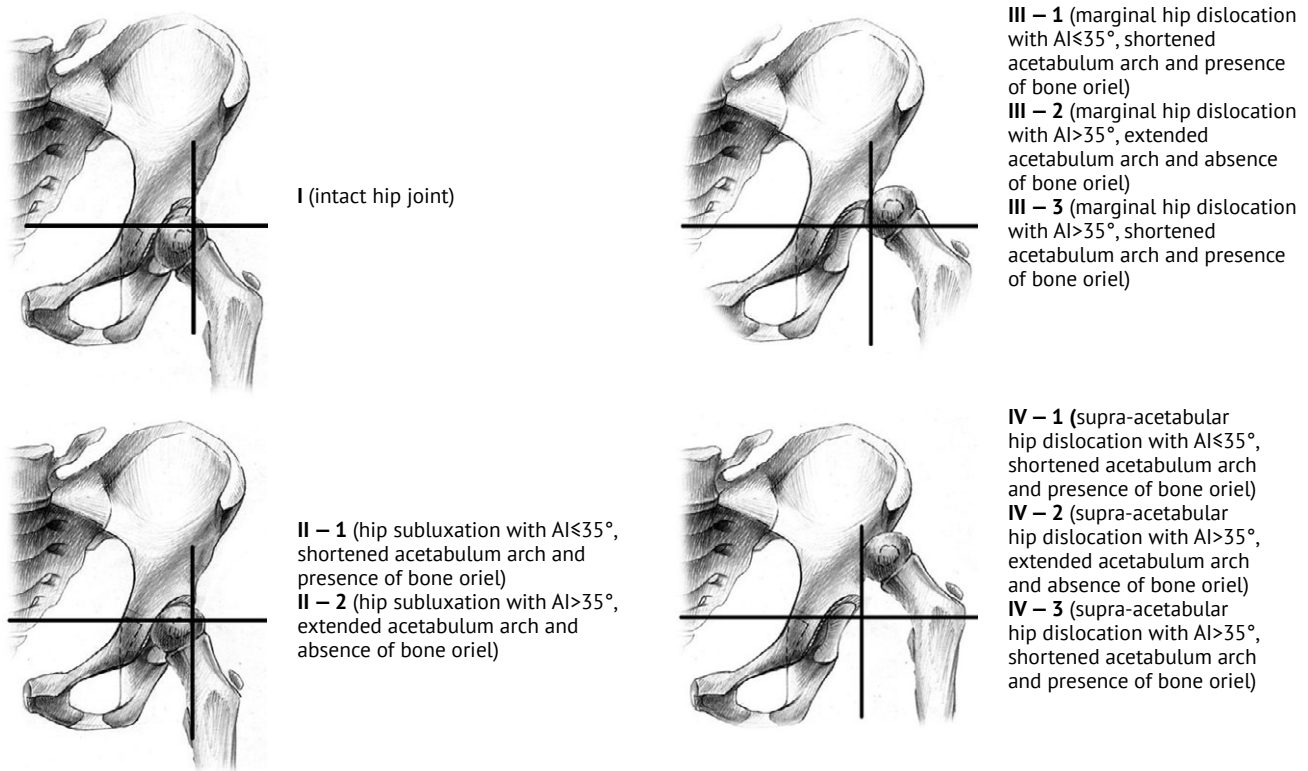


Fig. 6. Supplemented Tönnis classification of hip dysplasia severity

CONCLUSION

Performed radiological and anatomical analysis of the acetabulum in young children with varying severity of hip dysplasia, based on the study of severity of underdevelopment of the acetabular arch, its length, as well as the presence or absence of bony prominence, revealed three most common types of acetabular deformity, which are characterized by: 1 – moderate underdevelopment of the acetabular arch ($AI \leq 35^\circ$), its short-

ening and the presence of bony prominence; 2 – severe underdevelopment of the acetabular arch ($AI > 35^\circ$), its sufficient length and the absence of bony prominence; 3 – severe underdevelopment of the acetabular arch ($AI > 35^\circ$), its shortening and the presence of bony prominence.

In our opinion, the proposed additions to the existing classification of hip dysplasia developed by D. Tönnis can become the basis for an algorithm of technique selection for surgical correc-

tion of the acetabulum in children with varying severity of hip dysplasia, which is a priority for our further study.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pavel I. Bortulev – conception and design of the study, collection and processing of material, data statistical processing, literature review, writing the draft.

Tamila V. Baskaeva – collection and processing of material, text editing.

Sergei V. Vissarionov – text editing.

Dmitriy B. Barsukov – collection and processing of material, text editing.

Ivan Yu. Pozdnykin – collection and processing of material, text editing.

Makhmud S. Poznovich – collection and processing of material, text editing.

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 budgetary funding.

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

Ethics approval. Not applicable.

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

- 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.
- Čustović S., Šadić S., Vujadinović A., Hrustić A., Jašarević M., Čustović A. et al. The predictive value of the clinical sign of limited hip abduction for developmental dysplasia of the hip (DDH). *Med Glas (Zenica).* 2018;15(2):174-178. doi: 10.17392/954-18.
- Dezateux C., Rosendahl K. Developmental dysplasia of the hip. *Lancet.* 2007;369(9572):1541-1552. doi: 10.1016/S0140-6736(07)60710-7.
- Roof A.C., Jinguji T.M., White K.K. Musculoskeletal screening: developmental dysplasia of the hip. *Pediatr Ann.* 2013;42(11):229-235. doi: 10.3928/00904481-20131022-10.
- Tönnis D. Congenital dysplasia and dislocation of the hip in children and adults. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 1987. p. 80-83.
- Ramo B.A., De La Rocha A., Sucato D.J., Jo C.H. A New Radiographic Classification System for Developmental Hip Dysplasia is Reliable and Predictive of Successful Closed Reduction and Late Pelvic Osteotomy. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(1): 16-21. doi: 10.1097/BPO.0000000000000733.
- Kamosko M.M., Grigor'ev I.V. Pelvic Psteotomies at Treatment of Dysplastic Hip Pathology. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2010;17(1):90-93. (In Russ). doi: 10.17816/vto201017190-93.
- Pekmezci M., Yazici M. [Salter osteotomy: an overview]. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2007;41 Suppl 1:37-46. (In Turkish).
- Huang S.C., Wang T.M., Wu K.W., Fang C.F., Kuo K.N. Pemberton Osteotomy for Acetabular Dysplasia. *JBJS Essent Surg Tech.* 2011;1(1):e2. doi: 10.2106/JBJS.ST.K.00003.
- Woźniak Ł., Idzior M., Józwiak M. Dega Transiliac Pelvic Osteotomy: the History of Surgical Technique Development. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2020;22(6):455-464. doi: 10.5604/01.3001.0014.6057.
- Perlik P.C., Westin G.W., Marafioti R.L. A combination pelvic osteotomy for acetabular dysplasia in children. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(6):842-850.
- Bursali A., Tonbul M. How are outcomes affected by combining the Pemberton and Salter osteotomies? *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(4):837-846. doi: 10.1007/s11999-008-0153-3.
- Agarwal A., Rastogi P. Clinicoradiological outcomes following pembersal acetabular osteotomy for developmental dysplasia of hip in young children: A series of 16 cases followed minimum 2 years. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;23:101669. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101669.
- Pozdnykin I.Yu., Baskov V.E., Voloshin S.Yu., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. et al. Errors of diagnosis and the initiation of conservative treatment in children with congenital hip dislocation. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2017;5(2):42-51. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS5242-51.

15. Aydin A., Kalali F., Yildiz V., Ezirmik N., Aydin P., Dostbil A. The results of Pemberton's pericapsular osteotomy in patients with developmental hip dysplasia. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2012;46(1): 35-41. doi: 10.3944/aott.2012.2613.
16. Malvitz T.A., Weinstein S.L. Closed reduction for congenital dysplasia of the hip. Functional and radiographic results after an average of thirty years. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76(12):1777-1792. doi: 10.2106/00004623-199412000-00004.
17. Baskov V.E., Kamosko M.M., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Y., Kozhevnikov V.V., Grigoriev I.V. et al. Transposition of the acetabulum after iliac ischial osteotomy in the treatment of hip dysplasia in infants. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2016;(2)4:5-11. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS425-11.
18. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Pliev D.G., Bogopolsky O.Y., Guatsaev M.S. Roentgenography Potentialities for Early Diagnosis of Hip Pathologies. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2017;23(1):117-131. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2017-23-1-117-131.
19. Czubak J., Kowalik K., Kawalec A., Kwiatkowska M. Dega pelvic osteotomy: indications, results and complications. *J Child Orthop.* 2018;12(4):342-348. doi: 10.1302/1863-2548.12.180091.
20. Badrinath R., Bomar J.D., Wenger D.R., Mubarak S.J., Upasani V.V. Comparing the Pemberton osteotomy and modified San Diego acetabuloplasty in developmental dysplasia of the hip. *J Child Orthop.* 2019;13(2):172-179. doi: 10.1302/1863-2548.13.190004.
21. Balioglu M.B., Öner A., Aykut Ü.S., Kaygusuz M.A. Mid term results of Pemberton pericapsular osteotomy. *Indian J Orthop.* 2015;49(4):418-424. doi: 10.4103/0019-5413.159627.
22. Dello Russo B., Candia Tapia J.G. Comparison Results between Patients with Developmental Hip Dysplasia Treated with Either Salter or Pemberton Osteotomy. *Ortho Res Online J.* 1(4). OPROJ.000519. 2017. doi: 10.31031/OPROJ.2017.01.000519. Available from: <https://crimsonpublishers.com/oproj/full-text/OPROJ.000519.php>.
23. Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Y., Kozhevnikov V.V. Salter vs Pemberton: Comparative Radiologic Analysis of Changes in the Acetabulum and Pelvis After Surgical Correction in Children with Hip Dysplasia. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(2):27-37. (In Russ). doi: 10.17816/2311-2905-1748.
24. Merckaert S.R., Zambelli P.Y., Edd S.N., Daniele S., Brigitte J. Mid- and long-term outcome of Salter's, Pemberton's and Dega's osteotomy for treatment of developmental dysplasia of the hip: a systematic review and meta-analysis. *Hip Int.* 2021;31(4): 444-455. doi: 10.1177/1120700020942866.
25. Gharanizadeh K., Bagherifard A., Abolghasemian M., Ahmadizadeh H., Vaziri Kordkandi Sh., Bayat Sh. Comparison of Pemberton Osteotomy and Kalamchi Modification of Salter Osteotomy in the Treatment of Developmental Dysplasia of the Hip. *J Res Orthop Sci.* 2020;7(4):169-174.
26. Ertürk C., Altay M.A., İşikan U.E. A radiological comparison of Salter and Pemberton osteotomies to improve acetabular deformations in developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop B.* 2013;22(6):527-532. doi: 10.1097/BPB.0b013e32836337cd.
27. Wang C.W., Wang T.M., Wu K.W., Huang S.C., Kuo K.N. The comparative, long-term effect of the Salter osteotomy and Pemberton acetabuloplasty on pelvic height, scoliosis and functional outcome. *Bone Joint J.* 2016;98-B(8):1145-1150. doi: 10.1302/0301-620X.98B8.37215.
28. Akhtyamov I.F., Sokolovsky O.A. Surgical Treatment of Hip Dysplasia. Kazan; 2008. 371 p. (In Russ).
29. Makushin V.D., Tyoplenky M.P. Roentgenological classification of the hip congenital dysplasia. *Orthopaedic Genius.* 2010;(2):103-108. (In Russ).
30. Graf R. Hip sonography: background; technique and common mistakes; results; debate and politics; challenges. *Hip Int.* 2017;27(3):215-219. doi: 10.5301/hipint.5000514.

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

Tamila V. Baskaeva

<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>

e-mail: tamila-baskaeva@mail.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. Pozdnykin — 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



Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study

Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch.

Sanjay Gandhi Institute of Trauma and Orthopaedics, Bengaluru, India

Background. The range of motion prior to total knee arthroplasty (TKA) is a key determinant of the postoperative range of motion. The chance that the accompanying stiffness of the extensor mechanism may lead to limited flexion following surgery increases with how restricted the preoperative range of motion was. It would make sense to enhance knee ROM before surgery in order to optimize flexion following TKA. Final flexion following TKA is affected by a number of factors, although preoperative range of motion is the most important.

The aim of the study – to evaluate the functional performance and efficacy of the preoperative exercise programme on the osteoarthritic knee during the exercise period, following arthroplasty, during immediate postoperative recovery, and at 1, 3, 6 and 12 months after surgery.

Methods. For the study, 156 patients with knee arthritis were collected over a period of one and a half years. In this prospective study, they were divided into a treatment group and a control group. Preoperative knee exercise was given to 78 patients for at least one month. Prior to and following the treatment group's workouts, all patients were observed. The time in days before reaching 90° of knee flexion and the length of the hospital stay were the data that were gathered. At 4 weeks, 3 months, 6 months, and 1 year, each subject had their knee ROM and KSS reevaluated.

Results. Knee workouts were unquestionably helpful in achieving early knee flexion up to 90° in comparison to that of the control group. When the treatment group was compared to the control group, knee flexion to about 90° and more was attained in about 4 weeks; this difference was statistically significant ($p < 0.01$). However, there were no appreciable variations in the knee range of motion achieved on long-term follow-up for 6 months and a year.

Conclusion. In conclusion, prehabilitation significantly improves the KSS for the treatment group both before surgery and three months after surgery. Exercises done before to surgery help patients recover more quickly from TKA and may speed up the process of achieving a good flexion and extension range of motion. However there is no significant difference in functional outcome after one year post surgery in both groups.

Keywords: osteoarthritis, prehabilitation exercise, functional outcome, TKA.

Cite as: Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch. Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):17-24. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2014>.

✉ *Surya Sri Karun Chintapalli*; e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Submitted: 25.10.2022. Accepted: 06.02.2023. Published Online: 22.02.2023.

© Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch., 2023



Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч.

Институт травматологии и ортопедии Санджая Ганди, г. Бангалор, Индия

Актуальность. Объем движений в коленном суставе перед тотальным эндопротезированием является основополагающим фактором, влияющим на функциональные результаты после операции. Чем больше выражена контрактура на фоне ригидности мышц разгибателей до вмешательства, тем выше риск возникновения ограничений сгибания в послеоперационном периоде. В связи с этим представляется целесообразным увеличить предоперационный объем движений для оптимальной работы мышц-сгибателей после выполнения тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС). Сгибание в коленном суставе после тотального эндопротезирования зависит от множества факторов, среди которых самым важным является объем движений в предоперационном периоде.

Цель исследования — оценить функциональные показатели и эффективность предоперационной программы упражнений при остеоартрозе коленного сустава во время их выполнения, в период послеоперационного восстановления после эндопротезирования, а также через 1, 3, 6 и 12 мес. после операции.

Материал и методы. За полтора года в исследование были включены 156 пациентов, получивших хирургическое лечение по поводу артроза коленного сустава. Они были поделены на 2 проспективные группы — основную и контрольную. Семидесяти восьми пациентам в предоперационном периоде проводились физические упражнения на протяжении минимум одного месяца. Все пациенты основной группы были осмотрены до начала физической подготовки к оперативному лечению и после ее завершения. Тотальное эндопротезирование коленного сустава было выполнено всем 156 пациентам. Оценка объема движений в суставе производилась через 4 нед., 3, 6 и 12 мес. после оперативного вмешательства. Был определен срок, за который пациенты смогли достичь полного разгибания и сгибания до 90° в коленном суставе.

Результаты. Пациенты основной группы, выполнявшие физические упражнения в предоперационном периоде, смогли достичь сгибания в коленном суставе под углом 90° раньше (приблизительно 4 нед.), чем пациенты контрольной группы. Разница в сроках между сравниваемыми группами была статистически значимой ($p < 0,01$). Разница в объеме движений в коленном суставе между пациентами обеих групп, отмеченная во время осмотров через 6 и 12 мес. после операции, была незначительной.

Заключение. Предреабилитация значительно улучшила показатели по шкале KSS у пациентов группы исследования как в предоперационном периоде, так и через 3 мес. после операции. Упражнения, выполняемые перед оперативным вмешательством, позволяют сократить сроки восстановления пациентов после ТЭКС и способствуют более быстрому достижению хороших функциональных результатов. Однако через год после операции статистически значимых различий в амплитуде сгибания и разгибания в коленных суставах у пациентов обеих групп отмечено не было.

Ключевые слова: остеоартроз коленного сустава, физические упражнения, функциональные результаты, тотальное эндопротезирование коленного сустава.

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Н., Сурья Шри Карун Ч. [Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование]. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):17-24. (Англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2014>.

Сурья Шри Карун Чинтапалли; e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Рукопись получена: 25.10.2022. Рукопись одобрена: 06.02.2023. Статья опубликована онлайн: 22.02.2023.

© Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч., 2023

INTRODUCTION

The most prevalent form of joint disease in the world, osteoarthritis (OA), has negative effects on musculoskeletal pain, disability, and socioeconomic expenses [1, 2, 3]. Osteoarthritis of the knee is associated with gradual decreases in strength, agility and reduced ability to perform daily chores [4, 5]. Initial medication is used to manage this condition, but it frequently worsens to the point that total knee arthroplasty (TKA) is the sole option for providing long-term pain relief [6]. Even while TKA surgery is excellent in relieving pain, it may still result in years of decreased leg strength [7, 8]. Older persons who have weak lower extremity muscles are more likely to fall and have decreased function [5]. People with knee OA show significantly reduced quadriceps strength relative to their unaffected leg or healthy age-matched controls [9, 10]. There has been mixed effectiveness with a variety of exercise regimens intended to increase leg strength and functional task performance in people prior to TKA [10, 11, 12].

Even with better surgical technique, postoperative physical therapy, and prosthetic design [13, 14], TKA rarely offers full range of motion (ROM) with flexion of more than 120. The majority of daily tasks can be comfortably carried out with a postoperative ROM of 100 to 120 [15]. Final flexion following TKA is affected by a number of factors, although preoperative range of motion is the most important [16, 17]. The chance that the accompanying stiffness of the extensor mechanism may lead to limited flexion following surgery increases with how restricted the preoperative range of motion was. It would make sense to enhance knee ROM before surgery in order to optimize flexion following TKA. A structured exercise programme intended to develop quadriceps and hamstring strength and endurance might cause even severely arthritic patients to respond within 4-6 weeks [18, 19]. Exercises can also improve balance and alleviate discomfort [20].

The aim of the study – to evaluate the functional performance and efficacy of the preoperative exercise programme on the osteoarthritic knee during the exercise period, during immediate postoperative recovery following arthroplasty, and at 1, 3, 6 and 12 months after surgery.

MATERIALS AND METHODS

Study design

The assessors in this prospective pilot randomized controlled research were blinded. Since participants had given informed consent to have joint arthroplasty, patient competence to consent was not explicitly assessed. The rights of the trial participants were maintained, and each patient gave written informed consent to take part.

One hundred fifty six non-inflammatory arthritis patients, aged 48 to 70, were enrolled in this prospective trial. They were randomly assigned to the treatment group or the control group.

Before TKA surgery, 78 patients (the treatment group) participated in a four-week home exercise regimen.

Prehabilitation exercises included resistance training, flexibility exercises, and quadriceps strengthening over the course of four weeks at home. The exercises were demonstrated to the patients, who had to perform them three times per day for four weeks.

Inclusion criteria

Non-inflammatory osteoarthritis with intentions for a primary unilateral TKA, moderate to severe pain in the afflicted knee, patient willing to volunteer to participate in the study by signing a consent form accepted by the ethical review committee, patient plans to be accessible for follow-up through 1 year postoperative, and good condition that allows safe participation in the preoperative home exercise programme were included.

Exclusion criteria

Patients with systemic inflammatory illness, or concurrent lower extremity abnormalities were excluded from the trial, as were patients who were unable to tolerate the preoperative and postoperative treatment programme. Patients were required to obtain an approval status from an internal medicine specialist, on which it should be noted that the patient has no medical conditions that would preclude them from undergoing surgery. BMI greater than 35, prior hip or knee replacement surgery, active local or systemic infection, high tibial osteotomy of the affected knee, flexion less than 80°, fixed flexion deformity greater than 20°, varus or valgus alignment greater than 10° unless correctable to under 10°, and most recently fractured upper or lower extremity were also excluded.

The patients who were included in the control group carried on as usual up until the procedure. During the baseline assessment, the treatment group's participants received individualized explanations of the exercises and completed one of them with the lead researcher. There was a regimen that was supposed to be followed at home for exercise.

The exercise plan was created to improve the soft tissues and muscle strength in the lower extremities. For four weeks, the subjects were required to complete the exercises at home. The exercises needed to be done without a physiotherapist's assistance.

The four-week therapy course was finished at the time of hospital admission the day before TKA

surgery. Just prior to surgery, participants in the treatment and control groups completed a second evaluation of knee range of motion and the KSS. Using a fixed bearing, cemented-retaining knee prosthesis while sacrificing the cruciate ligaments, a knee replacement procedure was carried out by anterior midline skin incision and medial parapatellar incision. All subjects underwent the same physiotherapy programme following surgery.

Outcome assessment

The time in days before reaching 90° of knee flexion and the length of the hospital stay were the data that were gathered. At 4 weeks, 3 months, 6 months, and 1 year, each subject had their knee ROM and KSS reevaluated.

The term «active knee flexion» refers to the maximum angle of knee flexion as measured using a goniometer when the patient is standing against a wall and the foot maintained parallel to the other leg. The passive knee flexion angle assessed with the patient resting supine on a table and knee flexion performed at the subject's muscle strength. In KSS the knee and patient function ratings are given distinct scores. Higher scores indicate greater knee and patient function.

Statistical analysis

Pearson's correlation was utilized as a bivariate measure. The Student t test was employed to compare variables throughout the statistical analysis, which was done using SPSS 20.0 (IBM® SPSS®). The statistical significance threshold was set at $p < 0.05$.

RESULTS

One hundred fifty six participants were used in the study, equally split into two groups: those who participated in a prehabilitation programme ($n = 78$; 20 men and 58 females) and those who did not ($n = 78$; 25 males and 53 females). Patients ranged in age from 48 to 70 years.

Although there were statistically significant gains in knee and functional scores over time in both groups (with prehabilitation programme and without prehabilitation programme), there were no statistically significant changes in BMI over time ($p > 0.05$). Both groups displayed comparable KSS levels (39.5 vs. 39.83) four weeks before surgery ($p = 0.8216$). The treatment group's KSS at baseline was 44.95, postoperative KS was 52.26, 1 month after surgery was 72.76, 3 months after surgery was 78.41, 6 months after surgery was 84.15, and after a year it was 86.77. The baseline KSS for the control group was 39.74, the postoperative KS was 47.15, the KSS at three months was 67.12, the KSS at six months was 83.05, and the KS at one year was 86.31.

After 4 weeks of training, the treatment group's passive and active flexion, extension, knee score, and patient function were significantly improved ($p < 0.001$). Patients in the treatment group achieved 90° of knee flexion on average 3.8 days (± 1.2) following surgery, but patients in the control group did not achieve this milestone until 4.03 days (± 1.5) following surgery. The treatment group's hospital stays were on average 4.1 days (± 1.5) and the control groups were 5.5 days (± 1.2). Exercise's impact on the knee score or patient function score, as determined by the KSS, was not supported by any data. When compared to the control group, the treatment group's extension range of motion was superior for the first 3 months, after which it remained the same in both research groups. With regular physiotherapy exercises, the range of motion advanced. After 4 weeks of rigorous physiotherapy, 12 patients with tight knees underwent manipulation under anesthesia. With time, the patient's knee and function scores improved, and they felt very at ease performing typical housekeeping tasks (Tab. 1, 2).

Figure 1 shows passive and active flexion and range of movements at different follow up.

Figure 2 shows graphical representation of KSS and patient function score at different follow-up.

Table 1

Knee scores for treatment and control group at different follow-up, mean (SD)

Group	Follow-up						
	4 weeks before surgery	Baseline	After surgery	1 m	3 m	6 m	12 m
Treatment	39.95 (3.195)	44.95 (3.195)	52.26 (1.607)	72.76 (7.838)	78.41 (5.241)	84.15 (5.643)	86.77 (3.486)
Control	39.83 (3.359)	39.74 (3.390)	47.15 (3.814)	67.12 (7.047)	75.32 (5.119)	83.05 (4.070)	86.31 (3.021)
p value	0.826	<0.001	<0.001	0.125	0.771	0.89	0.93

Table 2

Patient function scores for treatment and control group at different follow-up, mean (SD)

Group	Follow-up						
	4 weeks before surgery	Baseline	After surgery	1 m	3 m	6 m	12 m
Treatment	27.63 (5.625)	40.06 (3.558)	52.50 (5.568)	72.44 (2.414)	77.44 (2.463)	83.13 (2.486)	88.21 (2.503)
Control	27.24 (5.847)	27.56 (5.962)	47.69 (5.565)	68.31 (66.34)	76.99 (73.16)	82.12 (2.486)	87.24 (2.503)
p value	0.676	<0.001	<0.001	0.097	0.87	0.813	0.977



Fig. 1. Passive (a) and active (b) knee flexion for treatment and control groups at different follow-up

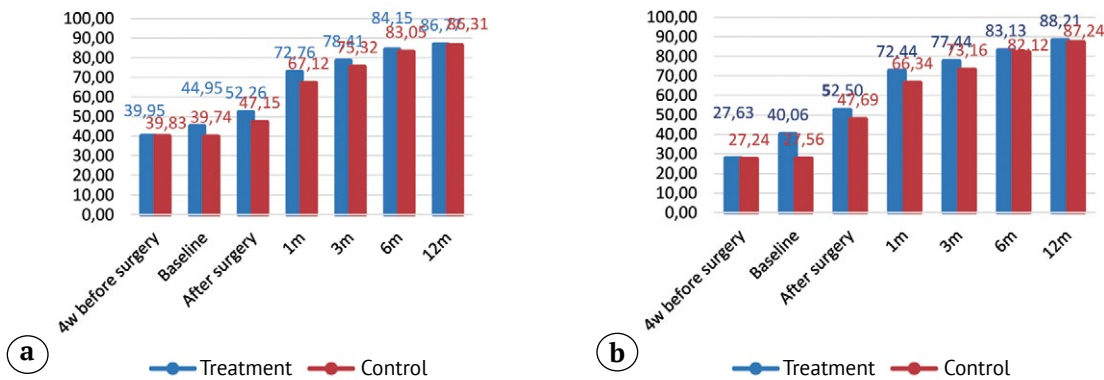


Fig. 2. Graphical representation of KSS (a) and patient function score (b) for treatment and control groups at different follow-up

DISCUSSION

In a randomized controlled experiment with 131 participants, L. Beaupre et al. published the findings of their preoperative exercise and education programme in 2004. Following the intervention programme or at any postoperative measurement point, there were no differences between the two groups in terms of knee measures (ROM and strength), pain, or function. Compared to the control group, patients in the treatment group required fewer postoperative rehabilitation services and were hospitalized for shorter periods of time, but these differences failed to reach statistical significance. Prior to surgery, patients in the treatment group participated in a four-week fitness and education programme. The aim of the exercise programme was to increase knee strength and mobility with straightforward exercises that were similar to those found in the postsurgical exercise programme. Exercises that build muscle and are isotonic were not added. This could be the cause of the stagnant increase in range of motion [21].

According to the results of his study, J.A. Rodgers found that physical therapy did not affect extension strength but did result in moderate increases in isokinetic flexion strength in these highly arthritic knees. Preoperative physical therapy had no impact on the postoperative decline in isokinetic strength. This study did not demonstrate any benefit from preoperative physical therapy before doing knee replacement surgery [22].

Prehabilitation improved the treatment group's leg strength and functional task performance as compared to the control group prior to TKA, according to the findings of A.M. Swank et al. Prehabilitation for a brief period of time (four to eight weeks) helped those with severe OA gain more strength and function [23].

The results of a study by C. McKay et al. showed that the intervention increased quadriceps strength,

walking speed, and mental health prior to TKA in a way that was clinically significant. In the 12 weeks following surgery, it did not provide patients with any long-term benefits [24].

According to R. Topp et al. exercisers engaged in prehabilitation activities including resistance training and flexibility. The results appeared to corroborate the idea of prehabilitation and show the effectiveness of prehabilitation among TKA patients [25].

F. Matassi et al. also stressed that exercise programs improve knee motion in the presence of arthritis in their study, Range of motion following total knee arthroplasty: the influence of a preoperative home exercise programme. Exercises for the arthritic knee before surgery aid in the quick recovery after primary TKA [26].

The key result of the current study was that a preoperative home exercise regimen improves TKA recovery. The current study supports earlier findings that patients with degenerative knee problems can benefit from a balanced exercise regimen in terms of improved mobility and function.

CONCLUSION

Patients' mobility and function may benefit from an exercise regimen. Our research demonstrates a statistically significant difference between the treatment and control groups for KSS and patient function score. Following the prehabilitation therapy, KSS and patient function score increased. In conclusion, prehabilitation significantly improves the KSS for the intervention group both before surgery and three months after surgery. Exercises done before to surgery help patients recover more quickly from TKA and may speed up the process of achieving a good flexion and extension range of motion. It can help patients stretch their knees to 90° earlier. After one month of being out of the hospital and up to one year following surgery, there is no persistent postoperative effect.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pavith Janardhan T. — conception and design of study; acquisition, analysis and interpretation of data.

Pothuri Rishi Ram — acquisition of data, drafting the manuscript.

Praveen Narayan — analysis and interpretation of data.

Surya Sri Karun Ch. — drafting 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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Павит Джанардан Т. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных.

Потури Риши Рам — сбор данных, написание текста статьи.

Правин Нараян — анализ и интерпретация данных.

Сурья Шри Карун Ч. — написание текста.

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.

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee at the Sanjay Gandhi Institute of Trauma and Orthopaedics.

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

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

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при Институте травматологии и ортопедии Санджая Ганди.

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

REFERENCES

- Calatayud J., Casaña J., Ezzatvar Y., Jakobsen M.D., Sundstrup E., Andersen L.L. High-intensity preoperative training improves physical and functional recovery in the early post-operative periods after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(9):2864-2872. doi: 10.1007/s00167-016-3985-5.
- Allen K.D., Golightly Y.M. State of the evidence. *Curr Opin Rheumatol.* 2015;27(3):276-283. doi: 10.1097/BOR.0000000000000161.
- Glyn-Jones S., Palmer A.J.R., Agricola R., Price A.J., Vincent T.L., Weinans H. et al. Osteoarthritis. *Lancet.* 2015; 386(9991):376-387. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60802-3.
- Creamer P. Current perspectives on the clinical presentation of joint pain in human OA. *Novartis Found Symp.* 2004;260:64-74; discussion 74-78, 100-104, 277-279.
- Kamel H.K. Sarcopenia and aging. *Nutr Rev.* 2003;61 (5 Pt 1):157-67. doi: 10.1301/nr.2003.may.157-167.
- Hawker G.A., Guan J., Croxford R., Coyte P.C., Glazier R.H., Harvey B.J. et al. A prospective population-based study of the predictors of undergoing total joint arthroplasty. *Arthritis Rheum.* 2006;54(10):3212-3220. doi: 10.1002/art.22146.
- Hsu R.W., Tsai Y.H., Huang T.J. Hybrid total knee arthroplasty: A 3- to 6-year outcome analysis. *J Formos Med Assoc.* 1998;97(6):410-415.
- Stevens J.E., Mizner R.L., Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and volitional activation before and after total knee arthroplasty for osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2003;21(5):775-779. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00052-4.
- Lewek M.D., Rudolph K.S., Snyder-Mackler L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in individuals with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2004;22(1):110-115. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00154-2.
- Mizner R.L., Petterson S.C., Stevens J.E., Axe M.J., Snyder-Mackler L. Preoperative quadriceps strength predicts functional ability one year after total knee arthroplasty. *J Rheumatol.* 2005;32(8):1533-1539.
- Beaupre L.A., Lier D., Davies D.M., Johnston D.B. The effect of a preoperative exercise and education program on functional recovery, health related quality of life, and health service utilization following primary total knee arthroplasty. *J Rheumatol.* 2004;31(6):1166-1173.
- D'Lima D.D., Colwell C.W. Jr, Morris B.A., Hardwick M.E., Kozin F. The effect of preoperative exercise on total knee replacement outcomes. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(326):174-182. doi: 10.1097/00003086-199605000-00020
- Akagi M., Nakamura T., Matsusue Y., Ueo T., Nishijyo K., Ohnishi E. The bisurface total knee replacement: a unique design for flexion: four-to-nine year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(11):1626-1633. doi: 10.2106/00004623-200011000-00017.
- Ranawat C.S. Design may be counterproductive for optimizing flexion after TKR. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(416):174-176. doi: 10.1097/01.blo.0000093028.56370.46.
- Laubenthal K.N., Smidt G.L., Kettelkamp D.B. A quantitative analysis of knee motion during activities of daily living. *Phys Ther.* 1972;52(1):34-43. doi: 10.1093/ptj/52.1.34.
- Parsley B.S., Engh G.A., Dwyer K.A. Preoperative flexion: does it influence postoperative flexion after posterior cruciate retaining total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(275):204-210.
- Ritter M.A., Harty L.D., Davis K.E., Meding J.B., Berend M.E. Predicting range of motion after total knee arthroplasty: clustering, log-linear regression and regression tree analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(7): 1278-1285. doi: 10.2106/00004623-200307000-00014.
- Kovar P.A., Allegrante J.P., MacKenzie C.R., Peterson M.G., Gutin B., Charlson M.E. Supervised fitness walking in patients with osteoarthritis of the knee. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 1992;116(7):529-534. doi: 10.7326/0003-4819-116-7-529.
- Marks R. The effect of isometric quadriceps strength training in mid-range for osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care Res.* 1993;6(1):52-56. doi: 10.1002/art.1790060110.
- Ettinger W.H., Burns R., Messier S.P., Applegate W., Rejeski W.J., Morgan T. et al. A randomized trial comparing aerobic exercise and resistance exercise with a health education programme in older adults with knee osteoarthritis. The fitness arthritis and senior trial (FAST). *JAMA.* 1997;277(1):25-31.
- Beaupre L., Davies D.M., Johnston D.B. The effect of a preoperative exercise and education program on functional recovery, health related quality of life, and health service utilization following primary TKA. *J Rheumatol.* 2004;31(6):1166-1173.
- Rodgers J.A., Garvin K.L., Walker C.W., Morford D., Urban J., Bedard J. Preoperative physical therapy in primary TKA. *J Arthroplasty.* 1998;13(4):414-421. doi: 10.1016/s0883-5403(98)90007-9.
- Swank A.M., Kachelman J.B., Bibeau W., Quesada P.M., Nyland J., Malkani A. et al. Prehabilitation before total knee arthroplasty increases strength and function in older adults with severe osteoarthritis. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):318-325. doi: 10.1519/JSC.0b013e318202e431.

24. McKay C., Prapavessis H., Doherty T. The effect of a prehabilitation exercise program on quadriceps strength for patients undergoing total knee arthroplasty: a randomized controlled pilot study. *PM R*. 2012;4(9):647-656. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.04.012.
25. Topp R., Swank A.M., Quesada P.M., Nyland J, Malkani A. The effect of prehabilitation exercise on strength and functioning after total knee arthroplasty. *PM R*. 2009;1(8):729-735. doi: 10.1016/j.pmrj.2009.06.003.
26. Matassi F., Duerinckx J., Vandenneucker H., Bellemans J. Range of motion after total knee arthroplasty: the effect of a preoperative home exercise program. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(3):703-709. doi: 10.1007/s00167-012-2349-z.

Authors' information

✉ *Surya Sri Karun Chintapalli*

Address: 1st Block, Byrasandra, Jayanagar East, Bangalore 560 011

<https://orcid.org/0000-0002-8062-4758>

e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Pavith Janardhan T.

<https://orcid.org/0000-0002-0591-9994>

e-mail: pavithjanardhan2301@gmail.com

Pothuri Rishi Ram

<https://orcid.org/0000-0003-0190-1612>

e-mail: rishiram.p@gmail.com

Praveen Narayan

<https://orcid.org/0000-0002-9973-3460>

e-mail: dr.praveennarayan@gmail.com

Сведения об авторах

✉ *Сурья Шри Карун Чинтапалли*

Адрес: Бангалор, Индия, Бирасандра, Восточный Джаянагар, 560 011

<https://orcid.org/0000-0002-8062-4758>

e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Павит Джанардан Т.

<https://orcid.org/0000-0002-0591-9994>

e-mail: pavithjanardhan2301@gmail.com

Потури Риши Рам

<https://orcid.org/0000-0003-0190-1612>

e-mail: rishiram.p@gmail.com

Правин Нараян

<https://orcid.org/0000-0002-9973-3460>

e-mail: dr.praveennarayan@gmail.com



Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study

Ivan M. Shcherbakov, Elena S. Klimashina, Pavel V. Evdokimov, Andrei A. Tikhonov, Valerii I. Putlayev, Georgii A. Shipunov, Vladislav A. Zatsepin, Vadim E. Dubrov, Natal'ia V. Danilova, Pavel G. Malkov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Background. The problem of bone defects replacement is relevant nowadays, that is why many scientists create new synthetic bone substitutes, but the «ideal» material has not been found so far.

The aims of the study: 1) to determine the suitability of the monocortical defect model in the rat femur diaphysis with additional prophylactic reinforcement with a bone plate for assessing the biological properties of implanted materials using the commercially available ChronOS® material as an example; 2) to assess of the osteoconductive properties of composite materials based on poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with architecture Kelvin and gyroid types on the developed model.

Methods. A prospective study, level of evidence II. A monocortical defect of the rat femoral diaphysis (length 7 mm) was produced under anaesthesia in aseptic conditions and fixed with a polyetheretherketone plate and six titanium screws. In the control group, the defect was left empty. In other groups, blocks of one of three materials were implanted — chronOS and composites of poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with 3D-printed Kelvin and gyroid architectures. After 3 and 6 weeks, the rats were sacrificed, and histological examination of the defect zone was performed. The amount of newly formed bone tissue was histometrically assessed, followed by statistical processing of the results.

Results. All rats have reached the planned endpoint, and there were no infectious complications or loss of fixation. Histological examination of the defect zone revealed minimal bone growth in the Control group, rather slow bone formation in the Gyroid group, and statistically significantly more pronounced bone formation in the pores of the materials in the Kelvin and Chronos groups.

Conclusions. Bone defect in this model was not spontaneously filled with bone tissue and allowed us to study the biological properties of bone substitutes (the ability to biodegrade and osteoconductive properties). The osteoconductive properties of a composite material based on poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with a Kelvin architecture are higher than with a gyroid architecture and are comparable to that of the chronOS.

Keywords: bone repair, critical-size defect, hydrogel, bone substitutes, 3D-printing.

Cite as: Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G. Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):25-35. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2039>.

✉ Ivan M. Shcherbakov; e-mail: imscherbackov@yandex.ru

Submitted: 21.12.2022. Accepted: 03.03.2023. Published: 14.03.2023.

© Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G., 2023



Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование

И.М. Шербаков, Е.С. Климашина, П.В. Евдокимов, А.А. Тихонов, В.И. Путляев, Г.А. Шипунов, В.А. Зацепин, В.Э. Дубров, Н.В. Данилова, П.Г. Мальков

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия

Актуальность. Проблема замещения дефектов кости актуальна в настоящее время, постоянно ведутся поиски новых синтетических костнозамещающих материалов, однако идеальный материал не найден до сих пор.

Цели исследования: 1) определение пригодности модели монокортикального дефекта диафиза бедренной кости крысы с дополнительным профилактическим армированием при помощи на костной пластине для оценки биологических свойств имплантируемых материалов на примере коммерчески доступного материала chronOS®; 2) оценка osteoconductive свойств композитных материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина и типа гирийд на разработанной модели.

Материал и методы. Монокортикальный дефект диафиза бедренной кости крыс размером 7 мм в длину производили под наркозом в асептических условиях операционной и фиксировали полиэфирэфиркетоновой пластиной и шестью титановыми винтами. Крыс распределяли случайным образом на четыре группы по 12 особей в каждой. В группе «Контроль» у животных костный дефект не заполняли. У животных в группе «Хронос» дефект заполняли подготовленным материалом chronOS® в виде полуцилиндрического блока, в группе «Кельвин» — исследуемым материалом с архитектурой Кельвина, в группе «Гирийд» — исследуемым материалом с архитектурой типа гирийд. Через 3 и 6 нед. крыс выводили из эксперимента и производили гистологическое исследование зоны дефекта. Затем выполняли гистометрическую оценку количества новообразованной костной ткани с последующей статистической обработкой результатов.

Результаты. В ходе эксперимента все животные достигли планируемой конечной точки, инфекционные осложнения и потеря фиксации зафиксированы не были. При гистологическом исследовании зоны дефекта выявлен минимальный рост кости в группе «Контроль», достаточно медленное образование кости в материале группы «Гирийд» и статистически значимо более выраженное образование костной ткани в порах материалов в группах «Кельвин» и «Хронос».

Заключение. Разработанная модель дефекта кости спонтанно не заполняется костной тканью и позволяет проводить изучение биологических свойств костнопластических материалов (способность к биодеградации и osteoconductive свойства). Osteoconductive свойства композитного материала на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина выше, чем с архитектурой типа гирийд, и сопоставимы с таковыми у материала chronOS.

Ключевые слова: регенерация костной ткани, критический дефект, гидрогель, костнозамещающие материалы, 3D-печать.

Шербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г. Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1): 25-35. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2039>.

Шербаков Иван Михайлович; e-mail: imscherbackov@yandex.ru

Рукопись получена: 21.12.2022. Рукопись одобрена: 03.03.2023. Статья опубликована: 14.03.2023.

© Шербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г., 2023

BACKGROUND

Development of new artificial bone substitute materials is rather relevant due to the high need for them, but so far, no universal material meeting all clinical requirements, nor a set of medications with clear indications for application in various situations have been created [1, 2, 3, 4]. Advances in materials sciences allow to develop a large number of compounds and composites with probable clinical properties (biodegradability with a given rate, osteoconductivity, osteoinductivity and osteogenicity). However, it is impossible to confirm or refute the presence of such properties only theoretically, without performing studies on animal models [5, 6, 7].

One of the promising directions in materials science is the development of bone substitute implants with three-dimensional pore architecture, which allows to improve the osteoconductive properties while maintaining the strength characteristics [8, 9, 10]. One of the possible materials for filling bone defects can be hydrogel-based composites with addition of calcium phosphates with the Ca/P < 1.5 weight ratio (e.g., octacalcium phosphate (OCP) with the chemical formula $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), which have a higher resorption rate compared to hydroxyapatite and tricalcium phosphate [11, 12]. An increase of osteoconductive properties is typical for structures with a cohesive-porous architecture and a fraction of voids more than 75% of the volume [13]. But such parameters pose the problem of determining their optimal spatial arrangement without losing the mechanical strength of the whole system. One of the possible ways to solve this problem can be the application of modern methods of topological optimization [14, 15, 16]. Good combination of mechanical properties and physical permeability in calculations are shown by the Kelvin and gyroid-type architectures, but the actual advantages of each of them require experimental verification [17, 18].

Aims of the study:

1) determination of applicability of the rat monocortical femoral diaphyseal defect model with additional prophylactic reinforcement by plate to assess the biological properties of im-

plantable materials with the use of commercially available ChronOS® material as an example; 2) evaluation of osteoconductive properties of composite materials based on polyethylene glycol diacrylate and OCP with Kelvin and gyroid-type architecture on the designed model.

METHODS

Materials

The new-generation bioresorbable macroporous 3D constructs under study represent a hydrogel composite filled with calcium phosphate particles. A polyethylene glycol diacrylate (PEG DA) hydrogel was used as the matrix of the composite. OCP was used as the second phase of the composite — $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Photopolymerizable suspensions based on PEG DA, OCP, water and photoinitiator were used for the synthesis of hydrogel composites according to the procedure described in our previous article [19]. Stereolithographic 3D printing using an Ember DLP printer (Autodesk, USA) was chosen to form the above-mentioned constructs. Three-dimensional models of the structures were created using Monolith (Autodesk, USA) and Fusion 360 (Autodesk, USA) computer programs.

Total porosity of the created materials was about 70% of the volume, the main channels are 1250 μm in size and the transitions between them are 750 μm, which provides the maximum permeability of these architectures. During the process of computer-aided design, 3D models with Kelvin and gyroid-type structures were selected to achieve the aim of the study (Fig. 1) [17, 19].

The Kelvin structure is a close packing of truncated octahedrons with pass-through channels perpendicular to each face. The gyroid-type structure is a minimal periodic surface [20].

A widely used fully synthetic ceramic material based on $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (tricalcium phosphate) ChronOS® (DePuy Synthes, Johnson & Johnson, Switzerland), which chaotic porosity is formed by uncontrolled foaming and solidification of the initial material in industrial conditions, was used as a comparison material. The total porosity of this material is approximately 55% of volume, the size of the main pores is 300 μm and the transitions between them are 50 μm.

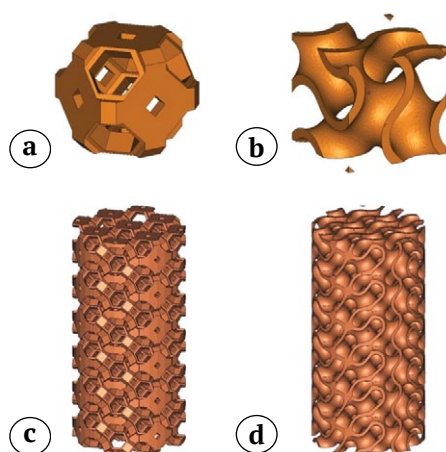


Fig. 1. Isometric projection of computer models of three-dimensional structures with different architectures: a – an elementary cell of a Kelvin type structure; b – an elementary cell of a Gyroid type structure; c – a cylindrical structure with a Kelvin type architecture; d – a cylindrical structure with a Gyroid type architecture

Animals

The study was performed on 53 male *Rattus norvegicus* Wistar rats aged 25-30 weeks from the Research Equipment Sharing Center "SPF-vivarium" of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Animals were kept in the vivarium in cages, 3 animals in each. Access to water and food was ad libitum.

Experiment design, surgical procedure, laboratory tests

Type of the study – prospective, evidence level II.

To induce anesthesia in animals, 6.25/6.25 mg/kg of Zoletil 50 (Zoletil, Virbac Sante Animale, France) and 4 mg/kg of Xyla (Xyla, Interchemie werken "De Adelaar B.V.", Netherlands) were injected intraperitoneally.

In aseptic conditions of the operating room, after reaching the surgical stage of anesthesia, the rat was positioned on the right side on the surgery table. Surgical area was cleared of hair and a 6.0-cm skin incision was made in the projection of the femur. Then, using sharp and blunt tissue dissection, we made an approach to the femur along the

lateral intermuscular septum. After performing the approach in the middle third of the diaphysis of the femur, a semicylindrical defect of 7 mm length and 4 mm radius was created along the dorsal surface with a diamond-coated conical burr 2.3 mm in diameter using a Marathon-N2 machine (Saeyang Microtech, Republic of Korea) (Fig. 2 a).

Rats were randomly allocated into four groups of 12 animals in each. In the "Control" group of animals the bone defect was not filled. In the "Chronos" group the defect was filled with the prepared ChronOS® material in the form of a semi-cylindrical block, in the "Kelvin" group – with the studied material with Kelvin architecture, in the "Gyroid" group – with the studied material with gyroid-type architecture.

The bone was reinforced with a 30.0×4.0×4.5 mm polyetheretherketone plate. It was placed on the posterolateral surface of the femur and fixed with 6 titanium screws 1.2 mm in diameter and 10 mm long (Konmet, Russia), 3 screws on each side of the defect (Fig. 2 b). After fixation, the wound was sutured layer-by-layer, no dressings were applied, and no immobilization was used. The average duration of surgery was 39±8 min (23 to 54 min). Blood loss did not exceed 1.0 ml.

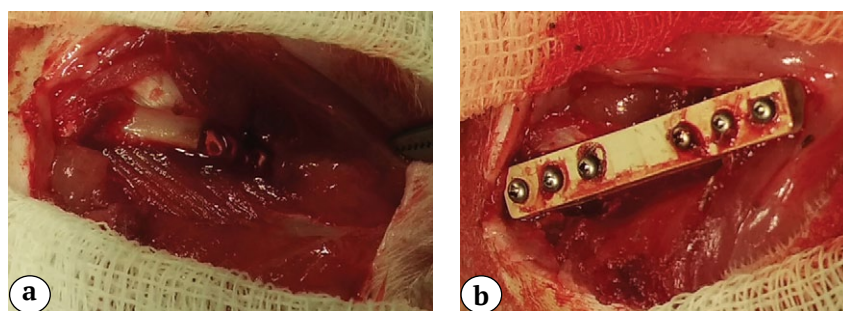


Fig. 2. The view of surgical wound: a – bone defect with implanted material; b – bone augmentation by plate and screws

Three and six weeks after the surgery, the animals were withdrawn from the experiment according to the standard procedure using a CO₂ chamber with subsequent material sampling (femur segment with a defect) for histological examination.

The samples were fixed in 10% neutral buffered formalin for 24–48 h. After this time, the materials were decalcified in 25% neutral Trilon B solution at room temperature on an Orbital Shaker OS20 machine (Biosan, Latvia). After decalcification according to the standard procedure, the materials were washed in distilled water. Then histological processing and embedding were performed. Next, we made 3–4 µm thick cross sections of paraffin blocks and stained them with hematoxylin and eosin.

Histometric analysis

Blind histometric analysis was performed to evaluate the results. Images of histological specimens were obtained using a Leica DM LB2 light microscope (Carl Zeiss, Germany) and an AxioCam ICc3 digital camera (Carl Zeiss, Germany). Digitized images were converted to JPEG format. Histometric evaluation was performed using Fiji program [21] at 20x magnification with measurement of the area of newly-formed bone tissue in the material lacunae in mm². Newly-formed bone tissue was identified by its specific structure and staining. We took into account the areas that were not connected with the endosteum or cortical bone in order to avoid the inclusion of overgrowths. For each sample, a calculation was performed on three specimens, giving a total of 18 values for each group (only for "Chronos 3 weeks" and "Control 6 weeks" groups – 15 values).

Statistical analysis

The results of each group were presented as mean, maximum and minimum values. Nonparametric Kruskal-Wallis test was used to determine the statistical significance of differences. It was calculated separately for the groups with withdrawal periods of 3 and 6 weeks using StatSoft Statistica 10.0 software (2011).

RESULTS

During the experiment, 2 animals died from anesthesia-related complications. Four animals underwent iatrogenic femoral fracture in the area of the defect during the surgery, and therefore euthanasia was performed using a CO₂ chamber. One animal from the "Chronos" group (No. 12) had a postoperative wound dehiscence with a large soft tissue defect the next day after the surgery due to aggression of its cage neighbors. As a result, euthanasia was performed for ethical reasons. The rest of the animals underwent surgical intervention, survived and were withdrawn from the experiment without any peculiarities.

Animals' body weight increased during observation. The average weight of the rats at the time of enrollment in the experiment was 347 g, at the time of withdrawal 3 weeks later was 398 g, 6 weeks later – 445 g. No significant difference between the groups concerning the weight and the weight gain was observed.

No changes in animals' behavior during the experiment were observed. In the postoperative period, all animals moved on four legs without restrictions. Postoperative wounds healed with primary intention in all animals. No external signs of infectious complications were recorded. There were also no signs of purulence, damage or migration of fixators, or bone fractures during the sampling and examination of the implantation area.

The defect area in the "Control" group was filled on the histological sections with granulation connective tissue. No formation of bone tissue trabeculae not associated with the endosteum was observed neither 3 nor 6 weeks later, that allows us to consider this defect as critical (Fig. 3).

In the "Chronos" group, all the specimens showed a transverse section of rectangular-shaped material, the external linear dimensions of which did not change 3 and 6 weeks later. Inorganic base of the block was identified as fields of cellular pale gray structure containing no cellular or fibrous elements. Almost all blocks were surrounded outside by a thin layer of granulation connective tissue, and no marked inflammatory reaction (large number of polymorphonuclear neutrophils, macrophages or giant cells of foreign bodies) was noted 3 and 6 weeks later.

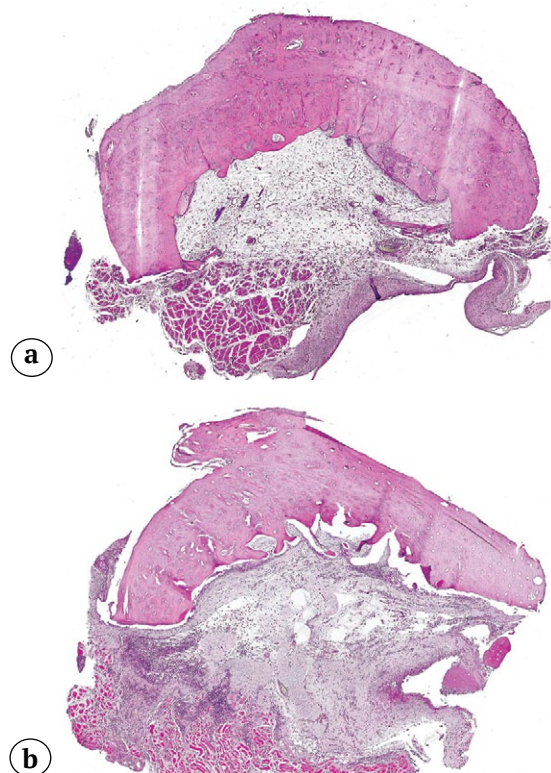


Fig. 3. The cross sections of femur at the defect level (Control group):

a – after 3 weeks; b – after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 20$

Connective tissue ingrowth with cellular elements and vessels into the pores throughout the entire thickness of the material with bone trabecular formation in the periphery of the block (25-35 trabeculae per section on average) was observed in 3 weeks. In 6 weeks, bone trabecular formation in the pores throughout the entire material was observed (Fig. 4).

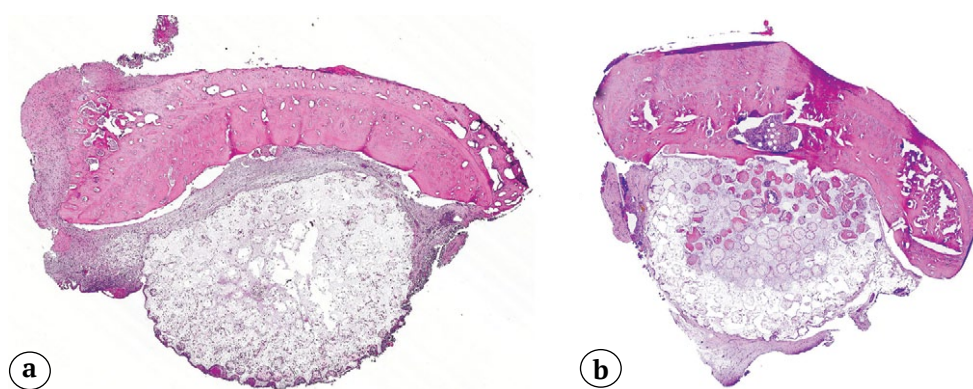


Fig. 4. The cross sections of femur at the defect level (Chronos group):

a – after 3 weeks; b – after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 20$

In the "Gyroid" group, the continuous presence of rounded cavities repeating the outlines of the implanted material blocks, which contained brown-red colored structures without cellular elements and fibers of various irregular shapes with the presence of permanent ribbon structure elements (Fig. 5) was noticed on the histological sections. These ribbon structures were considered to be residues of the hydrogel used to produce the blocks of material. Histological specimens showed complete filling of the material pores with granulation connective tissue and bone trabeculae formation 3 weeks after implantation. However, 6 weeks after implantation, the area of the newly-formed bone was smaller than that in the "Chronos" and "Kelvin" groups. At the same time, the material itself and its structure could be seen on the specimens of that time with great difficulty.

In the "Kelvin" group, the histological specimens also revealed the zones of rounded voids following the contours of the implanted material blocks and containing smaller brown-red colored structures without cellular elements and fibers (Fig. 6). The shape of these voids differs from those in the specimens with implanted material with gyroid-type architecture. Osteoconductive properties of material with the Kelvin architecture were better expressed, as evidenced by the greater mass of bone tissue around the material and in its pores. Compared to the histological specimens of the "Chronos" group, the areas of bone tissue were larger and followed the pore architecture of material.

The results of calculating the area of the newly-formed bone tissue in all groups are presented in Table 1.

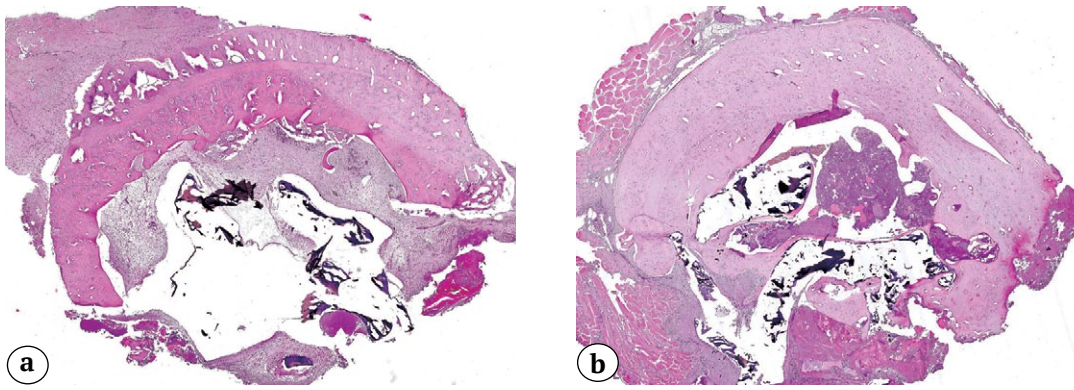


Fig. 5. The cross sections of femur at the defect level (Gyroid group):
a – after 3 weeks; b – 6 after weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×20

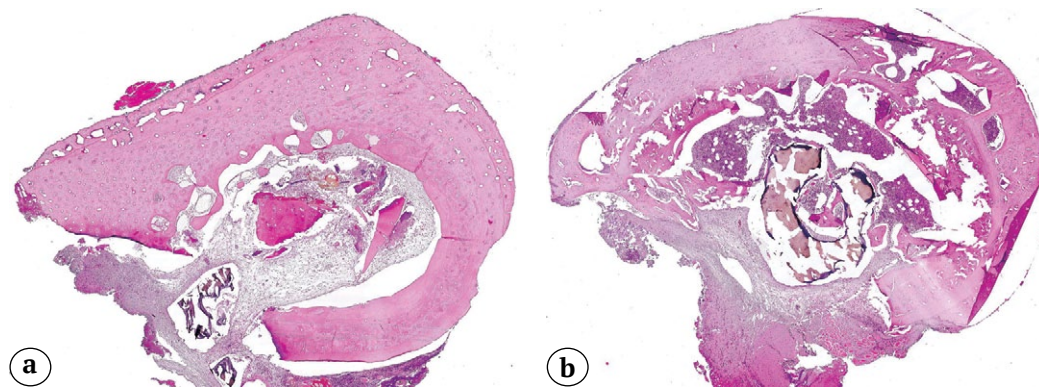


Fig. 6. The cross sections of femur at the defect level (Kelvin group):
a – after 3 weeks; b – after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×20

Table 1

Results of calculating the area of the newly-formed bone tissue in all groups

Group	Observation period, weeks	The area of the newly-formed bone tissue, mm ²		
		Average value	Min. value	Max. value
«Control»	3	0.0515	0	0.7070
	6	0.1462	0	0.8350
«Chronos»	3	0.3694	0.0920	0.7760
	6	1.1686	0.1570	3.1230
«Kelvin»	3	0.9107	0	1.8270
	6	1.2650	0.0870	2.9780
«Gyroid»	3	0.0497	0	0.6060
	6	0.0853	0	0.6710

The differences between the groups in the area of the newly-formed bone tissue were statistically significant in both cases — 3 weeks (Kruskal-Wallis H-criterion is 57.4399, which corresponds to $p < 0.01$) and 6 weeks after implantation (Kruskal-Wallis H-criterion is 38.4702, which corresponds to $p < 0.01$).

DISCUSSION

Various models are used to study the biological properties of materials *in vivo*, both in terms of the animal choice (mice [22], rats [23, 24, 25, 26, 27], rabbits [28], dogs [29]), and in terms of the implantation technique. It is obvious that the defect must be critical to study the properties of materials, i.e., it must not have the possibility of spontaneous replacement. Otherwise, the presence of material will even decelerate the replacement by bone tissue and reflect only the rate of its biodegradation.

Critical defects described in the literature can be conventionally divided into two types. The first type includes the defects that due to their stability do not require additional augmentation preventing pathological fractures of the operated bone (rounded burr cranial defects [25, 30, 31], rounded burr defects of the femoral and tibial epiphyses [28]). The second type includes the defects requiring stabilization due to the high risk of bone fractures under normal loading — complete segmental defects of the femur, fixed with a nail [22], plate [32] or external fixator [33].

It is technically easier to perform studies on the defects without augmentation, however, such defects are less relevant to real clinical cases in terms of their biological properties. The study of segmental diaphyseal defects is dictated by the clinical request to restore the length of a limb shortened for various reasons without the use of long-term distraction osteogenesis techniques or extremely difficult transfers of vascularized bone grafts. But these models are technically difficult to be implemented and may not be suitable as screening models. In the present study, we used a model of a monocortical defect of the femoral diaphysis with plate and screw fixation. This choice was determined by the necessity of combining a critical diaphyseal bone defect with reliable fixation of the material in the defect and ensuring the possibility of adequate locomotion of the animal during the observation period without increasing the risk of fixator and bone fracture.

The suggested model of defect creation showed its capabilities as indicated by the absence of infectious and mechanical complications during the observation period of up to 6 weeks under the conditions of preserved locomotor function in rats. Among the advantages of this model over other fixation methods are fixator placement in the tissues and the absence of external fixator elements that can potentially injure the animal itself or its cage neighbors [33]. The proposed model differs from the intramedullary fixator in the fact that the medullary canal is free of fixator and there is no need to place the material near the bone, which brings our model closer to the clinical case [22]. Simplicity of surgical technique and possibility of reliable material fixation in the defect area due to the congruence of shapes and plate pressing distinguish our model from the complete defect [32].

The present study showed that the monocortical defect, like the complete one, was critical, as indicated by the absence of spontaneous bone tissue replacement of the resected area within 6 weeks. In addition, the proposed biological model is suitable for the study of potential bone substitute materials, as evidenced by the marked infiltration of the ChronOS® material with proven osteoconductive properties by the bone tissue.

The second objective of our study was to determine the effect of two types of three-dimensional material architecture on the osteoconductive properties of OCP-loaded hydrogels based on polyethylene glycol diacrylate. The impact of the porous material structure on bone ingrowth has been described in the literature [18]. The results of the study suggest that in terms of osteoconductive properties, Kelvin architecture is superior to gyroid-type architecture in PEG DA-based composites. One of the reasons for this may be the biological interaction of tissues with three-dimensional pores, resulting in triggering of certain mechanotransductive signals and the orientation of precursor cell differentiation along the osteoblast pathway, which is better expressed in the Kelvin structure. Additional causes may be more rapid degradation and loss of strength of the mechanical structure, which made it difficult to form a new bone at a later period. In terms of properties, this was probably comparable to the conditions in the defect of the "Control" group.

CONCLUSION

The developed bone defect model is critical and enables to study biological properties of osteoplastic materials (biodegradability and osteoconductive properties). Osteoconductive properties of the composite material based on polyethylene glycol diacrylate and octacalcium phosphate with Kelvin architecture are higher than those of the gyroid type.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shcherbakov I.M. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the draft, statistical analysis.

Klimashina E.S. — concept and design of the study, collection and processing of material, text editing.

Evdokimov P.V. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the draft.

Tikhonov A.A. — collection and processing of material, text editing.

Putlayev V.I. — concept and design of the study, collection and processing of material, text editing.

Shipunov G.A. — collection and processing of material.

Zatsepin V.A. — collection and processing of material.

Dubrov V.E. — concept and design of the study, text editing.

Danilova N.V. — collection and processing of material, writing the draft.

Malkov P.G. — collection and processing of material, text editing.

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. The study was supported by the Russian Science Foundation (Grant No 17-79-20427).

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

Ethics approval. The study was approved by the local Ethics Committee of the Lomonosov Moscow State University (protocol No 82-zh, 25.10.2018). The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Karyakin N.N., Gorbatov R.O., Novikov A.E., Niftullaev R.M. Surgical treatment of patients with tumors of long bones of upper limbs using tailored 3D printed bone substitute implants. *Orthopaedic Genius*. 2017;23(3):323-330. (In Russ). doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-3-323-330.
2. Kasyanova E.S., Kopelev P.V., Alexandrova S.A. Analysis of the viability of bone marrow mesenchymal stromal cells cultivated on osteoreplacement material BIOSIT-SR ELCOR after surface modification by collagen type I. *Bulletin of Innovative Technologies*. 2018;2(3(7)):32-37. (In Russ).
3. Kryukov E.V., Brizhan' L.K., Khominets V.V., Davydov D.V., Chirva Yu.V., Sevastianov V.I. et al. Clinical use of scaffold-technology to manage extensive bone defects. *Orthopaedic Genius*. 2019;25(1):49-57. (In Russ). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-49-57.
4. Khominets V.V., Vorobev K.A., Sokolova M.O., Ivanova A.K., Komarov A.V. Allogeneic osteoplastic materials for reconstructive surgery of combat injuries. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2022;41(3):309-314. (In Russ). doi: 10.17816/rmmar109090.
5. Bai X., Gao M., Syed S., Zhuang J., Xu X., Zhang X.Q. Bioactive hydrogels for bone regeneration. *Bioact Mater*. 2018;3(4):401-417. doi: 10.1016/j.bioactmat.2018.05.006.
6. van der Heide D., Cidonio G., Stoddart M.J., D'Este M. 3D printing of inorganic-biopolymer composites for bone regeneration. *Biofabrication*. 2022;14(4). doi: 10.1088/1758-5090/ac8cb2.
7. Wu Y., Zeng W., Xu J., Sun Y., Huang Y., Xiang D. et al. Preparation, physicochemical characterization, and in vitro and in vivo osteogenic evaluation of a bioresorbable, moldable, hydroxyapatite/poly(caprolactone-co-lactide) bone substitute. *J Biomed Mater Res A*. 2023;111(3):367-377. doi: 10.1002/jbm.a.37463.

8. Kitamura M., Ohtsuki C., Iwasaki H., Ogata S., Tanihara M., Miyazaki T. The controlled resorption of porous alpha-tricalcium phosphate using a hydroxypropylcellulose coating. *J Mater Sci Mater Med.* 2004;15(10): 1153-1158. doi: 10.1023/B:JMSM.0000046399.40310.47.
9. Bohner M. Resorbable biomaterials as bone graft substitutes. 2010;13(1-2):24-30. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369702110700146>. doi: 10.1016/S1369-7021(10)70014-6.
10. Hing K.A. Bioceramic bone graft substitutes: influence of porosity and chemistry. *Int J Appl Ceram Technol.* 2005;2(3):184-199. doi: 10.1111/j.1744-7402.2005.02020.x.
11. Komlev V.S., Bozo I.I., Deev R.V., Gurin A.N. Bioactivity and effect of bone formation for octacalcium phosphate ceramics. In: *Octacalcium Phosphate Biomaterials.* 2020. p. 85-119. doi: 10.1016/B978-0-08-102511-6.00005-4. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081025116000054>.
12. Suzuki O. Octacalcium phosphate: osteoconductivity and crystal chemistry. *Acta Biomater.* 2010;6(9):3379-3387. doi: 10.1016/j.actbio.2010.04.002.
13. Miño-Fariña N., Muñoz-Guzón F., López-Peña M., Ginebra M.P., Del Valle-Fresno S., Ayala D. et al. Quantitative analysis of the resorption and osteoconduction of a macroporous calcium phosphate bone cement for the repair of a critical size defect in the femoral condyle. *Vet J.* 2009;179(2):264-272. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.09.011.
14. Sutradhar A., Paulino G.H., Miller M.J., Nguyen T.H. Topological optimization for designing patient-specific large craniofacial segmental bone replacements. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2010;107(30):13222-13227. doi: 10.1073/pnas.1001208107.
15. Al-Tamimi A.A., Peach C., Fernandes P.R., Cseke A., Bartolo P.J.D.S. Topology Optimization to Reduce the Stress Shielding Effect for Orthopedic Applications. *Procedia CIRP.* 2017;65:202-206. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827117305425>.
16. Querin O.M., Victoria M., Alonso C., Ansola R., Martí P. Topology Optimization as a Digital Design Tool. In: *Topology Design Methods for Structural Optimization.* Elsevier; 2017. p. 93-111. doi: 10.1016/B978-0-08-100916-1.00006-4. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081009161000064>.
17. Tikhonov A.A., Yevdokimov P.V., Putlyayev V.I., Safronova T.V., Filippov Ya.Yu. On architecture of osteoconductive bioceramic implants. *Materials Science.* 2018;(8):43-48. (In Russ). doi: 10.31044/1684-579X-2018-0-8-43-48.
18. Kapfer S.C., Hyde S.T., Mecke K., Arns C.H., Schröder-Turk G.E. Minimal surface scaffold designs for tissue engineering. *Biomaterials.* 2011;32(29):6875-6882. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.012.
19. Tikhonov A.A., Kukueva E.V., Evdokimov P.V., Klimashina E.S., Putlyayev V.I., Shcherbakov I.M. et al. Synthesis of substituted octacalcium phosphate for filling composite implants based on polymer hydrogels produced by stereolithographic 3d printing. *Inorganic Materials.* 2018;54(10):1123-1132. (In Russ). doi: 10.1134/s0002337x18100172.
20. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V., Longair M., Pietzsch T. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods.* 2012;9(7):676-682. doi: 10.1038/nmeth.2019.
21. Mohiuddin O.A., Campbell B., Poche J.N., Ma M., Rogers E., Gaupp D. et al. Decellularized Adipose Tissue Hydrogel Promotes Bone Regeneration in Critical-Sized Mouse Femoral Defect Model. *Front Bioeng Biotechnol.* 2019;7:211. doi: 10.3389/fbioe.2019.00211.
22. Dau M., Ganz C., Zaage F., Frerich B., Gerber T. Hydrogel-embedded nanocrystalline hydroxyapatite granules (Elastic blocks) based on a cross-linked polyvinylpyrrolidone as bone grafting substitute in a rat tibia model. *Int J Nanomedicine.* 2017;12:7393-7404.
23. Frasca S., Norol F., Le Visage C., Collombet J.M., Letourneur D., Holy X. et al. Calcium-phosphate ceramics and polysaccharide-based hydrogel scaffolds combined with mesenchymal stem cell differently support bone repair in rats. *J Mater Sci Mater Med.* 2017; 28(2):35. doi: 10.1007/s10856-016-5839-6.
24. Lohmann P., Willuweit A., Neffe A.T., Geisler S., Gebauer T.P., Beer S. et al. Bone regeneration induced by a 3D architected hydrogel in a rat critical-size calvarial defect. *Biomaterials.* 2017;113:158-169. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.10.039.
25. Karalkin P.A., Sergeeva N.S., Komlev V.S., Sviridova I.K., Kirsanova V.A., Akhmedova S.A. et al. Biocompatibility and osteoplastic properties of mineral polymer composite materials based on sodium alginate, gelatin, and calcium phosphates intended for 3d-printing of the constructions for bone replacement. *Genes and Cells.* 2016;11(3):94-101. (In Russ).
26. Muraev A.A., Bonartsev A.P., Gazhva Yu.V., Riabova V.M., Volkov A.V., Zharkova I.I., et al. Development and Preclinical Studies of Orthotopic Bone Implants Based on a Hybrid Construction from Poly(3-Hydroxybutyrate) and Sodium Alginate. *Modern Technologies in Medicine.* 2016;8(4):42. (In Russ). doi: 10.17691/stm2016.8.4.06.
27. Bi S., Wang P., Hu S., Li S., Pang J., Zhou Z. et al. Construction of physical-crosslink chitosan/PVA double-network hydrogel with surface mineralization for bone repair. *Carbohydr Polym.* 2019;224:115176. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115176.
28. Luneva S.N., Talashova I.A., Osipova E.V., Nakoskin A.N., Emanov A.A. Influence of the Composition of Biocomposite Materials Implanted in Perforated Metaphyseal Defects on Reparative Regeneration and Mineralization of Bone Tissue. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2013;156(8):255-259. (In Russ).
29. Susin C., Lee J., Fiorini T., Koo K.T., Schüpbach P., Finger Stadler A. et al. Screening of Hydroxyapatite Biomaterials for Alveolar Augmentation Using a Rat Calvaria Critical-Size Defect Model: Bone Formation/Maturation and Biomaterials Resolution. *Biomolecules.* 2022;12(11):1677. doi: 10.3390/biom12111677.
30. Wang M., Gu Z., Li B., Zhang J., Yang L., Zheng X. et al. Bioactive Nanocomposite Microsponges for Effective Reconstruction of Critical-Sized Calvarial Defects in Rat Model. *Int J Nanomedicine.* 2022;17:6593-6606. doi: 10.2147/IJN.S389194.

32. van der Stok J., Koolen M.K., de Maat M.P., Yavari S.A., Alblas J., Patka P. et al. Full regeneration of segmental bone defects using porous titanium implants loaded with BMP-2 containing fibrin gels. *Eur Cell Mater.* 2015;29:141-153; discussion 153-154. doi: 10.22203/ecm.v029a11.
33. Ando K., Imagama S., Kobayashi K., Ito K., Tsushima M., Morozumi M. et al. Effects of a self-assembling peptide as a scaffold on bone formation in a defect. *PLoS One.* 2018;13(1):e0190833. doi: 10.1371/journal.pone.0190833.

Authors' information

✉ *Ivan M. Shcherbakov*

Address: 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5487-9039>

e-mail: imscherbackov@yandex.ru

Elena S. Klimashina — Cand. Sci. (Chem.)

<https://orcid.org/0000-0002-7441-7381>

e-mail: alenakovaleva@gmail.com

Pavel V. Evdokimov — Cand. Sci. (Chem.)

<https://orcid.org/0000-0003-4398-054X>

e-mail: pavel.evdokimov@gmail.com

Andrei A. Tikhonov

<https://orcid.org/0000-0003-3372-5393>

e-mail: andytikhon94@gmail.com

Valerii I. Putlayev — Cand. Sci. (Chem.)

<https://orcid.org/0000-0001-7601-6787>

e-mail: valery.putlayev@gmail.com

Georgii A. Shipunov

<https://orcid.org/0000-0003-4495-7050>

e-mail: shipunovgeorge@gmail.com

Vladislav A. Zatsepin

<https://orcid.org/0000-0001-8233-2989>

e-mail: gyglvladislav@gmail.com

Vadim E. Dubrov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>

e-mail: vduort@gmail.com

Natal'ia V. Danilova — Cand. Sci. (Med.)

<http://orcid.org/0000-0001-7848-6707>

e-mail: natalyadanilova@gmail.com

Pavel G. Malkov — Cand. Sci. (Med.)

<http://orcid.org/0000-0001-5074-3513>

e-mail: malkovp@fbm.msu.ru



Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experimental Study

Oleg P. Savchuk¹, Dmitry V. Tapalski¹, Dmitry A. Zinovkin¹, Vladimir I. Nikolaev¹, Maksim A. Yarmolenko², Aleksandr A. Rogachev³

¹ Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

² Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

³ Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Background. Protection against microbial colonization of surface fixators for metal osteosynthesis can reduce the number of infectious complications.

The aim of the study was to experimentally assess early perifocal tissue reactions to metal implants with a composite antibacterial coating under microbial load.

Methods. Fragments of steel pins for osteosynthesis (diameter 1 mm) with a four-component antibacterial coating based on polylactide, polyurethane, ciprofloxacin and silver nanoparticles were contaminated by methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) 43431. They were implanted in rats within the quadriceps femoris. Contaminated uncoated pins were used as a control. The animals were withdrawn from the experiment on the 2nd, 4th, 7th day after implantation. Histopathological specimens from tissue around implants were prepared. A semiquantitative assessment of reactions was performed.

Results. The microbial load before implantation was $(1.12 \pm 0.26) \times 10^6$ *S. aureus* cells for the control implants and $(0.86 \pm 0.31) \times 10^6$ cells for implants with antibacterial coating. Tissue inflammatory reactions on the second day of implantation were equally evident in the control and investigated groups. There was a significant reduction in the number of immune cells and necrotic detritus, as well as increased growth of connective tissue and neoangiogenesis in the experimental group by the 4th day. The appearance of a less pronounced well-vascularized fibrous capsule around the experimental implants was noted by the 7th day. It indicates a more favorable healing of soft tissues in comparison with the control.

Conclusion. Weak morphological manifestations of tissue reactions in response to the fitting of contaminated implants with an antibacterial coating can be associated with both the direct antimicrobial effect of the coating components and the anti-inflammatory activity of silver nanoparticles and ciprofloxacin included in its composition.

Keywords: implants, antibacterial coating, ciprofloxacin, silver nanoparticles, *Staphylococcus aureus*, contamination, tissue reactions.

Cite as: Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A. Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experiment. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):36-45. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2000>.

✉ Dmitry V. Tapalski; e-mail: tapalskiy@gmail.com

Submitted: 03.10.2022. Accepted: 01.02.2023. Published Online: 15.02.2023.

© Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., 2023



Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование

О.П. Савчук¹, Д.В. Тапальский¹, Д.А. Зиновкин¹, В.И. Николаев¹,
М.А. Ярмоленко², А.А. Рогачев³

¹ УО «Гомельский государственный медицинский университет»,

г. Гомель, Республика Беларусь

² УО «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины»,

г. Гомель, Республика Беларусь

³ Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси,

г. Минск, Республика Беларусь

Актуальность. Защита от микробной колонизации поверхности фиксаторов для металлоостеосинтеза способна сократить количество инфекционных осложнений.

Цель исследования — экспериментально оценить ранние перифокальные тканевые реакции на металлические имплантаты с композиционным антибактериальным покрытием в условиях микробной нагрузки.

Материал и методы. Фрагменты стальных спиц для остеосинтеза диаметром 1 мм с нанесенным четырехкомпонентным антибактериальным покрытием на основе полилактида, полиуретана, ципрофлоксацина и наночастиц серебра контаминировали культурой метициллинорезистентного *S. aureus* (MRSA) 43431 и имплантировали крысам в толщу четырехглавой мышцы бедра. В качестве контрольных имплантировали контаминированные спицы без покрытия. На 2-е, 4-е и 7-е сут. после имплантации животных выводили из эксперимента. Готовили патогистологические препараты тканей вокруг имплантатов. Выполняли полуколичественную оценку тканевых реакций.

Результаты. Микробная нагрузка перед имплантацией составляла $(1,12 \pm 0,26) \times 10^6$ клеток *S. aureus* для контрольных имплантатов и $(0,86 \pm 0,31) \times 10^6$ клеток для имплантатов с антибактериальным покрытием. Тканевые реакции воспалительного характера на 2-е сут. имплантации были одинаково выражены в контрольной и экспериментальной группах. К 4-м сут. отмечено значимое снижение количества иммунных клеток и некротического детрита, а также усиление разрастания соединительной ткани и неоангиогенеза в экспериментальной группе. К 7-м сут. отмечено появление менее выраженной, хорошо васкуляризованной фиброзной капсулы вокруг экспериментальных имплантатов, что указывает на более благоприятное заживление мягких тканей в сравнении с контролем.

Заключение. Слабовыраженные морфологические проявления тканевых реакций в ответ на внедрение контаминированных имплантатов с антибактериальным покрытием могут быть связаны как с прямым противомикробным действием компонентов покрытия, так и с противовоспалительной активностью входящих в его состав наночастиц серебра и ципрофлоксацина.

Ключевые слова: имплантаты, антибактериальное покрытие, ципрофлоксацин, наночастицы серебра, *Staphylococcus aureus*, контаминация, тканевые реакции.

Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А. Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):36-45. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2000>.

✉ Тапальский Дмитрий Викторович; e-mail: tapalskiy@gmail.com

Рукопись получена: 03.10.2022. Рукопись одобрена: 01.02.2023. Статья опубликована онлайн: 15.02.2023.

© Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., 2023

BACKGROUND

The incidence of early wound infection of the surgical site after internal osteosynthesis of closed fractures ranges from 0.5% to 10.0% and is up to 50% in case of open fractures [1]. *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci prevail in the etiological structure of implant-associated infections [2, 3].

Active protection against microbial colonization of the surfaces of implanted hardware for osteosynthesis represent rather promising strategy that will significantly reduce postoperative wound infection complications [4, 5]. Numerous types of coatings have been developed to provide local antimicrobial activity or to deliver antimicrobial agents to the surgical site. The main disadvantages of the majority of them are the non-optimal kinetics of antibacterial release, which is often too rapid and does not provide surface protection throughout the implantation period, the possibility of induction of microbial resistance to antibiotics, as well as high susceptibility to mechanical impact [6, 7].

Implant surfaces can be chemically modified or physically coated with various antibacterial substances, such as metal nanoparticles, polymers, hydrogels and antibiotics [8, 9].

Basing on the results of physical-chemical and medical-biological studies, we developed and optimized the compositions of multicomponent coatings with polymer matrixes consisting of polyurethane and biocompatible and biodegradable polylactide, and biocidal components including ciprofloxacin and silver nanoparticles. The coatings are applied to metal base (titanium, stainless steel) by electron-beam deposition from the active gas phase [10, 11].

Pronounced bactericidal effect of the synthesized coatings was established and its universal character against the microorganisms of different taxonomic groups, regardless of the concomitant resistance to antibacterial drugs, was shown. The ability of complete prevention of microbial biofilm formation was revealed. Using HEp-2, HaCaT cell cultures and primary fibroblast culture, we concluded that the four-component polyurethane-polylactide-ciprofloxacin-silver chloride antibacterial coating was biocompatible and had no cytotoxicity. The study of local effect after implantation to nonlinear rats showed that titanium implants with composite antibacterial coating had better biocompatibility and better

bio-integration into the surrounding connective tissue comparing to uncoated implants [12, 13].

The study of antibacterial activity and biocompatibility of implants with a four-component composite coating in case of contamination with clinically significant antibiotic-resistant microorganisms appears to be relevant nowadays.

Aim of the study is to experimentally evaluate early perifocal tissue reactions to metal implants with composite antibacterial coating under conditions of microbial load.

METHODS

Implants

We used fragments of wires for osteosynthesis of 1 mm in diameter and 20 mm in length made of corrosion-resistant austenitic steel (Scientific and Technological Park BNTU Polytechnik, Belarus, TU RB 14576608.002-2000). Four-component composite antibacterial coating based on polyurethane, polylactide, ciprofloxacin and silver nanoparticles was applied using vacuum-plasma method from the active gas phase [10, 12]. Control implants had no coating on their surface.

Sterilization of the implants was performed using steam method at steam pressure of 0.11 ± 0.02 MPa at 121°C, exposure time was 45 min.

Microbial culture

A strain of methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) 43431 from the collection of the Research Institute of Antimicrobial Chemotherapy of Smolensk State Medical University was used as a test culture. The strain was isolated from a patient with posttraumatic osteomyelitis and was characterized by a pronounced ability to form a microbial biofilm. It was resistant to oxacillin (minimum suppressive concentration 256 mg/L), gentamicin (64 mg/L), tetracycline (32 mg/L), rifampicin (256 mg/L), ciprofloxacin (256 mg/L), levofloxacin (32 mg/L).

Implant contamination

A suspension with an optical density of 1 McFarland (2×10^8 cells/ml) was prepared from a daily culture of *S. aureus* 43431 in sterile isotonic sodium chloride solution. The implants were dipped into the bacterial suspension using sterile forceps and then transferred into sterile 1.5 ml Eppendorf tubes (a separate tube for each

implant). The tubes were kept open in a laminar flow box for 2 hours. The implants having been dried, the tubes were closed and stored at +8°C for no more than one day before implantation. Some samples from the experimental and control groups were inoculated on the surface of blood agar using D. Maki et al. semi-quantitative method to confirm the presence of viable microbial cells on the implant surface and to determine their number [14]. We also resuspended microbial cells in 1 ml of sterile isotonic solution with subsequent quantitative analysis. The experiment was performed in six repetitions.

General characteristics of animals

Thirty Wistar rats of both sexes aged 9-10 weeks and weighing 272.0 ± 16.6 g were included in the experimental study. The animals were randomized into groups using a random number generator. Surgery, subsequent implantation of the hardware, nursing and housing of the animals, withdrawing them from the experiment and sampling the material were performed in a separate box, which met all the standards and regulations for working with pathogenic microorganisms.

Implantation

General inhalation anesthesia was performed with Sevoflurane (Farmland, Belarus). Animal was positioned on its back. Hind limbs were fixed in the abduction position. The skin of the femorogluteal area was cleaned twice with antiseptic Septocid R (BelAseptika, Belarus). The longitudinal 2 cm incision was made with a scalpel along the anterior surface of the thigh. The skin, subcutaneous fat, fascia and muscles up to the thigh bone were dissected layer-by-layer. The edges of the wound were spread with retractors. One wire fragment was implanted longitudinally into the quadriceps muscle. After that the operative wound was sutured layer-by-layer with interrupted capron sutures without drainage. Henceforth, the rats were kept in individual cages to prevent them from gnawing through the ligatures and causing additional trauma to each other. The weight bearing on the limb was not artificially restricted after the implantation of the wires. There were no animal deaths during the whole observation period up to the withdrawal from the experiment.

Preparation of pathohistological samples

On the 2nd, 4th and 7th days each, 10 animals were withdrawn from the experiment in both control and study groups by decapitation under inhalation anesthesia. The implants were removed, and the tissue fragments adjacent to the implantation site were fixed in a 10% solution of neutral buffered formalin for 48 hours. Fixed muscles were cut transverse to the course of the wound canal into slices no more than 3 mm thick and placed in histology cassettes. Biopsy samples were placed in a Thermo Microm STP-120 histological processor (Thermo Scientific, USA). Histological processing in increasing concentrations of isopropyl alcohol, isopropyl alcohol and vaseline oil, as well as tissue infiltration with paraffin in vaseline oil and paraffin and in paraffin were performed. Tissue fragments were embedded in paraffin blocks, which were used to prepare 5-7 μ m thick histological sections using a Thermo Fisher Scientific HM 450 sliding microtome (Thermo Scientific, USA). The obtained sections were transferred to glass slides, stained with hematoxylin and eosin according to the standard technique, and placed under coverslips.

Morphometric assessment

Evaluation of periimplant tissue reactions was performed using a semi-quantitative scale based on GOST R ISO 10993-6-2009 "Medical Devices. Biological evaluation of medical devices". Part 6 "Tests for local effects after implantation". Microscopy was performed using Nikon Eclipse 50i microscope (Nikon, Japan) at $\times 400$ magnification power in 10 non-overlapping fields of vision.

Statistical analysis

The Shapiro-Wilk test revealed that the distribution of variables differed from normal ($p < 0.05$); therefore, the results were presented as median (25- and 75-percentiles). Group comparisons were performed using the Mann-Whitney test. Scores were compared using the Kruskal-Wallis test with the Dunn criterion. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. Statistical analysis was performed using GraphPad Prism v 9.01 software package (GraphPad Software, USA).

RESULTS

Preliminary microbiological study confirmed the presence of viable bacterial cells on the surface of the contaminated control and experimental samples. The calculated microbial load was 10^6 microbial cells of *S. aureus* 43431 per sample. When inoculating the contaminated control and experimental implants on blood agar using D. Maki semi-quantitative method, abundant microbial growth was observed. The actual microbial load determined by resuspending the microbial cells from the surface of the contaminated implants followed by the quantitative inoculation was $(1.12 \pm 0.26) \times 10^6$ cells for the control implants and $(0.86 \pm 0.31) \times 10^6$ cells for the experimental implants with antibacterial coating.

Histological examination on the 2nd day revealed vast areas of necrosis with dense neutrophilic infiltrates in the places of direct contact with the implant surface at the site of implantation of both control and experimental wires (Fig. 1).

Small groups of lymphocytes, plasmacytes and macrophages were located around the necrotic tissues. Single proliferating fibroblasts were observed only in the group of animals with the contaminated implant. Comparison of the tissue reaction parameters is presented in Table 1.

No statistically significant differences were observed when comparing the total scores ($p = 0.786$) (Fig. 2). The final value of the difference in total scores (mean value) of the samples on the 2nd day was 0.2.

Table 1

Tissue reaction parameters in response on contaminated implants with and without antibacterial coating, scores

Parameter	2 nd day		4 th day		7 th day	
	experiment	control	experiment	control	experiment	control
Polymorphonuclear leukocytes	4.0(4.0;4.0)	4.0(4.0;4.0)	2.2(2.0;2.5)	2.7 (2.2;3.1)	0.1(0.0;0.5)	0,4 (0,3;0.5)
	p = 1.00		p = 0.106		p = 0.008	
Lymphocytes	3.4 (3.2;3.6)	3.4 (3.2;3.6)	3.2(3.0;3.3)	3.6(3.6;3.9)	1.3(1.0;1.4)	1.0(1.0;1.3)
	p = 1.00		p = 0.0022		p = 0.372	
Plasmacytes	2.0(2.0;2.0)	2.0(2.0;2.0)	1.0(0.8;1.3)	1.6(1.5;1.9)	0.8(0.8;0.8)	1.4(1.2;1.4)
	p = 1.00		p = 0.0043		p = 0.0022	
Macrophages	1.8 (1.6;2.8)	1.9 (1.6;2.8)	1.3(1.0;1.8)	2.5(2.1;3.0)	0.5(0.4;0.7)	0.8(0.6;1.1)
	p = 1.00		p = 0.0022		p = 0.132	
Giant cells	-	-	2.0(2.0;2.3)	2.7(2.2;2.8)	0.2(0.1;0.4)	1.0(1.0;1.0)
	p = 1.00		p = 0.047		p = 0.0022	
Necrosis	4 (3.8;4.0)	3.9 (3.8;4.0)	0.4(0.4;0.9)	1.2(1.2;1.4)	0.0(0.0;0.2)	0.0(0.0;0.0)
	p = 1.00		p = 0.0022		p = 0.45	
Neovascularization	-	-	0.4(0.4;0.5)	1.5(1.4;1.7)	1.4(1.2;1.7)	0.3(0.4;0.5)
	p = 1.00		p = 0.0020		p = 0.0020	
Fibrosis	0.2 (0.0;0.4)	0.0 (0.0;0.0)	2.1(1.7;2.3)	2.8 (2.6;2.8)	1.0(1.1;1.3)	2.8 (2.8;3.0)
	p = 1.00		p = 0.0022		p = 0.0022	

Bold type indicates statistically significant differences

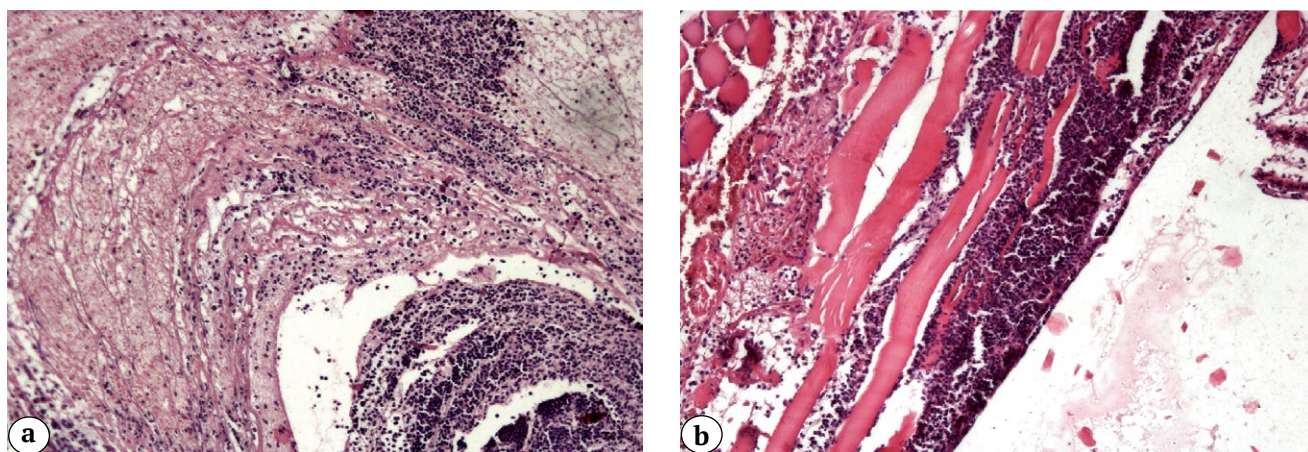


Fig. 1. Pathohistological picture at the site of implantation on the 2nd day: a – in the control group; b – in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 200$

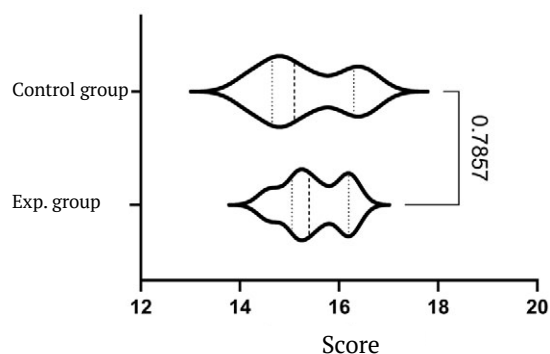


Fig. 2. Statistical characteristics of the scores in the groups on the 2nd day

Note: The vertical bold dotted line the median line on the graph, the normal dotted line indicates the 25th and 75th percentiles. The curves of the outer lines which form shapes at the graph, show the distribution of cases in the group

On the 4th day, the control group showed a thick line of immature connective tissue with separate groups of proliferating newly-formed vessels and mild necrotic changes in the areas of direct contact with the implanted wire (Fig. 3 a). Polymorphocellular leukocytes were presented as small dense infiltrates. Lymphocytes infiltrated immature connective tissue forming diffuse abundant clusters. Plasma cells, macrophages and multinucleated giant cells formed single marked infiltrates of newly-formed stroma, predominantly locating along the newly-formed connective tissue.

There was a moderately pronounced line of immature connective tissue in the experimental group with small (4 to 7 in the field of vision) groups of proliferating newly-formed capillaries and areas of minimal necrosis in the place of contact with the implant. Polymorphocellular lymphocytes infiltrated the newly-formed stroma in small groups of cells from 5 to 12 in the field of vision. Lymphocytes were presented as a diffuse abundant infiltrate. Plasma cells, macrophages

and multinucleated giant cells were represented by weakly pronounced focal infiltrates similar to those in the control group, predominantly located along the newly-formed connective tissue (Fig. 3 b). The comparison of total scores revealed statistically significant differences ($p = 0.0022$) (Fig. 4).

On the 7th day, the control group revealed an extensive weakly vascularized connective tissue capsule around the implant with single necrotized cells (Fig. 5 a). Single polymorphocellular leukocytes and multinucleated giant cells, weakly expressed lymphoid, macrophage and plasmacyte infiltration were detected.

On the 7th day, moderately pronounced well vascularized connective tissue capsule infiltrated by single polymorphocellular leukocytes, lymphocytes, macrophages, plasmacytes and multinucleated giant cells was detected in the experimental group (Fig. 5 b).

The comparison of total scores showed statistically significant differences ($p = 0.0022$) (Fig. 6).

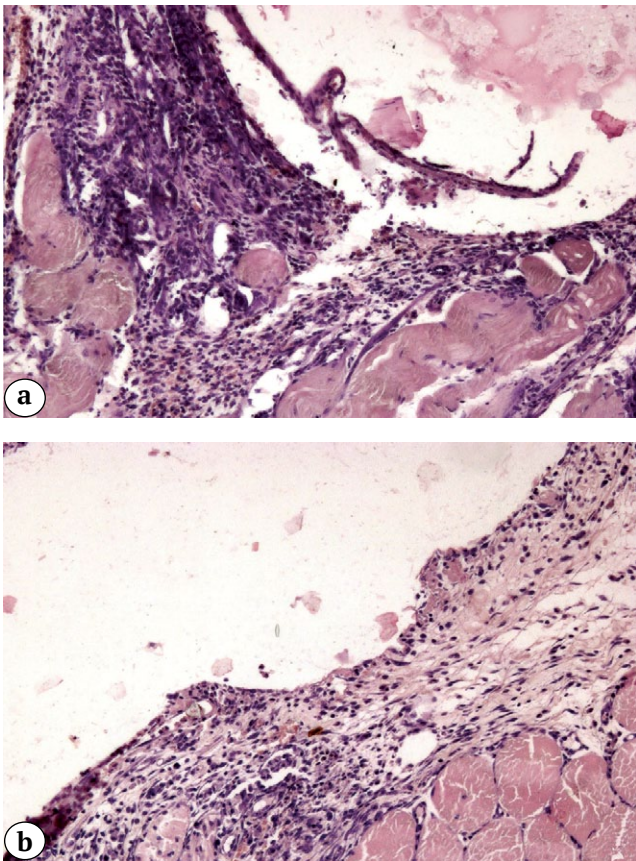


Fig. 3. Pathohistological picture at the site of implantation on the 4th day: a – in the control group; b – in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. ×200

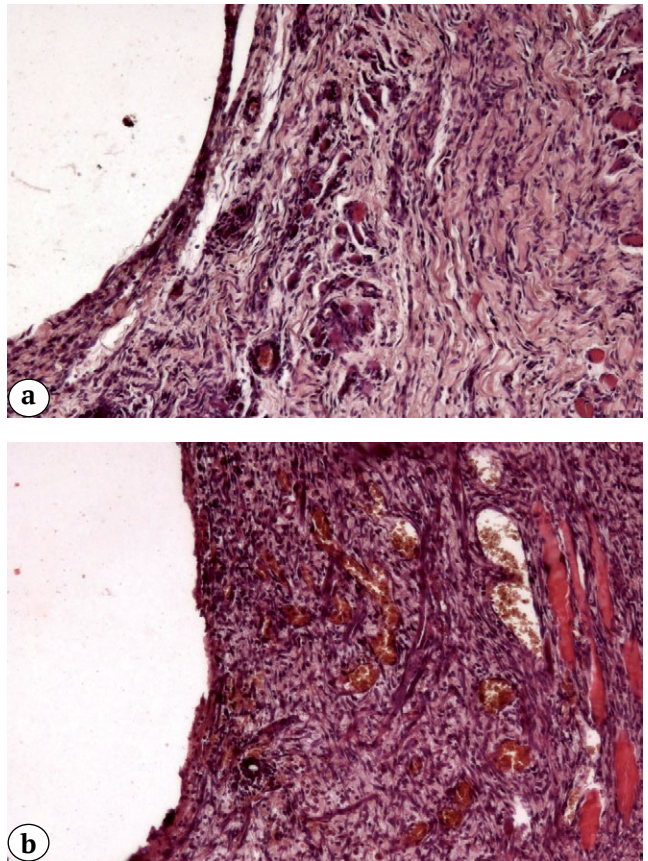


Fig. 5. Pathohistological picture at the site of implantation on the 7th day: a – in the control group; b – in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. ×200

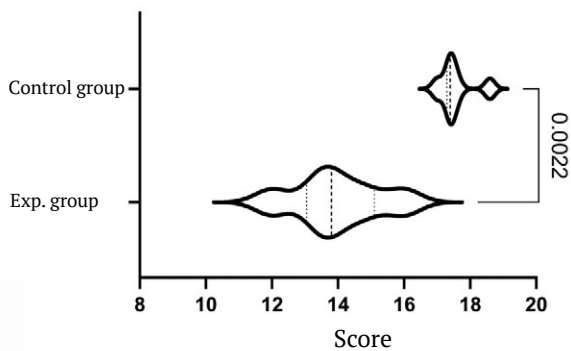


Fig. 4. Statistical characteristics of the scores in the groups at the day 4 *Note:* See Figure 2

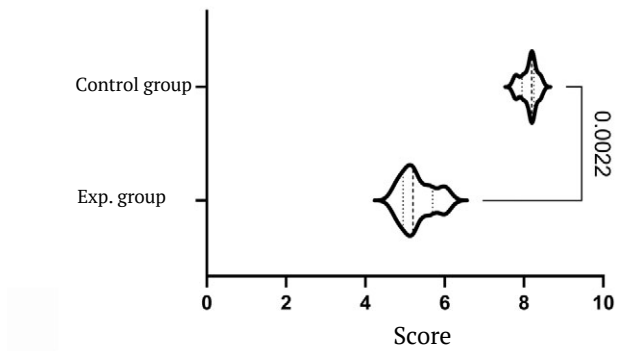


Fig. 6. Statistical characteristics of the scores in the groups at the day 7 *Note:* See Figure 2

DISCUSSION

Postoperative wound healing is a dynamic process affected by both exogenous and endogenous factors [15, 16]. Bacterial infections are a significant cause of implant failure. The growth of microbial biofilms on the surface of steel or titanium implants can lead to the development of periimplantitis. Microbial contamination of the implant and the associated inflammatory response interfere with the adhesion of osteoblasts. Bacterial infections of the periimplant area can cause osteomyelitis [17].

Perifocal reactions of soft tissues were studied under conditions as close to real ones as possible, when contamination with microorganisms occurs right at the moment of open fracture. The microbial load is usually low, but the presence of an implant in the wound contributes to the development of infectious complications. Early infection is most often localized in the soft tissues, and with its extended duration the bone is also involved.

Marked infiltration with polymorphocellular leukocytes, the presence of necrosis and a weak lymphomacrophagal reaction in both groups on the 2nd day were related to the activation of damage-associated molecular patterns (DAMP) and pathogen-associated molecular patterns (PAMP) signaling pathways involved in nonspecific patterns of innate immune response [18].

By the 4th day the statistically significant decrease of the number of immune cells and necrotic detritus in the experimental group, as well as increased connective tissue overgrowth and neoangiogenesis could be related both to the direct antibacterial effect of ciprofloxacin and silver nanoparticles and to the anti-inflammatory effect of ciprofloxacin revealed by F. Sasche et al. [19]. These effects of antibacterial coatings by the 7th day of implantation led to the development of less pronounced, well vascularized fibrous capsule around the experimental implants with less noticeable infiltration by immune cells. The above-mentioned morphological changes around the experimental implant indicate more favorable soft tissue healing [20].

The antibacterial effect of silver-containing coatings against MRSA strains has already been demonstrated many times in vitro [21, 22]. It is known that, in addition to direct antimicrobial effect, silver nanoparticles can control the release of

anti-inflammatory cytokines, thereby contributing to faster wound healing without scar formation [23]. By stimulating the differentiation of myofibroblasts from normal fibroblasts, they allow to control the infection process and accelerate the healing process. Silver nanoparticles also enhance reepithelization of the epidermis by stimulating the proliferation and migration of keratinocytes, and in combination with tetracycline significantly reduce the bacterial load in the superficial and deep tissue layers in the mouse model, which leads to accelerated wound healing [24, 25].

CONCLUSION

The obtained results allowed us to establish subtle pathological morphological manifestations of tissue reactions in response to the use of experimental implants with a four-component composite antibacterial coating in case of bacterial contamination of the surgical wound. On the 7th day, the morphological signs of inflammation at the implantation sites of MRSA-contaminated experimental wires into the soft tissues of the laboratory animals were minimal, which can be attributed both to the direct antimicrobial effect of the coating components on the microorganisms and to the anti-inflammatory activity of silver nanoparticles and ciprofloxacin in the early postoperative period.

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. State budgetary funding.

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

Ethics approval. Approval from the local ethics committee was obtained before the start of the study. The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used

for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Romanò C.L., Bozhkova S.A., Artyukh V., Romanò D., Tsuchiya H., Drago L. Local antibacterial implant protection in orthopedics and trauma: what's new? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(4): 64-74. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-64-74.
- Harris L.G., Richards R.G. Staphylococci and implant surfaces: a review. *Injury*. 2006;37 Suppl 2:S3-14. doi: 10.1016/j.injury.2006.04.003.
- Tande A.J., Patel R. Prosthetic joint infection. *Clin Microbiol Rev*. 2014;27(2):302-45. doi: 10.1128/CMR.00111-13.
- Bohara S., Suthakorn J. Surface coating of orthopedic implant to enhance the osseointegration and reduction of bacterial colonization: a review. *Biomater Res*. 2022;26(1):26. doi: 10.1186/s40824-022-00269-3.
- Zilberman M., Elsner J.J. Antibiotic-eluting medical devices for various applications. *J Control Release*. 2008;130(3):202-215. doi: 10.1016/j.jconrel.2008.05.020.
- Tobin E.J. Recent coating developments for combination devices in orthopedic and dental applications: A literature review. *Adv Drug Deliv Rev*. 2017;112:88-100. doi: 10.1016/j.addr.2017.01.007.
- Nie B., Huo S., Qu X., Guo J., Liu X., Hong Q. et al. Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection. *Bioact Mater*. 2022;16:134-148. doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.02.003.
- Chourifa H., Bouloussa H., Migonney V., Falentin-Daudré C. Review of titanium surface modification techniques and coatings for antibacterial applications. *Acta Biomater*. 2019;83:37-54. doi: 10.1016/j.actbio.2018.10.036.
- Hasan J., Crawford R.J., Ivanova E.P. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends Biotechnol*. 2013;31(5):295-304. doi: 10.1016/j.tibtech.2013.01.017.
- Tapalski D.V., Boytsova N. Yu., Osipov V.A., Rogachev A.A., Yarmolenko M.A., Rogachev A.V. et al. New antibacterial coating based on the mixture of polyurethane and poly-l-lactide Doclady of the National Academy of Sciences of Belarus. 2013;57(4):89-95. (In Russ).
- Rogachev A.A., Yarmolenko M.A., Rogachou A.V., Tapalski D.V., Liu X., Gorbachev D.L. Morphology and structure of antibacterial nanocomposite organic-polymer and metal-polymer coatings deposited from active gas phase. *RSC Adv*. 2013;3(28):11226-11233. doi: 10.1039/C3RA23284K.
- Qi C., Rogachev A.V., Tapalski D.V., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Jiang X. et al. Nanocomposite coatings for implants protection from microbial colonization: Formation features, structure, and properties. *Surf Coatings Technol*. 2017;315:350-358. doi: 10.1016/j.surfcoat.2017.02.066.
- Tapalski D.V., Osipov V.A., Sukhaya G.N., Yarmolenko M.A., Rogachiov A.A., Rogachiov A.V. Biocompatible composite antibacterial coatings for protection of implants against microbial biofilms. *Health and Ecology Issues*. 2013;(2):129-134. (In Russ). doi: 10.51523/2708-6011.2013-10-2-24.
- Maki D.G., Weise C.E., Sarafin H.W. A semiquantitative culture method for identifying intravenous-catheter-related infection. *N Engl J Med*. 1977;296(23):1305-1309. doi: 10.1056/NEJM197706092962301.
- Velnar T., Bailey T., Smrkolj V. The wound healing process: an overview of the cellular and molecular mechanisms. *J Int Med Res*. 2009;37(5):1528-1542. doi: 10.1177/147323000903700531.
- Takeo M., Lee W., Ito M. Wound healing and skin regeneration. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(1):a023267. doi: 10.1101/cshperspect.a023267.
- Sharma S., Bano S., Ghosh A.S., Mandal M., Kim H.W., Dey T. et al. Silk fibroin nanoparticles support in vitro sustained antibiotic release and osteogenesis on titanium surface. *Nanomedicine*. 2016;12(5):1193-1204. doi: 10.1016/j.nano.2015.12.385.
- Wilkinson H.N., Hardman M.J. Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. *Open Biol*. 2020;10(9):e200223. doi: 10.1098/rsob.200223.
- Sachse F., von Eiff C., Becker K., Rudack C. Anti-inflammatory effects of ciprofloxacin in *S. aureus* Newman induced nasal inflammation in vitro. *J Inflamm*. 2008;5(1):e11. doi: 10.1186/1476-9255-5-11.
- Pastar I., Wong L.L., Egger A.N., Tomic-Canic M. Descriptive vs mechanistic scientific approach to study wound healing and its inhibition: Is there a value of translational research involving human subjects? *Exp Dermatol*. 2018;27(5):551-562. doi: 10.1111/exd.13663.
- Gordina E.M., Bozhkova S.A., Erusin A.A. Highly effective silver oxides: influence of oxygen concentration on antibacterial activity against clinical strains of *Staphylococcus aureus*. *Siberian Medical Review*. 2021;(131):54-60. (In Russ). doi: 10.20333/25000136-2021-5-54-60.
- Necula B.S., Fratila-Apachitei L.E., Zaat S.A., Apachitei I., Duszczyc J. In vitro antibacterial activity of porous TiO₂-Ag composite layers against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Acta Biomater*. 2009;5(9):3573-3580. doi: 10.1016/j.actbio.2009.05.010.
- Hamdan S., Pastar I., Drakulich S., Dikici E., Tomic-Canic M., Deo S. et al. Nanotechnology-Driven Therapeutic Interventions in Wound Healing: Potential Uses and Applications. *ACS Cent Sci*. 2017;3(3):163-175. doi: 10.1021/acscentsci.6b00371.

24. Vijayakumar V., Samal S.K., Mohanty S., Nayak S.K. Recent advancements in biopolymer and metal nanoparticle-based materials in diabetic wound healing management. *Int J Biol Macromol.* 2019;122:137-148. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.120.
25. Szmyd R., Goralczyk A.G., Skalniak L., Cierniak A., Lipert B., Filon F.L. et al. Effect of silver nanoparticles on human primary keratinocytes. *Biol Chem.* 2013;394(1):113-123. doi: 10.1515/hsz-2012-0202.

Authors' information

✉ *Dmitry V. Tapalski* – Dr. Sci. (Med.)
Address: 5, Lange st., Gomel, 246050, Belarus
<https://orcid.org/0000-0002-9484-7848>
e-mail: tapalskiy@gmail.com

Oleg P. Savchuk
<https://orcid.org/0000-0003-4360-7091>
e-mail: osa78@tut.by

Dmitry A. Zinovkin – Cand. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-3808-8832>
e-mail: zinovkin2012@gmail.com

Vladimir I. Nikolaev – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9886-7216>
e-mail: nikolaev.52.52@mail.ru

Maksim A. Yarmolenko – Dr. Sci. (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0002-1283-8762>
e-mail: simmak79@mail.ru

Aleksandr A. Rogachev – Dr. Sci. (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0003-4993-0519>
e-mail: rogachev78@mail.ru



Использование депротенизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование

Е.А. Анастасиева¹, Л.А. Черданцева¹, Т.Г. Толстикова², И.А. Кирилова¹

¹ ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

² ФГБУН «Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН», г. Новосибирск, Россия

Актуальность. В настоящее время по ряду причин не всегда возможно полное замещение дефекта костной ткани аутогенной костью. В качестве альтернативы используют костнозамещающие материалы как биологического, так и небιологического происхождения. Одним из путей развития реконструктивных технологий является использование тканеинженерных конструкций, полноценно имитирующих аутогенную костную ткань в необходимом объеме.

Цель исследования — определить *in vivo* возможности использования депротенизированной губчатой костной ткани человека в качестве матрицы для создания тканеинженерных конструкций.

Материал и методы. Исследование *in vivo* осуществляли на кроликах линии NZW. Для создания матрицы использовали фрагменты депротенизированной губчатой костной ткани головки бедренной кости человека, стромально-васкулярную фракцию жировой ткани кролика. Для оценки эффективности репаративного остеогенеза при реконструкции костных дефектов выполнялось моделирование костного дефекта с его последующим замещением. Выделены группы исследования: 1-я группа (контрольная) — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости без его реконструкции; 2-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы; 3-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы совместно со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани (согласно технологии ACP SVF).

Результаты. Сравнительный анализ репаративных процессов при использовании тканеинженерной конструкции на основе костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани человека в сочетании со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани на экспериментальной модели *in vivo* выявил, что использование костнозамещающих материалов способствует не только ранней активации репаративной регенерации основных структурных элементов костной ткани в месте замещения костного дефекта, но и их своевременной дифференцировке. Это обуславливает восстановление структурно-функциональной состоятельной костной ткани в месте повреждения, не вызывая развития выраженного реактивного воспаления. При этом действие выбранной тканеинженерной конструкции с сочетанным влиянием нескольких факторов (ACP SVF) в ее составе оказалось более эффективным для ускорения регенерации и дифференцировки костной ткани.

Заключение. Использование сочетания SVF с депротенизированной костной матрицей для создания тканеинженерной конструкции позволяет задействовать несколько механизмов регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием депротенизированной костной матрицы и без реконструкции костного дефекта.

Ключевые слова: тканеинженерная конструкция, костный дефект, костная матрица, депротенизированная губчатая кость, замещение костного дефекта, стромально-васкулярная фракция жировой ткани.

Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А. Использование депротенизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):46-59. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2016>.

Анастасиева Евгения Андреевна; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Рукопись получена: 27.10.2022. Рукопись одобрена: 26.12.2022. Статья опубликована онлайн: 26.01.2023.

© Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А., 2023



Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study

Evgeniya A. Anastasieva¹, Liliya A. Cherdantseva¹, Tatyana G. Tolstikova²,
Irina A. Kirilova¹

¹Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

²N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Background. At present, for a number of reasons the complete bone defect replacement with autogenous bone is not always possible. Bone substitute materials are used as an alternative to autogenous bone tissue and can be of either biological or non-biological origin. One of the ways of development of reconstructive technologies is the use of tissue-engineered constructs that fully imitate autogenous bone tissue in the required volume.

Aim of study – to define in vivo the possibility of using deproteinized human cancellous bone tissue as a matrix for creating tissue-engineered constructs.

Methods. An in vivo study was carried out on NZW rabbits. To create a construct, we used the fragments of deproteinized cancellous bone tissue of the human femoral head and stromal vascular fraction of rabbit adipose tissue as a matrix. Bone defect modeling with its subsequent replacement was performed to evaluate the efficacy of reparative osteogenesis during bone defects' reconstruction. Study groups were defined: group 1 (control) – surgical modeling of a bone defect of the femur without its reconstruction; group 2 – surgical modeling of a bone defect of the femur with its reconstruction using fragments of deproteinized cancellous bone matrix; group 3 – surgical modeling of a bone defect of the femur with its reconstruction using fragments of deproteinized cancellous bone matrix in combination with stromal vascular fraction of adipose tissue (according to ACP SVF technology).

Results. Comparative analysis of reparative processes in case of applying tissue-engineered constructs based on deproteinized human cancellous bone matrix in combination with adipose tissue-derived stromal vascular fraction on in vivo experimental model revealed that the use of these bone substitute materials contributes not only to an early activation of reparative regeneration of main structural elements of the bone tissue in the area of the bone defect replacement, but also to its well-timed differentiation. This determines the restoration of structural and functional viability of the bone tissue at the damage site without developing discernible reactive inflammation. Moreover, the effect of the selected tissue-engineered construct with the combined influence of several factors (ACP SVF) in its composition turned out to be more effective in stimulating bone tissue repair and differentiation.

Conclusion. Combination of SVF and deproteinized bone matrix for creating tissue-engineered constructs enables to engage several regeneration mechanisms and accelerate the process of bone defect replacement in comparison with isolated deproteinized bone matrix without bone defect reconstruction.

Keywords: tissue-engineered construct, bone defect, bone matrix, deproteinized cancellous bone, bone defect replacement, adipose tissue-derived stromal vascular fraction.

Cite as: Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A. [Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):46-59. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2016>.

✉ Evgeniya A. Anastasieva; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Submitted: 27.10.2022. Accepted: 26.12.2022. Published Online: 26.01.2023.

© Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальными для оказания высокотехнологичной и специализированной медицинской помощи пациентам в травматологии и ортопедии остаются вопросы замещения утраченного объема костной ткани при патологических состояниях разного этиопатогенеза. Причинами формирования костных дефектов могут являться как сегментарные резекции костей по поводу опухолевых и опухолеподобных процессов костей, так и реэндопротезирование суставов, травмы и последствия их лечения [1]. Под утраченным объемом костной ткани следует понимать не только фактическое отсутствие участка кости, но и изменение ее плотности — уплотнение, например вследствие импрессионного перелома, требующего реконструктивной коррекции, а также несоответствие структурно-функциональных характеристик костной ткани, например в области ложного сустава [1, 2].

Трудность замещения костных дефектов может возникать в случае как ограниченных, так и неограниченных дефектов, что имеет особое значение при сочетании патологического процесса с нарушением нормальной биомеханики. При этом немаловажную роль в успешности качественной реконструкции костных дефектов играют индивидуальные особенности организма пациента. Безусловно, и в настоящее время для замещения костных дефектов оптимальным является аутогенная костная ткань пациента [3]. Однако по ряду причин не всегда возможно полное замещение дефекта костной ткани с ее помощью [4, 5]. В качестве альтернативы используют костнозамещающие материалы как биологического, так и небологического происхождения. На данном этапе можно выделить два основных пути развития реконструктивных технологий [1, 4, 6]. Первый из них — создание и установка индивидуальных 3D-конструкций. Метод отличается высокой эффективностью, однако затраты для производства 3D-имплантата высокие. Возможно, при удешевлении материальной базы метод будет более доступен, хотя при расчете на отдаленный период затраты можно сравнить со стандартными методами лечения [7]. Второй путь развития реконструктивных технологий костной ткани — использование тканеинженерных конструкций, полноценно имитирующих аутогенную костную ткань в необходимом объеме [8].

Цель исследования — определить *in vivo* возможности использования депротенизированной губчатой костной ткани человека в качестве матрицы для создания тканеинженерных конструкций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выбор модели. Исследование выполнено на 24 кроликах линии NZW. Было сформировано три группы исследования: 1-я группа (контрольная) — хирургическое моделирование в участках диафиза контралатеральной бедренной кости костных дефектов без реконструкции, аналогичных группам исследования; 2-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта диафиза бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы человека; 3-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта диафиза бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы человека совместно со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани (согласно технологии «Autologous conditioned plasma-SVF» (ACP-SVF) (патент US10512659B2).

Животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом на 2-й, 4-й и 6-й нед. послеоперационного периода. В стандартных условиях осуществляли забор операционного материала для последующей гистологической оценки местного влияния костнозамещающих материалов на живые ткани и реализацию репаративного остеогенеза в области реконструкции костных дефектов. Эвтаназию животных осуществляли способом передозировки эфирного наркоза. Дизайн исследования соответствует действующим международным стандартам проведения лабораторных исследований ISO 10993-2-2009.

Подготовка костной матрицы для восполнения дефекта. Для создания матрицы использовали фрагменты депротенизированной губчатой костной ткани головки бедренной кости (человека), резецированной по медицинским показаниям и после комплексного обследования на гемотрансмиссивные инфекции (ВИЧ, гепатит В и С, сифилис). Каждый имплантируемый образец был заранее смоделирован по форме и размерам, соответствующим моделируемому костным дефектам, подвергнут многоэтапной последовательной обработке — механической и физико-химической децеллюляризации и депротенинизации с последующей радиационной стерилизацией (RU 2232585 C2, RU 2223104 C2, RU 2640932 C2).

Размеры фрагментов костной матрицы соответствовали размерам каждого смоделированного костного дефекта и составляли 2×5 мм*. Цилиндрическая форма костной матрицы обеспечивает его стабильное неподвижное расположение в участке имплантации. Проводили исследование местного влияния раздражающего, сенсибилизи-

* ГОСТ ISO 10993-6-2011, действующий до 01.03.2022, и ГОСТ 10993-6-2021 Приложение С, актуальное на момент проведения экспериментальной работы взамен утратившего силу ГОСТ Р ИСО 10993-6-2009 Приложение D.

рующего и цитотоксического действия выбранных костных матриц на живые ткани в области имплантационного ложа*.

Методика получения жировой ткани и стромально-васкулярной фракции жировой ткани. До начала анестезии у животных забирали 2 мл венозной крови из *v. marginalis* с последующим двукратным центрифугированием в течение 10 мин. при частоте 2800 об./мин. [9]. Кожные покровы в области экспериментального хирургического вмешательства освобождали от шерсти и маркировали по стандартной методике [10]. Общую анестезию осуществляли 1% раствором тиопентала натрия с предшествующей местной инфильтрационной анестезией тканей 2 мл 2% раствора лидокаина с 6 мл 0,9% раствора NaCl для каждого этапа операции.

С целью минимизации объема оперативного вмешательства использовали единичный небольшой хирургический доступ по дорсальной поверхности шеи животного, паравертебрально между лопатками и параллельно линии остистых отростков позвонков и осуществляли забор жировой ткани кремово-белого цвета в объеме 2 мл. Именно для этой локализации у взрослых особей кроликов характерно наибольшее количество светло-коричневых жировых клеток (Beige AT), схожих по свойствам с хорошо васкуляризированной бурой жировой тканью [11]. Согласно принципам современной физиологии, у человека при выполнении операций с использованием стромально-васкулярной фракции жировой ткани забор жировой ткани осуществляется из аналогичных анатомических областей тела и параумбиликальной зоны [12]. Полученную жировую ткань укладывали в стерильную чашку Петри с добавлением 4 мл раствора Кляйна (оригинального состава) с последующим измельчением (рис. 1).

Обрабатывали посредством быстрого перегона в системе из двух стерильных инъекционных шприцев до получения однородной массы с последующим распределением по 4 пробиркам типа эппендорф объемом 2 мл и двукратно центрифугировали



Рис. 1. Жировая ткань межлопаточной области кролика линии NZW в процессе обработки по стандартной методике

Fig. 1. Fragmented interscapular adipose tissue of a NZW rabbit during its processing according to the standard method

в течение 10 мин. при частоте оборотов 2800 об./мин. с этапным очищением (дополнительным центрифугированием) и соответственно сокращением объема субстрата. Следующий этап выделения и обработки стромально-васкулярной фракции жировой ткани был проведен по стандартной методике с добавлением центрифугированной крови — выделенной из нее обогащенной тромбоцитами плазмой.

По данным литературы, количество клеток SVF, которые могут быть выделены из подкожной жировой ткани, составляет приблизительно $0,5-2,0 \times 10^6$ на грамм жировой ткани, при этом процентное содержание стволовых клеток колеблется от 1 до 10% [13, 14].

Методика подкожной имплантации костных матриц. После получения жировой ткани хирургическим способом для определения влияния костной матрицы на живые ткани животным подкожно, с двух сторон паравертебрально и параллельно линии остистых отростков позвонков устанавливали фрагменты губчатой депротенизированной костной ткани головки бедренной кости человека размером 5×5 мм с последующим ушиванием кожи стерильным шовным материалом простым непрерывным обвивным швом.

Методика моделирования костных дефектов и их реконструкции костнозамещающими материалами на основе костных матриц. Для оценки эффективности репаративного остеогенеза при реконструкции костных дефектов разными вариантами костнозамещающих материалов на основе костных матриц осуществляли имплантацию фрагментов депротенизированной губчатой костной ткани в моделированные костные дефекты согласно выбранным группам исследования. С этой целью в стерильных условиях под общей комбинированной анестезией выполняли хирургический доступ по латеральной стороне дистальной части бедра. Мягкие ткани разводили тупо по ходу мышечных волокон, надкостницу отслаивали при помощи распатора.

В диафизарной части бедренной кости обеих задних лап каждого животного формировали по три костных дефекта специализированным стерильным хирургическим инструментарием. Два из трех костных дефектов, расположенных

* ГОСТ ISO 10993-6-2011 (действующий до 01.03.2022) и 10993-6-2021 Приложение А, актуальное на момент проведения экспериментальной работы взамен утратившего силу ГОСТ Р ИСО 10993-6-2009 Приложение В.

в диафизе правой бедренной кости, заполняли образцами костного материала в соответствии с группой исследования — 2-я и 3-я группы (рис. 2). Симметричные костные дефекты контралатеральной бедренной кости не заполняли костным материалом, использовали в качестве контроля. Для подтверждения отсутствия вариативности морфологических проявлений репаративной регенерации костной ткани в условиях каждой отдельной особи были сформированы дополнительные дефекты — по одному в диафизарной части бедренной кости на каждой конечности. После этого осуществляли гемостаз и послойное ушивание операционной раны. Осуществляли обработку послеоперационного шва раствором антисептика и порошком антибактериального комбинированного препарата с активными веществами бацитрацин, неомицин.

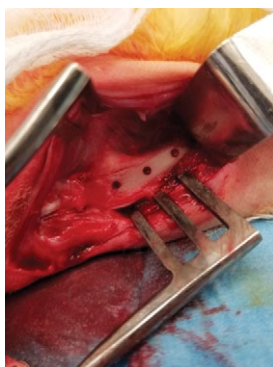


Рис. 2. Хирургическое моделирование дефектов костной ткани в диафизе бедренной кости кролика

Fig. 2. Surgical modeling of bone defects in the femoral diaphysis of a rabbit

Гистологическое исследование операционного материала. Материалом исследования служили фрагменты костной ткани из области хирургического моделирования реконструкции костных дефектов. Образцы фиксировали в 10% нейтральном забуференном растворе формалина в течение 72 ч. с последующей декальцинацией в растворе Рихмана–Гельфанда–Хилла в течение 10 сут. при температуре 20°C. После стандартной гистологической проводки в серии спиртов возрастающей концентрации и ксилоле образцы костной ткани заливали в парафиновые блоки с последующим изготовлением серийных срезов толщиной 4–5 мкм и их окрашиванием гематоксилином и эозином. С целью дифференцированной количественной оценки зрелой и формирующейся соединительной ткани в образцах исследования гистологические срезы окрашивали по Ван Гизону и подвергали импрегнации серебром. После окраски препараты заключали в монтирующую среду под покровное стекло и высушивали в течение 7 дней при комнатной температуре.

Обзорную световую микроскопию с получением обзорных микрофотографий осуществляли на лабораторном микроскопе OLYMPUS CX 43

с фотокамерой OLYMPUS UC 90 (Olympus Medical Systems Corp., Япония). Морфометрическое исследование гистологических образцов участков гетеротопической и ортотопической имплантации материалов исследования проводили с помощью программного обеспечения (ImageJ, v. 1.53o, 2022, Wayne Rasband and contributors National Institutes of Health, США) при увеличении 200. В гистологических срезах оценивали численную плотность сосудов (Nai), из них процент полнокровных сосудов в зоне имплантации (%), объемную плотность зрелых коллагеновых волокон (Vv%), объемную плотность аргирофильных соединительнотканых волокон (Vv%), объемную плотность костной ткани зрелой и новообразованной (Vv%).

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных морфометрических данных осуществляли в программе RStudio (v. 2022.02.1 RStudio, Inc., США) на языке R (v. 4.1.3, Австрия).

Дескриптивные статистики непрерывных показателей рассчитывались в виде медиан [первый квартиль; третий квартиль], среднее \pm стандартное отклонение и минимальное — максимальное значение; у категориальных показателей определялось количество пациентов (частота) для каждой категории.

Сравнение непрерывных показателей между группами проводилось непараметрическим непарным U-критерием Манна–Уитни. Производился расчет смещения распределений с построением 95% доверительного интервала (ДИ) для смещения. Категориальные показатели сравнивали точным двусторонним критерием Фишера. Коррекция ошибки множественного тестирования при сравнении категорий проводилась методом Бенджамини–Хохберга.

Проверка статистических гипотез проводилась при критическом уровне значимости $p = 0,001$, т.е. различие считалось статистически значимым при $p < 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При макроскопической оценке покровных тканей области гетеротопической имплантации костных матриц, начиная со 2-й нед. исследования, морфологических признаков развития местной воспалительной реакции у животных выявлено не было. У всех животных в участках имплантации отмечали формирование состоятельного послеоперационного рубца толщиной до 0,2 см плотной консистенции на всем протяжении. Кожные покровы в области послеоперационного рубца были целостные, бледно-розового цвета, без патологических изменений. Подкожная клетчатка области послеоперационного рубца представлена равно-

мерной прослойкой жировой ткани светло-кремового цвета толщиной до 0,5 см однородной консистенции без патологических изменений.

На 2-й нед. исследования при световой микроскопии гистологических образцов кожи области гетеротопической фиксации имплантата у животных между дермой и мышцей спины отмечали формирование толстостенной соединительнотканной капсулы со слабой инфильтрацией стенок макрофагами и мононуклеарными лейкоцитами. Между волокнами соединительной ткани выявили большое количество мелких тонкостенных кровеносных сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений. В просвете соединительнотканной капсулы сохранялись фрагменты имплантированных депротенизированных губчатых костных матриц, представленные зрелой костной тканью. В тканях, перифокально области имплантации костных матриц, у животных формирования клеточно-воспалительного инфильтрата выявлено не было (рис. 3).

На 4-й нед. исследования у животных дерма не изменена. В месте фиксации имплантированных костных матриц, между дермой и мышечными волокнами, у животных выявили очаги компактно расположенных грубоволокнистых соединительнотканых волокон, которые, вероятно, являются фрагментами фиброзной капсулы. В мышечной оболочке дермы и подкожной клетчатке отмечали большое количество тонкостенных сосудов. Между мышечной оболочкой дермы и подкожной клетчаткой наблюдались участки компактно

расположенных соединительных волокон со слабой очаговой инфильтрацией мононуклеарными лейкоцитами. Во всех слоях дермы у животных определяли очаговую клеточную слабую преимущественно лимфоцитарно-макрофагальную инфильтрацию (рис. 4).

Данные микроскопической картины при гистологическом исследовании образцов кожи с подлежащими мягкими тканями на 6-й нед. экспериментального исследования носили характер, аналогичный выявленным изменениям у животных на предшествующем сроке исследования. При визуальном осмотре покровных тканей участков экспериментального моделирования костных дефектов и их ортотопической реконструкции костно-замещающими материалами у всех животных признаков местно развивающейся воспалительной реакции выявлено не было. Послеоперационные рубцы у всех животных были состоятельны, толщиной до 0,2–0,3 см, плотной консистенции на всем протяжении. Целостность кожных покровов в области послеоперационного рубца была без нарушений и патологических изменений, бледно-розового цвета. Подкожная клетчатка в области послеоперационного рубца в виде равномерно распределенной жировой ткани светло-кремового цвета толщиной до 0,5 см без патологических изменений.

Начиная со 2-й нед. у всех животных в области моделированных костных дефектов и при их заполнении костно-замещающими материалами наблюдали незначительное утолщение кости.

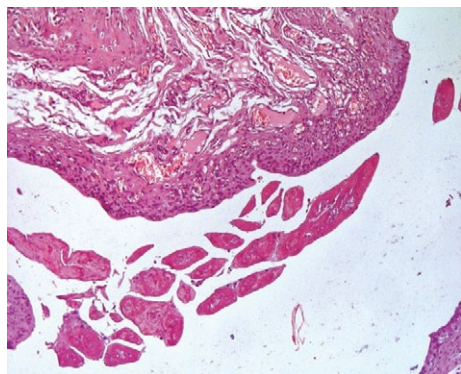


Рис. 3. Фрагмент кожи кролика линии NZW, 2-я нед. исследования: в просвете соединительнотканной капсулы сохранены фрагменты зрелой костной ткани имплантированных костных матриц; слабая инфильтрация стенок соединительнотканной капсулы макрофагами и мононуклеарными лейкоцитами; большое количество мелких полнокровных тонкостенных кровеносных сосудов между волокнами соединительной ткани. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 3. Skin fragment of a NZW rabbit in the 2nd week of study. Fragments of trabecular bone tissue of implanted bone matrix are preserved in the space of connective tissue capsule; poor infiltration of connective tissue capsule walls by macrophages and mononuclear leucocytes; numerous small full-blooded thin-wall vessels between connective tissue fibers. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

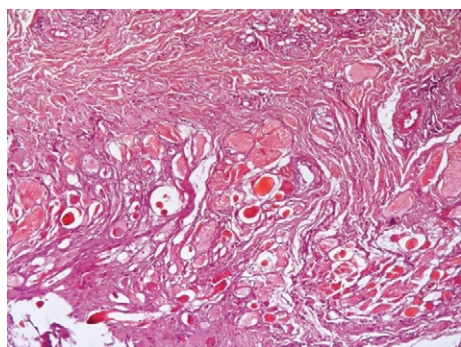


Рис. 4. Фрагмент кожи кролика линии NZW, 4-я нед. исследования: соединительная ткань с очагами слабой инфильтрации мононуклеарными лейкоцитами, с большим количеством мелких полнокровных сосудов. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 4. Skin fragment of a NZW rabbit in the 4th week of study. Connective tissue with foci of poor infiltration by mononuclear leucocytes with numerous small full-blooded vessels. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

К 4-й нед. периода репарации наблюдали формирование костной мозоли, образованной значительной степени пористости костной тканью с последующим ее уплотнением к 6-й нед. исследования. При обзорной световой микроскопии гистологических образцов в 1-й группе исследования на 2-й нед. визуализировали дефекты костной ткани неправильной округлой формы, заполненные плотноволокнистой соединительной тканью, формирование «цепочек» остеобластов, очаговое формирование ретикулофиброзной ткани. Это сопровождалось умеренным полнокровием сосудов с формированием незначительно выраженного периваскулярного отека, слабой клеточно-воспалительной инфильтрацией, преимущественно лимфоцитарно-макрофагального характера (рис. 5а).

К 4-й нед. исследования отмечали компактизацию субхондрально расположенных трабекул костной ткани и сохранение более рыхлого их расположения в толще «костной мозоли»; образование первичных остеонов с первичными крупными гаверсовыми каналами; скопления незрелой костной ткани с большим количеством остеобластов на поверхности трабекул. Среди петель сформированной ретикулярной соединительной ткани и между волокнами грубоволокнистой соединительной ткани сохранялось большое количество кровеносных сосудов без признаков нарушения гемоциркуляции. Степень выраженности клеточной реакции соответствовала предыдущему сроку наблюдения. К 6-й нед. исследования происходило значительное уплотнение костной ткани в зоне моделированного дефекта за счет заполнения губчатой костью, тесно связанной с окружающей хрящевой тканью. В области внутренней поверхности дефектов происходило дальнейшее образование правильно ориентированных компактных костных балок со скоплением остеобластов на поверхности трабекул, формирование лакун элемен-

тами костного мозга (рис. 5б). Сохранялись очаги слабо выраженной клеточно-воспалительной инфильтрации лимфоцитарно-макрофагального характера.

При световой микроскопии образцов костной ткани 2-й группы на 2-й нед. отмечали полное заполнение костного дефекта фрагментами костно-замещающего материала и плотное прилегание фрагментов к собственной зрелой костной ткани в области внутренней поверхности зоны дефекта. Во все периоды исследования хорошо выраженная кортикальная пластинка и губчатая кость имели развитую архитектуру трабекул с пластинчатым строением и хорошо выраженными гаверсовыми каналами, формированием остеонов со слабо выраженной структурой. На 2-й нед. исследования выявили значительное количество истонченных костных трабекул, хаотично расположенных с расширением межтрабекулярного пространства, заполненного большим количеством ретикулярных и грубоволокнистых соединительнотканых волокон. Губчатое вещество костных балок представлено пластинчатой костной тканью с поверхностным формированием цепочек остеобластов (рис. 6а).

Помимо этого, определялась очаговая клеточная инфильтрация лимфоцитарно-макрофагального характера. На 4-й нед. исследования формирование трабекул костной ткани сохранялось. Межбалочные пространства были заполнены ретикулярной соединительной тканью с участками грубоволокнистой неоформленной соединительной ткани с сохранением большого количества кровеносных сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений.

Аналогичные изменения были выявлены и на 6-й нед. исследования. При этом трабекулы губчатой кости были представлены зрелой костной тканью с очаговыми отложениями остеоида и формированием цепочек из остеобластов на поверхности. Сохранялись участки дезорганизации

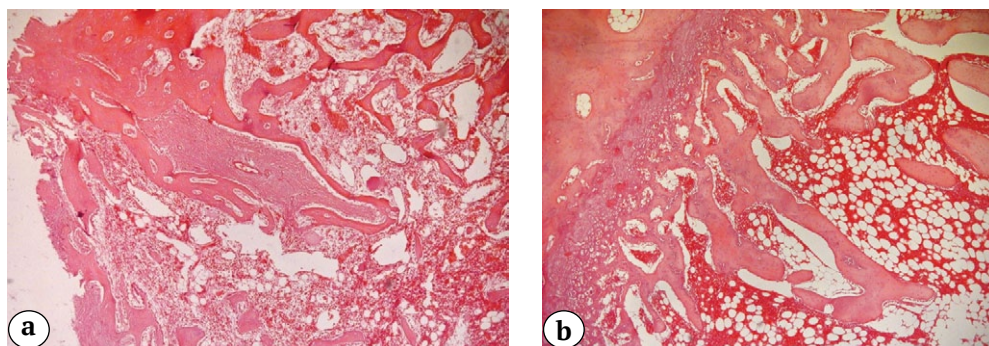


Рис. 5. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика линии NZW, область костного дефекта: а — 2-я нед. исследования; б — 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 5. Bone tissue fragment of the femur of a NZW rabbit, bone defect area: а — in the 2nd week of study; б — in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

использованного костного матрикса в участках локализации многоядерных гигантских клеток и сохранения клеточного макрофагального инфильтрата. В большей степени это было выражено в области кортикальной пластинки. В сохраняющихся участках формирования ретикулярной соединительной ткани отмечали очаговое полнокровие сосудов (рис. 6b).

При визуализации гистологических образцов костной ткани 3-й группы выявили прогрессирующие признаки репаративного остеогенеза с 2-й по 6-ю нед. исследования, которые были выражены в большей степени в сравнении с аналогичными гистологическими проявлениями в соответствующие сроки исследования в образцах 1-й и 2-й групп.

К 6-й нед. исследования выявили формирование костной ткани, представленной кортикальной пластинкой с первичными широкими гаверсовыми каналами, в области прилегания к стенке дефекта костной ткани (рис. 7).

В вышерасположенных участках определяли отдельные очаги костного регенерата с фрагментами костнозамещающего материала, окруженного новообразованными костными балками с формированием на поверхности «цепочек» остеобластов

и отложением остеоида. Новообразованная костная ткань плотно прилегала к участкам костнозамещающего материала, местами образуя единую структуру с очагами резорбции костной ткани в участках локализации гигантских многоядерных клеток. Межбалочное пространство было заполнено стромальным компонентом костного мозга, преимущественно ретикулярными соединительнотканными волокнами, неоформленными волокнами грубоволокнистой соединительной ткани с достаточным количеством сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений. Помимо этого, сохранялись участки лимфоцитарно-макрофагальной инфильтрации.

При морфометрическом исследовании образцов костной ткани области моделирования костного дефекта и его реконструкции разными костнозамещающими материалами во всех группах было выявлено прогрессивное увеличение показателя численной плотности сосудов к 6-й нед. исследования, в том числе полнокровных. При этом в 3-й группе величина показателя численной плотности сосудов была больше на 2-й, 4-й и 6-й нед. исследования в 1,8; 2,3 и 1,5 раза соответственно, чем в образцах 1-й (контрольной) группы, и несколько больше, чем во 2-й группе (табл. 1).

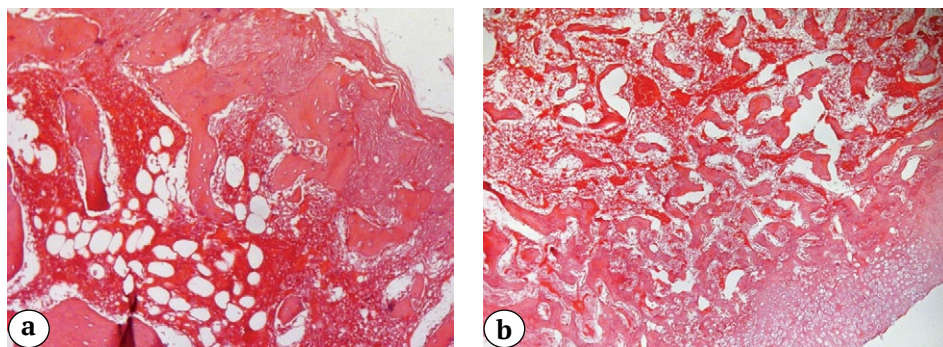


Рис. 6. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика, область замещения костного дефекта депротенизированной губчатой костной тканью: а — 2-я нед. исследования; б — 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 6. Bone tissue fragment of rabbit femur, area of bone defect replacement with deproteinized cancellous bone tissue: а — in the 2nd week of study; б — in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

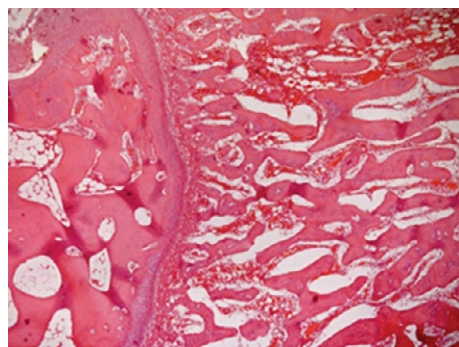


Рис. 7. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика, область замещения костного дефекта тканеинженерной конструкцией на основе депротенизированной губчатой костной ткани и стромально-васкулярной фракции жировой ткани, 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 7. Bone tissue fragment of rabbit femur, area of bone defect replacement with tissue-engineered construct based on deproteinized cancellous bone tissue and adipose tissue-derived stromal vascular fraction in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

Таблица 1

Результаты гистологического исследования репаративного остеогенеза при ортогипической реконструкции костных дефектов разными видами костнозамещающего материала, M±m

Параметр	Группа исследования																													
	1-я группа (контрольная) Костный дефект без замещения			2-я группа Костный дефект с замещением губчатой депротенизированной костной матрицей			3-я группа Костный дефект с замещением губчатой депротенизированной костной матрицей + SVF			Неделя исследования																				
	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я																		
Численная плотность сосудов в образцах костной ткани, N_{v1}	5,61±1,50	8,25±1,50	16,66±5,70	10,43±3,50*	18,73±2,20*	23,70±6,80*	10,40±3,41*	20,36±4,50**	26,31±7,90**	54,44±0,20	78,82±0,20	96,58±0,10	38,50±0,20*	75,49±0,20*	92,20±0,10*	81,19±0,20**	64,45±0,20*	97,37±0,30	5,15±0,60	7,08±1,10	12,68±2,50	6,35±3,80*	8,83±2,55*	9,26±1,60*	6,88±1,50*	9,30±1,10*	10,68±1,60**			
Объемная плотность коллагеновых волокон в образцах костной ткани, V_{v1} %	7,33±0,70	11,83±1,10	14,19±2,40	7,25±1,80	9,95±1,60*	10,03±2,20*	9,66±1,30**	10,23±1,90*	10,65±2,10*	2,88±0,70	6,43±0,80	8,98±1,60	5,98±2,80*	8,81±1,50*	12,83±1,50*	8,63±2,20**	11,51±2,50**	14,58±2,20**	3,81±0,70	6,43±0,80	9,26±2,10	6,11±3,20*	9,81±1,60*	13,53±2,70*	9,51±2,20**	12,95±2,71**	16,43±2,10**			
Объемная плотность зрелой костной ткани, V_{v2} %																														
Объемная плотность новообразованной костной ткани, V_{v3} %																														

* — статистически значимые отличия величин рассматриваемых параметров от аналогичных показателей в контрольной группе при $p < 0,001$.

** — статистически значимые отличия величин рассматриваемых параметров от аналогичных показателей во 2-й группе при $p < 0,001$.

При оценке показателя объемной плотности коллагеновых соединительнотканых волокон в образцах исследования 3-й группы выявили его динамическое увеличение на 36% со 2-й по 6-ю нед. При этом величина данного показателя уже на 2-й нед. исследования была больше на 25%, чем в образцах 1-й группы, однако на 6-й нед. отмечали ее незначительное уменьшение. При этом во все сроки исследования величина данного параметра была незначительно больше, чем в образцах 2-й группы. Это сопровождалось незначительным прогрессирующим увеличением показателя объемной плотности аргирофильных волокон в образцах 3-й группы и его некоторым преобладанием над величиной данного параметра во 2-й группе на 2-й и 4-й нед. исследования. К 6-й нед. разница в величинах данного показателя невеликовалась. Прогрессирующее увеличение показателя объемной плотности аргирофильных волокон в образцах 1-й и 2-й групп выявили с 2-й по 6-ю нед. (в 2 раза). При этом объемная плотность аргирофильных волокон в 1-й группе исследования на 6-й нед. была больше на 28Vv% в сравнении с величиной аналогичного показателя во 2-й и 3-й группах.

Величина объемной плотности новообразованной костной ткани прогрессивно увеличивалась с 2-й по 6-ю нед.: в 1-й группе — в 1,6 раза, во 2-й группе — в 2,2 раза и в 3-й группе — в 1,7 раза. При этом во все периоды наблюдения объемная плотность новообразованной костной ткани в 3-й группе была статистически значимо больше, чем в 1-й группе, примерно в 2 раза. Объемная плотность зрелой костной ткани в образцах исследования увеличивалась с 2-й по 6-ю нед. во всех группах. При этом величины данного показателя в 2-й и 3-й группах были больше, чем в 1-й группе, во все сроки наблюдения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор кролика в качестве модели животного для настоящего исследования обоснован аналогичным типом репаративного остеогенеза по гавверсовому типу у данного вида млекопитающих и человека [15]. Это позволяет экстраполировать результаты данного исследования на человека.

Выбор в качестве костной матрицы депротеинизированной губчатой костной ткани резецированной головки бедренной кости человека обоснован данными научной литературы и результатами собственных ранее проведенных исследований, которые выявили свойства данного материала, позволяющие использовать его в качестве самостоятельного костнозамещающего материала и рассматривать в качестве костной матрицы для создания эффективных тканеинженерных конструкций [16, 17] (рис. 8).



Рис. 8. Механизмы воздействия костнопластического материала на процессы регенерации кости

Fig. 8. Mechanisms of osteoplastic material impact on bone regeneration processes

В случае использования конструкции на базе депротеинизированной костной матрицы с содержанием аутологичного материала, способного воздействовать на регенерацию костной ткани, происходит включение всех четырех процессов регенерации костной ткани: остеобластического, остеоиндуктивного, остеокондуктивного и стимулированного остеогенеза.

Несмотря на то, что в нашем исследовании использованные костные матрицы в отношении выбранной модели животных (кролик) являются ксеногенными, начиная со 2-й нед. выявили отсутствие макро- и микроскопических морфологических признаков формирования местной воспалительной реакции мягких тканей и отторжения костных матриц в участках их гетеротопической имплантации в 2-й и 3-й группах. Это обусловлено соответствующими свойствами использованных костных матриц — физико-химическими и биологическими, удовлетворяющими характеристикам окружающих тканей в участках имплантации, что, в свою очередь, определяется способом и степенью очистки губчатой костной ткани от антигенных структур [18, 19, 20].

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии токсического действия выбранного материала в отношении живых клеток и тканей *in vivo* и иммунной реакции макроорганизма. Это позволило использовать его в качестве костных матриц для разработки тканеинженерных конструкций и дальнейшего изучения их эффективности.

В качестве биологически активного компонента для создания тканеинженерной конструкции на основе депротеинизированной губчатой костной матрицы была выбрана стромально-васкулярная фракция жировой ткани, выделенная и обработанная по стандартной методике, что позволяет исключить проведение дополнительной экспериментальной количественной оценки клеточного

состава полученной фракции [13, 14, 21]. Это обосновано клеточным составом фракции и свойствами самих клеток — стволовые клетки жировой ткани, эндотелиальные и гладкомышечные клетки кровеносных сосудов и их предшественники, фибробласты, макрофаги, Т-лимфоциты, перicyты и другие клетки, обуславливающие выраженный регенераторный потенциал, выраженное противовоспалительное действие и иммунорегуляторную активность. Также факторы стромально-васкулярной фракции стимулируют образование сосудистой сети, что способствует регенерации костной ткани [22, 23, 24, 25].

Разработка новых методов активации репаративного остеогенеза с помощью разных костнозамещающих материалов требует объективных данных о безопасности и эффективности используемых материалов [26]. Получить объективные и достоверные данные о состоянии репаративного остеогенеза можно с помощью микроскопического исследования гистологических образцов костной ткани. Гистологическое исследование позволяет оценить клеточные и тканевые реакции, формирующиеся в ответ на разного рода патологические воздействия, и определить степень выраженности репаративной регенерации костной ткани — ключевое звено в исследованиях по поиску эффективных и безопасных костнозамещающих материалов и разработке на их основе тканеинженерных конструкций для травматологии и ортопедии.

Современные методы обработки фрагментов костной ткани позволяют получить гистологические препараты костных регенератов хорошего качества. Важную роль при оценке состояния костной ткани играет гистологическая окраска. Использование рутинного окрашивания гематоксилином и эозином позволяет оценить качество гистологических срезов, провести обзорную оценку гистологических критериев изучаемого процесса. Для уточнения полученной информации о характере выявленных процессов в костном регенерате в работе использовали дополнительные гистохимические методы окраски — по Ван Гизону, импрегнация серебром.

Для осуществления морфометрического исследования важным является также качество окрашивания образцов, так как это напрямую влияет на получение достоверных, статистически обоснованных результатов исследований. Разработка новых костнозамещающих продуктов на основе, в частности, депротенизированной губчатой костной матрицы, невозможна без проведения морфометрической оценки гистологических критериев биологической безопасности используемого материала и его способности эффективно активировать репаративный остеогенез. В настоящее время отсутствует четкая система морфометрии, адаптированная для костной ткани. Необходимым

является исследование как фрагментов самого костного регенерата, так и структурных компонентов костнозамещающего материала, помещенного в костный дефект, так как он обуславливает реализацию, в большей или меньшей степени выраженности, каскада специфических реакций на введение данного агента, исходя из его свойств [27].

В нашем исследовании была проведена морфологическая и морфометрическая оценка костных регенератов после имплантации костнозамещающих материалов на основе костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани резецированной головки бедренной кости человека и аналогичной костной матрицы с добавлением стромально-васкулярной фракции жировой ткани. С целью комплексной оценки биологических (остеокондуктивных, остеоиндуктивных, остеогенных) свойств костнозамещающих материалов осуществляли подсчет относительного объема «зрелой» и новообразованной костной ткани. Динамика изменения показателя объемной плотности «зрелой» костной ткани была аналогичной показателю объемной плотности «незрелой» костной ткани в гистологических образцах при имплантации костнозамещающих материалов. Минимальным показателем объемной плотности новообразованной и «зрелой» костной ткани был в гистологических образцах без замещения костных дефектов. Помимо этого, выявили склонность к формированию грубоволокнистой соединительной ткани на поверхности костного регенерата и внутри него в случаях заполнения костного дефекта депротенизированной костной матрицей и при ее сочетании с SVF. Выраженное формирование грубоволокнистой соединительной ткани, локализованной преимущественно над поверхностью регенерата, выявили при отсутствии замещения костного дефекта. Это сопровождалось тем, что объемная плотность аргирофильных соединительнотканых волокон преобладала над показателем объемной плотности коллагеновых волокон во все периоды исследования. Также преобладание аргирофильных волокон при самопроизвольном заживлении костного дефекта над показателями в образцах костной ткани при замещении костных дефектов выбранными костнозамещающими материалами могут быть косвенным признаком нарушения дифференцировки соединительной ткани в области самопроизвольного заживления костного дефекта и причиной формирования осложнений, таких как ложный сустав.

Вероятно, формирование выявленных структурных изменений обусловлено, в том числе, влиянием про- и противовоспалительной активности клеток в составе лимфоцитарно-макрофагального клеточного инфильтрата в ответ на инородное тело при реконструкции костных дефектов, что может слу-

жить активатором процесса ремоделирования костной ткани. Динамику репаративного остеогенеза и ремоделирование костной ткани в данной экспериментальной работе оценивали в гистологических образцах костной ткани трех временных точек исследования. Принимая во внимание непродолжительный период исследования, выявленные структурные изменения свидетельствуют о преобладании процессов репарации костной ткани в области ее дефектов над процессами резорбции и ремоделирования, что в большей степени выражено при использовании костнозамещающих материалов.

Сравнительный анализ репаративных процессов при использовании костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани человека и при ее сочетании с SVF на экспериментальной модели *in vivo* выявил, что использование указанных костнозамещающих материалов способствует не только ранней активации репаративной регенерации основных структурных элементов костной ткани в месте замещения костного дефекта, но и их своевременной дифференцировке. Это обуславливает восстановление структурно-функциональной состоятельной костной ткани в месте повреждения, не вызывая развития выраженного реактивного воспаления. Использование тканеинженерной конструкции в составе с SVF на депротенизированной костной матрице позволяет задействовать все механизмы регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием костной матрицы или без заполнения дефекта. Действие выбранной тканеинженерной конструк-

ции с сочетанным влиянием нескольких факторов в ее составе оказалось более эффективным в отношении активации регенерации костной ткани. Следовательно, это подтверждает возможность использования костной матрицы на основе депротенизированной губчатой костной ткани для создания тканеинженерных конструкций.

Ограничения исследования

Ограничением настоящего исследования послужило использование стромально-васкулярной фракции аутологичной жировой ткани в качестве компонента при создании тканеинженерной конструкции, несмотря на многообразие субстратов, потенциально воздействующих на процессы остеогенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам макро- и микроскопической оценки тканей области гетеротопической и ортотопической имплантации депротенизированных костных матриц отсутствовали признаки воспаления и деструктивных изменений в тканях, что является признаком биологической безопасности в отношении живых тканей.

Использование сочетания SVF с депротенизированной костной матрицей для создания тканеинженерной конструкции позволяет задействовать несколько механизмов регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием депротенизированной костной матрицы и без реконструкции костного дефекта.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Анастасиева Е.А. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, редактирование статьи.

Черданцева Л.А. — анализ и интерпретация данных, редактирование статьи.

Толстикова Т.Г. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных.

Кирилова И.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование 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. Государственное бюджетное финансирование.

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

DISCLAIMERS

Author contribution

Anastasieva E.A. — research conception and design, analysis and statistical processing of data, writing the draft, text editing.

Cherdantseva L.A. — analysis and statistical processing of data, text editing.

Tolstikova T.G. — research conception and design, analysis and statistical processing of data.

Kirilova I.A. — research conception and design, text editing.

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 budgetary funding.

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

Этическая экспертиза. Все исследования были проведены в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (18.03.1986) и Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19.03.2003 г. № 226).

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Ethics approval. All studies were carried out in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or for Other Scientific Purposes (March 18, 1986) and the Rules for Conducting Researches Using Experimental Animals (Order of Health Ministry of Russian Federation, March 19, 2003 No. 226).

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Гуражев М.Б., Байтов В.С., Гаврилов А.Н., Павлов В.В., Короткин А.А. Методы замещения костного дефицита большеберцовой кости при первичном эндопротезировании коленного сустава: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):173-188. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-173-188. Gurazhev M.B., Baitov V.S., Gavrilov A.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A. [Methods of the Tibia Bone Defect in Primary Knee Arthroplasty: Systematic Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(3):173-188. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-173-188.
2. Stewart S.K. Fracture non-union: a review of clinical challenges and future research needs. *Malaysian Orthop J*. 2019;13(2):1-10. doi: 10.5704/2FMOJ.1907.001.
3. Кирилова И.А., Подорожная В.Т. Сравнительная характеристика материалов для костной пластики: состав и свойства. В кн.: *Физико-химические и механические свойства внеклеточного матрикса как сигналы для управления пролиферацией, дифференцировкой, подвижностью и таксисом клеток*. Москва: ФИЗМАТЛИТ; 2021. с. 27-54. Kirilova I.A., Podorozhnaya V.T. Comparative characteristics of materials for bone grafting: composition and properties. In: *Physicochemical and mechanical properties of the extracellular matrix as signals for controlling proliferation, differentiation, motility and taxis of cells*. Moscow: FIZMATLIT; 2021. p. 27-54. (In Russian).
4. Шастов А.Л., Кононович Н.А., Горбач Е.Н. Проблема замещения посттравматических дефектов длинных костей в отечественной травматолого-ортопедической практике (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2018;24(2):252-257. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-252-257. Shastov A.L., Kononovich N.A., Gorbach E.N. [Management of posttraumatic long bone defects in the national and foreign orthopedic practice (literature review)]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2018;24(2):252-257. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-252-257.
5. Wang W., Yeung K.W.K. Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: A review. *Bioact Mater*. 2017;2(4):224-247. doi: 10.1016/j.bioactmat.2017.05.007.
6. Короткин А.А., Захарова Д.В., Новикова Я.С., Горбатов Р.О., Ковалдов К.А., Эль Мудни Ю.М. Опыт применения индивидуальных трехфланцевых вертлужных компонентов при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(4):101-111. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-101-111. Korytkin A.A., Zakharova D.V., Novikova Ya.S., Gorbatov R.O., Kovaldov K.A., El Moudni Y.M. [Custom Triflange Acetabular Components in Revision Hip Replacement (experience Review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(4):101-111. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-101-111.
7. Тихилов Р.М., Джавадов А.А., Денисов А.О., Чилилов А.М., Черкасов М.А., Билык С.С. и др. Анализ экономической эффективности использования индивидуальных и серийных вертлужных конструкций при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):234-240. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Denisov A.O., Chililov A.M., Cherkasov M.A., Bilyk S.S. et al. [Cost-effectiveness analysis of custom-made and serial acetabular components in revision hip arthroplasty]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2022;28(2):234-240. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240.
8. Yu X., Tang X., Gohil S.V., Laurencin C.T. Biomaterials for bone regenerative engineering. *Adv Healthc Mater*. 2015;4(9):1268-1285. doi: 10.1002/adhm.201400760.
9. Hrapkiewicz K., Colby L.A., Denison P. Clinical laboratory animal medicine: an introduction. John Wiley & Sons; 2013. 431 p.
10. Liu E., Fan J. Fundamentals of Laboratory Animal Science. CRC Press; 2017. 352 p.
11. Heuther S. Obesity and disorders of nutrition. In: Brashers V.L. et al. (ed.). *Pathophysiology: the biologic basis for disease in adults and children*. 8th edition. Elsevier; 2018. p 2268-2313.
12. Baljit S. Part I. General anatomy. In: Baljit S. ed. *Dyce, Sack, and Wensing's textbook of veterinary anatomy*. London: Elsevier; 2017 (Ed. 5). p. 1-28.
13. Oedayrajsingh-Varma M.J., Van Ham S.M., Knippenberg M., Helder M.N., Klein-Nulend J., Schouten T.E. et al. Adipose tissue-derived mesenchymal stem cell yield and growth characteristics are affected by the tissue-harvesting procedure. *Cytotherapy*. 2006;8(2):166-177. doi: 10.1080/14653240600621125.
14. Baer P.C., Geiger H. Adipose-derived mesenchymal stromal/stem cells: tissue localization, characterization, and heterogeneity. *Stem Cells Int*. 2012;2012:812693. doi: 10.1155/2012/812693.
15. Permuy M., López-Peña M., Muñoz F., González-Cantalapiedra A. Rabbit as model for osteoporosis research. *J Bone Miner Metab*. 2019;37(4):573-583. doi: 10.1007/s00774-019-01007-x.
16. Подорожная В.Т., Садовой М.А., Кирилова И.А., Шаркеев Ю.П., Легостаева Е.В. Аллогенные костные материалы: структура, свойства, применение. *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013;56(12-3):14-20.

- Podorozhnaya V.T., Sadovoi M.A., Kirilova I.A., Sharkeev Yu.P., Legostaeva E.V. [Allogeneic bone materials: structure, properties, application]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika* [Russian Physics Journal]. 2013;56(12-3):14-20. (In Russian).
17. Черданцева Л.А., Анастасиева Е.А., Алейник Д.Я., Егорихина М.Н., Кирилова И.А. Оценка *in vitro* влияния аллогенной костной матрицы на характеристики мезенхимальных стромальных клеток из жировой ткани при создании комбинированных тканеинженерных конструкций. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):53-65. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-53-65. Cherdantseva L.A., Anastasieva E.A., Aleynik D.Ya., Egorikhina M.N., Kirilova I.A. [In Vitro Evaluation of the Allogeneic Bone Matrix Effect on the Adipose Mesenchymal Stromal Cells Characteristics in Combined Tissue Engineering]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):53-65. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-53-65.
 18. Воробьев К.А., Божкова С.А., Тихилов Р.М., Черный А.Ж. Современные способы обработки и стерилизации аллогенных костных тканей (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(3):134-147. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-134-147. Vorobyov K.A., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Cherny A.Zh. [Current Methods of Processing and Sterilization of Bone Allografts (Review of Literature)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(3):134-147. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-134-147.
 19. Воробьев К.А., Божкова С.А., Анисимова Л.И., Нетьлько Г.И. Влияние методов заготовки костно-пластического материала на процессы ремоделирования в модели костного дефекта в эксперименте *in vivo*. *Практическая медицина*. 2019;17(1):67-72. Vorobyov K.A., Bozhkova S.A., Anisimova L.I., Netylko G.I. [Effect of the osteoplastic material processing methods on the remodeling in the experimental bone defect model *in vivo*]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical medicine]. 2019;17(1):67-72. (In Russian).
 20. Кирилова И.А. Анатомо-функциональные свойства кости как основа создания костно-пластических материалов для травматологии и ортопедии. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2019. 256 p. Kirilova I.A. [Anatomical and functional properties of bone as the basis for the creation of osteoplastic materials for traumatology and orthopedics]. Moscow: FIZMATLIT; 2019. 256 p. (In Russian).
 21. Sharun K., Pawde A.M., Kumar R., Kalaiselvan E., Kinjavdekar P., Dhama K. et al. Standardization and characterization of adipose-derived stromal vascular fraction from New Zealand white rabbits for bone tissue engineering. *Vet World*. 2021;14(2):508-514. doi: 10.14202/vetworld.2021.508-514.
 22. Guo J., Nguyen A., Banyard D.A., Fadavi D., Toronto J.D., Wirth G.A. et al. Stromal vascular fraction: A regenerative reality? Part 2: Mechanisms of regenerative action. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2016;69(2):180-188. doi: 10.1016/j.bjps.2015.10.014.
 23. Bora P., Majumdar A.S. Adipose tissue-derived stromal vascular fraction in regenerative medicine: a brief review on biology and translation. *Stem Cell Res Ther*. 2017;8(1):145. doi: 10.1186/s13287-017-0598-y.
 24. Gentile P., Sterodimas A., Pizzicannella J., Dionisi L., De Fazio D., Calabrese C. et al. Systematic Review: Allogenic Use of Stromal Vascular Fraction (SVF) and Decellularized Extracellular Matrices (ECM) as Advanced Therapy Medicinal Products (ATMP) in Tissue Regeneration. *Int J Mol Sci*. 2020;21(14):4982. doi: 10.3390/ijms21144982.
 25. Павлов В.Н., Казихиновуров А.А., Казихиновуров Р.А., Пушкарев А.М., Агавердиев М.А., Максимова С.Ю. и др. Современные возможности клинического применения стромально-вазкулярной фракции жировой ткани. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2020;15(6(90)):142-153. Pavlov V.N., Kazikhinurov A.A., Kazikhinurov R.A., Pushkarev A.M., Agaverdiev M.A., Maximova S.Yu. et al. [Modern possibilities of clinical application of the adipose tissue-derived stromal vascular fraction. Literature review]. *Meditsinskii vestnik Bashkortostana* [Bashkortostan Medical Journal]. 2020;15(6(90)):142-153. (In Russian).
 26. Хоминец В.В., Воробьев К.А., Соколова М.О., Иванова А.К., Комаров А.В. Аллогенные остеопластические материалы для реконструктивной хирургии боевых травм. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090. Khominets V.V., Vorobevev K.A., Sokolova M.O., Ivanova A.K., Komarov A.V. [Allogenic osteoplastic materials for reconstructive surgery of combat injuries]. *Izvestiya Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Russian Military Medical Academy Reports]. 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090.
 27. Elgali I., Turri A., Xia W., Norlindh B., Johansson A., Dahlin C. et al. Guided bone regeneration using resorbable membrane and different bone substitutes: Early histological and molecular events. *Acta Biomater*. 2016;29:409-423. doi: 10.1016/j.actbio.2015.10.005.

Сведения об авторах

✉ Анастасиева Евгения Андреевна

Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17
<https://orcid.org/0000-0002-9329-8373>
 e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Черданцева Лилия Александровна — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-4729-3694>
 e-mail: cherdanceff@yandex.ru

Толстикова Татьяна Генриховна — д-р биол. наук
<https://orcid.org/0000-0002-3750-2958>
 e-mail: tg_tolstikova@mail.ru

Кирилова Ирина Анатольевна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>
 e-mail: irinakirilova71@mail.ru

Authors' information

✉ Evgeniya A. Anastasieva

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9329-8373>
 e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Liliya A. Cherdantseva — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-4729-3694>
 e-mail: cherdanceff@yandex.ru

Tatyana G. Tolstikova — Dr. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-3750-2958>
 e-mail: tg_tolstikova@mail.ru

Irina A. Kirilova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>
 e-mail: irinakirilova71@mail.ru



Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Andrei P. Sereda^{1,2}, Alisagib A. Dzhavadov¹, Alexander A. Cherny¹, Stanislav S. Bilyk¹, Alexey O. Denisov¹, Igor I. Shubnyakov¹, Nikolai N. Kornilov^{1,3}, Alexander I. Avdeev¹, Alexey A. Stolyarov⁴, Alexander S. Demin¹, Rashid M. Tikhilov¹

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

³ Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

⁴ Stavropol State University, Stavropol, Russia

Background. Today in Russia, the follow-up of patients after arthroplasty is carried out in accordance with clinical guidelines, the wording of which is based on monographs from 2006, 2008, and 2014, in addition, clinical guidelines for follow-up do not take into account the results of treatment assessed by the patient himself.

The purpose of this study was to examine existing systems and develop a proprietary follow-up system for patients after hip and knee arthroplasty.

Results. A review of the literature revealed that follow-up of patients after arthroplasty is an unsolved problem, within which there is low coverage, reluctance or forgetfulness of the asymptomatic patient, the problem of accessibility of medical examinations, and an excessive financial burden on the health care system. Since 2022, fixed recommendations for follow-up after arthroplasty have been used in the clinical practice of our center in discharge epicrisis. Recommendations for the frequency of follow-up were formulated by experts based on a comprehensive review of the literature and their own experience. In the first three months, 221 hip and 235 knee evaluation questionnaires were collected through the proposed mechanism, with a progressive increase in the number of questionnaires based on weekly monitoring data.

Conclusion. Unfortunately, the outpatient clinic system is not always able to provide qualitative monitoring of patients after arthroplasty due to various reasons, therefore, in our opinion, the implementation of the mechanism of remote monitoring of patients will allow detecting various complications at the stage of early diagnosis, which will contribute to prompt solution of these problems. The remote monitoring system is also an important source of scientific data.

Keywords: knee arthroplasty, hip arthroplasty, remote monitoring, follow-up.

Cite as: Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M. Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedic. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):60-72. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>.

✉ Alisagib A. Dzhavadov; e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Submitted: 01.11.2022. Accepted: 31.01.2023. Published Online: 13.02.2023.

© Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M., 2023

Научная статья

УДК [616.728.2+616.728.3]-089.844-089.17
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>

Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена

А.П. Середа^{1,2}, А.А. Джавадов¹, А.А. Черный¹, С.С. Билык¹, А.О. Денисов¹, И.И. Шубняков¹, Н.Н. Корнилов^{1,3}, А.И. Авдеев¹, А.А. Столяров⁴, А.С. Демин¹, Р.М. Тихилов¹

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

³ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ ФГБОУ «Ставропольский государственный университет», г. Ставрополь, Россия

Актуальность. На сегодняшний день в России диспансерное наблюдение за пациентами после эндопротезирования осуществляется в соответствии с клиническими рекомендациями, формулировки из которых основаны на монографиях 2006, 2008 и 2014 гг. Кроме того, клинические рекомендации по диспансерному наблюдению не учитывают результаты лечения, оцененные самим пациентом.

Целью данного исследования было изучение существующих систем и разработка собственной системы наблюдения за пациентами после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов.

Результаты. Обзор литературы выявил, что наблюдение за пациентами после эндопротезирования представляет собой нерешенную проблему, составляющими которой являются низкий охват, нежелание или забывчивость асимптомных пациентов, проблема доступности медицинских осмотров, избыточная финансовая нагрузка на систему здравоохранения. С 2022 г. в клинической практике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в выписных эпикризах используются рекомендации по наблюдению после эндопротезирования. Рекомендации по периодичности наблюдений были сформулированы экспертами на основе всестороннего обзора литературы и собственного опыта. За первые три месяца собрана 221 анкета по оценке тазобедренного сустава и 235 — коленного сустава, причем число анкет по данным еженедельного мониторинга прогрессивно возрастает.

Заключение. К сожалению, поликлиническая система не всегда может обеспечить качественное наблюдение за пациентами после эндопротезирования в силу различных причин, поэтому реализация механизма удаленного наблюдения за пациентами, на наш взгляд, позволит выявлять на этапе ранней диагностики различные осложнения, что будет способствовать оперативному решению данной проблемы. Также система удаленного наблюдения представляет собой важный источник научных данных.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава, эндопротезирование тазобедренного сустава, диспансерное наблюдение.

☞ Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Билык С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М. Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):60-72. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>.

✉ Джавадов Алисагиб Аббасович; e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Рукопись получена: 01.11.2022. Рукопись одобрена: 31.01.2023. Статья опубликована онлайн: 13.02.2023.

© Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Билык С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М., 2023

BACKGROUND

The number of hip and knee arthroplasties is steadily increasing worldwide [1]. According to the report of the Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, in 2018, 116 597 surgeries were performed in the Russian Federation, including 70 316 hip arthroplasties and 42 904 knee arthroplasties, with a ratio of 1.6:1.0 [2].

The report of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics showed even higher numbers of arthroplasties in 2019 in Russia, with 83 311 primary hip arthroplasties, 63 750 knee arthroplasties (ratio 1.3:1.0), 5 197 hip revision arthroplasties, and 2 573 knee revision arthroplasties. The ratio of revision to primary surgeries for the hip joint was 1:16, and for the knee joint was 1:25. Thus, knee revisions were performed 1.55 times less frequently than hip revisions [3]. The higher numbers in the report of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics were due to the inclusion of medical organizations of federal subordination and private medical organizations in the analysis, unlike the report of the Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics.

According to clinical recommendations, after hip arthroplasty [4] it is recommended to perform X-ray examination of the hip joints in two projections at 3 and 12 months, and then once every 5 years [5, 6]. Clinical recommendations for knee arthritis [7] dictate the need for X-ray examination after arthroplasties at 6 and 12 months, and then once every 5 years [8].

As can be seen, the formulation of clinical recommendations on the frequency of postoperative radiological examination after arthroplasties of both hip and knee joints is based on monographs from 2006, 2008, and 2014 [5, 6, 8], which are not scientific studies focused on the question of the periodicity of postoperative follow-up. Furthermore, clinical recommendations on follow-up completely ignore patient-evaluated clinical outcomes, known as Patient Related Outcome Measures (PROM), the patient's quality of life, and its dynamics. As a result, a vicious idea may emerge that only dispensary radiological evaluation will serve as a measure of whether the patient needs revision or whether the operation was effective.

PROM has an important feature — it is an entirely subjective assessment that only takes into account the patient's evaluation of their own results. Therefore, PROM can be conducted remotely without burdening the patient with visits to healthcare institutions. This not only opens up new horizons for actual patient follow-up, but also theoretically increases patient compliance with prescribed recommendations and reduces the burden on the healthcare system by excluding visits that do not have any impact.

Since, according to normative documents, dispensary follow-up is limited only to X-rays and does not include PROM, in this article, we will use the term "follow-up", which implies not only a complex of dispensary follow-up but also a system of decision-making and information transfer.

The aim of the study is to investigate existing systems and develop our own system for following up with patients after arthroplasty of the hip and knee joints.

Is patient follow-up necessary after arthroplasty?

The system of patient follow-up after arthroplasty should take into account the following dilemma:

- radiographic examinations can reveal asymptomatic patients who require revision;
- not all radiographic changes in asymptomatic and minimally symptomatic patients require revision.

According to foreign authors, the frequency of early revisions (within 5 years after the primary operation) after total arthroplasty of the hip joint is currently only about 24% of all repeat operations [9]. The structure of revisions includes the following main causes: dislocations, aseptic loosening, and infection [9, 10, 11].

In the context of patient follow-up, the diagnosis of osteolysis is particularly important, as it can be completely asymptomatic before loosening occurs. In the 1990s and 2000s, the frequency of revisions due to aseptic loosening caused by osteolysis was very high and reached 47% of all revisions [12]. B.M. Wroblewski et al. observed 22 066 primary endoprostheses for a maximum period of 38 years and found that 72.6% of cases of loosening or polyethylene wear occurred between 7 and 20 years after surgery [13]. This indicates that the main goal of follow-up such

patients should be to identify asymptomatic patients with osteolysis before there is a clear reason for revision. On the other hand, there are currently no studies that have demonstrated the effectiveness of prophylactic revisions for osteolysis. The absence of such studies, in our view, is due to the difficulty of designing such studies and should not call into question the advisability of observation and early diagnosis of osteolysis in general.

The frequency and structure of early revisions of the hip joint, according to the registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, differ from foreign publications. As of 2019, the proportion of early revisions increased from 32.9% to 56.7% in 2013, with early revisions accounting for 37.4% of all primary revisions, which is significantly higher than the 24% reported by J.S. Melvin et al [9]. The main reasons for revisions, according to the registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics in 2019, were aseptic loosening of arthroplasty components (50.3%), infection (27.6%), polyethylene wear and osteolysis (9.0%), and dislocation (6.2%).

According to the National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland, and the Isle of Man, the risk of revision surgery within the first 12 years after knee arthroplasty surgery is relatively low, at approximately 5%. Early revisions, which make up 27% to 69% of all revision surgeries, are most commonly performed within the first two years, with infection being the most frequent reason for revision.

Some authors suggest that, unlike hip arthroplasty, osteolysis is a rare cause of early failure after knee arthroplasty, with a revision rate of less than 10%. However, in their review of data from multiple registries, M. Khan et al. reported that aseptic loosening (29.8%), infection (14.8%), and pain (9.5%) were the most common reasons for revision, both early and late.

When analyzing the knee joint arthroplasty registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics from 2011 to 2021, a trend towards equalizing the percentage ratio of aseptic and infectious revisions is observed (Fig. 1). This is likely due to a learning curve and the resulting gradual reduction in risks, namely intraoperative blood loss and time of primary operative intervention. However, these data

are difficult to extrapolate to other clinics, as in this case, the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics serves as a revision center, to which a large proportion of specialized patients from all regions of the Russian Federation are referred, regardless of the place of primary arthroplasty.

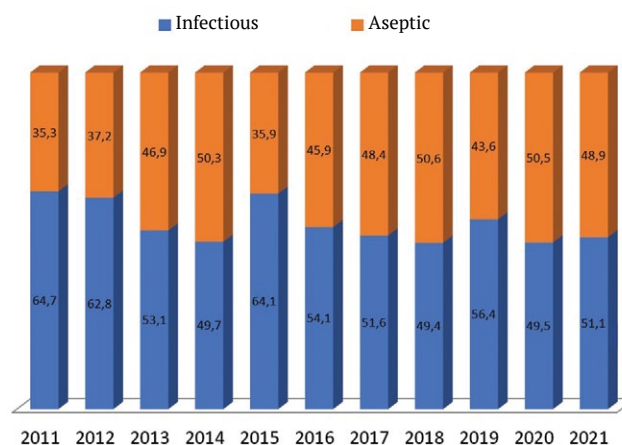


Fig. 1. Structure of the main causes of revision total knee arthroplasty in the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics from 2011 to 2021

Meanwhile, in the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics registry, aseptic instability became the primary cause of non-infectious revisions of the knee as of 2021 (60.4%). Other significant reasons included joint imbalance or instability (8.1%) and pain in the anterior compartment of the joint (7.2%), although they were observed in significantly fewer cases.

The lower frequency of revisions due to osteolysis of the knee compared to the hip may suggest a lower need for radiographic evaluation after knee arthroplasty. This is reflected in the discharge summary recommendations for patients of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics — there is no recommendation for knee radiography after 7 years, unlike the hip joint.

Review of existing recommendations for follow-up after arthroplasty

The British Hip Society recommends performing follow-up examinations at one year, seven years, and every three years thereafter if the pa-

tient is asymptomatic and has no radiological issues. During each examination, X-rays in the anteroposterior and lateral projections should be taken and evaluated using the Oxford scale for the X-rays (by phone or traditional mail). If a new implant was used, additional follow-up exams are recommended at 5 years, then at 7, 10, and every 3 years thereafter, in addition to the regular follow-up exams recommended by the British Hip Society [18].

The Arthroplasty Society of Australia recommends less frequent examinations for patients who had surgery before the age of 70 or when an arthroplasty not evaluated in the Australian NJRR registry was used — once every 1-2 years, once every 7-10 years, and every 3-5 years thereafter [19]. This frequency of examinations is supported by the results of L.E. Bayliss et al.'s study, which found that the risk of revision surgery during a patient's remaining life is 1-6% for those operated on after the age of 70, while for patients under 50 at the time of the first surgery, the risk is 35% [20].

Therefore, more extensive follow-up of older patients may be unnecessary. Extensive recommendations for more frequent, unnecessary examinations of elderly patients may lead to disappointment in the accessibility of medical care, a lower likelihood of patients following recommendations, psychological risks, and a burden on the healthcare system. On the other hand, the frequency of examinations for younger patients should be higher.

In the United States, there are no official recommendations for the frequency of follow-up visits, so doctors make independent decisions. A survey of orthopedic surgeons conducted by the American Association of Hip and Knee Surgeons showed that 95.9% use a "calendar" of scheduled examinations and radiographic studies after joint arthroplasty, with the majority of respondents recommending such observations annually for the first 5 years, then every 2 years up to 10 years after surgery, and then every 2 years or annually for both knee and hip joints thereafter [21].

J.B. Meding and colleagues analyzed 11 019 knee arthroplasties to identify the optimal timing of follow-up visits for revision. They found that the recommended follow-up times are 6 months, 1 year, 3 years, 8 years, 12 years, and 17 years. More frequent visits are required for patients with a body mass index $>40 \text{ kg/m}^2$ and for those whose symp-

toms appear 6 months after surgery. However, this study found an overall revision rate of 7.5% after 20 years, and like all other studies, it does not account for the fact that the decision to undergo revision surgery may have been made for a symptomatic patient who sought care on their own or during routine follow-up [22]. Therefore, recommendations for follow-up visits for asymptomatic patients may be excessive and ultimately have no impact on the decision to undergo revision.

Similarly, there are no studies confirming the effectiveness of prophylactic revisions, including due to the difficulty of their design. Therefore, currently available data are insufficient to refute the claim that asymptomatic patients do not require frequent follow-up, and in absolute cases, do not require any follow-up at all: a reasonable decision about surgery is made for a symptomatic patient, and the effectiveness of prophylactic revisions is not proven. However, completely disregarding recommendations for follow-up visits for asymptomatic patients would be unwise, as it would eliminate an important tool for scientific research that benefits patients. It should be noted that the frequency of follow-up visits after arthroplasty is nothing more than an expert opinion and is not supported by proper research.

How is follow-up conducted after arthroplasty?

Regardless of recommendations on the frequency of examinations, there is a problem with their feasibility and compliance due to the availability of medical care and patient compliance. The study by P. De Pablo et al. is revealing, as it showed that after arthroplasty of the hip joint, 15% of patients did not undergo follow-up X-ray examination, only early examination was performed in 43% of patients, and only 42% of patients underwent a full examination with X-ray after 6 years. Consequently, it can be assumed that the proportion of patients who receive follow-up examinations in later periods of follow-up will be even smaller, until the patient experiences symptoms [23].

Other studies have demonstrated even lower coverage. For example, a survey of members of the British Orthopaedic Association showed that 60% of orthopedists do not see operated patients after one year, only 27% of orthopedists perform examinations after arthroplasty of the hip joint, and only 13% prescribe control X-rays [24].

As noted above, North American colleagues recommend much more frequent follow-up examinations (annually during the first 5 years, then every 2 years until 10 years after surgery, and then every 2 years or annually for both knee and hip joints) [21]. However, 78.3% of the doctors in that study were private practice doctors and received corresponding financial compensation for examining the patient, unlike their British colleagues. In this regard, we reiterate the idea that the postulate "follow-up is necessary for asymptomatic patients" is not at all refuted.

Some authors believe that early follow-up after arthroplasty is very doubtful [1]. C.A. Jacobs and colleagues' study demonstrated that none of the 339 patients who underwent early revision between one and two years had any problems during early examinations up to one year [25]. A similar study showed that only one out of 304 patients had a reason for revision detected during routine examination (aseptic loosening) [26].

Similarly, there is little evidence of the effectiveness of routine medium- and long-term check-ups for asymptomatic patients. C. Hacking et al. reported that in a series of 110 patients who underwent revision hip arthroplasty, only 4 (3.6%) hip joints (in 3 patients) were asymptomatic, while the other patients had symptoms of pain (75%), dislocation (8.2%), periprosthetic fracture (6.4%), and other causes (6.8%) (the percentages were recalculated by the authors of this publication) [27]. It is obvious that these 96.4% symptomatic patients would seek medical help for their symptoms even without routine follow-up visits. In this regard, the study by A.B. Joshi et al. is interesting, as they found that patients who underwent knee arthroplasty and were lost to follow-up had a lower revision rate and higher satisfaction scores [28]. Therefore, a patient in need of revision will seek help even without routine check-ups.

The cost of one consultation and X-ray examination is not established at the federal level in our country — each subject of the Russian Federation has its own territorial program of state guarantees. Therefore, calculating the cost of one additional visit for a patient after arthroplasty on a countrywide scale will have some approximation. Let's take three subjects of the Russian Federation with median gross domestic product: Kaluga Region, Murmansk Region, and Arkhangelsk Region (excluding the districts) —

466.0, 482.5 and 514.0 billion rubles, respectively [29]. It can be assumed that these are truly median subjects in terms of economic situation. A consultation with a traumatologist-orthopedist is priced as primary medical-sanitary aid in outpatient settings for prophylactic and other purposes. The weighted average financial norms of expenditure per unit of volume of medical care in three median subjects in 2022 tariffs amount to 498 rubles, while the weighted average rate for X-ray examination in one projection (pelvis, femoral neck, knee joint) is 593 rubles, and in two projections — 1288 rubles. Thus, each additional follow-up of a patient after arthroplasty in 2022 prices will cost 1786 rubles, excluding CAPEX (capital expenditures), which are not included in mandatory medical insurance tariffs for outpatient visits.

Given that 88 508 hip and 66 323 knee arthroplasties (primary and revision) are performed annually, additional annual costs will amount to $(88\,508 + 66\,323) \cdot 1\,786$ rubles — 276 528,166 rubles. Taking into account that the number of patients undergoing arthroplasty in our country increases by 155 000 people each year, every two additional follow-up visits (compared to clinical recommendations [4, 7]) over a decade, as indicated in the discharge recommendations of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, will require additional costs at the national level amounting to 553 million rubles annually. On the one hand, this is not a significant amount, especially since the coverage of such visits is never complete, but on the other hand, this figure does not include CAPEX costs. The most concerning aspect, in our view, is that each additional visit reduces the overall availability of medical care in cases where it is truly necessary, such as for symptomatic patients.

An important question is who performs patient evaluations directly after arthroplasty. In some foreign countries, there are specialized outpatient services that not only follow up with patients after arthroplasty but also effectively manage waiting lists for arthroplasty, known as advanced-practitioner-led clinics [30, 31]. In these cases, physiotherapists can effectively perform evaluations and refer patients for consultations with orthopedic surgeons, thereby relieving the workload of orthopedists. An analysis of such physiotherapist consultations showed

that patients were referred for consultation regarding the operated joint in only 7.4% of cases [32]. Moreover, K.E. Large and colleagues reported better PROM results after knee arthroplasty in patients who were followed up by physiotherapists without being referred to orthopedic surgeons [33].

Both studies reported no cases of adverse events when patients were solely managed by a physiotherapist [32, 33]. Patient compliance and adherence to appointments with physiotherapists were found to be high, exceeding 80%, according to M.J. Walton et al. and B. Cavka et al. [32, 34]. Physiotherapy can be a viable alternative to orthopedic care for early postoperative management of joint arthroplasty patients [34, 35], although the economic feasibility of this model is questionable. M.J. Walton et al. concluded that managing and supervising patients through a clinic system under the guidance of an experienced physician only resulted in a 1% financial saving compared to traditional orthopedic surveillance [32].

The general practitioner is another important healthcare provider involved in the management of arthroplasty patients, and this model of care is becoming increasingly popular [36]. However, general practitioners lack the necessary qualifications for early diagnosis of periprosthetic infection and osteolysis, which are critical for timely treatment [37]. Timely diagnosis of periprosthetic infection can make a one-stage revision a more attractive option. There are also legitimate concerns about general practitioners' ability to diagnose osteolysis, as they rely on the radiologist's conclusions, who in turn, are less adept at verifying early signs compared to orthopedic surgeons. In patients undergoing hip revision surgery, radiologists only compared preoperative images in 42% of cases, and failed to identify loosening of the femoral component in 12% of cases and acetabular component in 10% of cases, and failed to verify femoral and acetabular osteolysis in 26% and 28% of cases, respectively [38].

The advantage of observing a patient after arthroplasty by orthopedists themselves is that it allows for a more precise evaluation of the results, even allowing the orthopedists to directly see the results of their operations, including during the evaluation of new implants [39, 40].

On the other hand, the Beyond Compliance and Scottish Arthroplasty Project studies have shown that general practitioners are effective in monitoring new implants and timely diagnosing failures [41, 42].

Prospects for patient follow-up: "virtual" clinic

In the past 10 years, remote data collection systems for patients after arthroplasty, which include X-ray and PROM, have been progressively developed. Typically, these systems are based on a web-based questionnaire to which X-rays can be attached. The pioneers of such systems were G. Wood et al. with 40 patients [43] and J.D. Marsh et al. with 118 patients [44]. These pilot studies demonstrated a decrease in the need for in-person consultations and that teleconsultation at least during the first year after surgery can help avoid missed opportunities for revision [43, 44]. Later, J. Marsh et al. also showed the economic efficiency of this model [45].

Such teleconsultation shows good patient engagement in the early stages after surgery, but there are legitimate concerns about the completeness of information collection in the longer term [46]. Of the 154 patients who declined to participate in J. Marsh et al.'s pilot project [44], 14% cited the reason that they "want to see the surgeon in person," and patient satisfaction with in-person orthopedic consultations was higher than that of "virtual" clinic patients [44, 47]. This issue may be addressed through the use of video conferencing or the ability to attach video files [48]. In addition, a significant number of patients in both studies had difficulties with computers and needed assistance with filling out the questionnaire [43, 44].

The COVID-19 pandemic has given a powerful boost to the development of telemedicine. Development is taking place both through the efforts of IT giants, such as Zoom for Health [49], through the platforms of health ministries, such as the National Health Service attend anywhere [50], and through custom developments by clinics [51, 52]. Additionally, monitoring systems based on smartphone apps are being developed by joint replacement manufacturers such as Zimmer Biomet (Warsaw, USA) [53, 54].

Remote system for evaluating arthroplasty outcomes at the Russian Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedic

Since 2022, discharge summaries at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics in clinical practice include recommendations for follow-up observations (Table 1). As can be seen, the frequency of recommended observations in discharge summaries exceeds that of observations in clinical guidelines [4, 7]. The formulation of recommendations for the discharge summary was done by the au-

thors of this article, who are doctors at the Center. On one hand, the high frequency of radiographic imaging recommendations may result in resistance from insurance companies, but on the other hand, clinical recommendations are subject to periodic review.

There are three principal ways for remotely assessing the results of arthroplasty:

- Using web forms (questionnaire on the website, feedback form variant).
- Using applications for smartphones.
- Using state information systems: the Unified State Information System in Healthcare (EGISZ) and government services (Gosuslugi).

Table 1

Standardized recommendations for postoperative follow-up after arthroplasties in discharge summaries of patients at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Hip joint	Knee joint
To enable us to follow-up the condition of your joints and make timely decisions for the benefit of your health, please do the following:	
Follow-up X-ray images should be taken at 3 months, 1 year, 3 years, 5 years, 7 years, 10 years, 13 years, 16 years, and so on, every three years after the operation.	Follow-up X-ray images should be taken at 3 months, 1 year, 5 years, 10 years, 13 years, 16 years, and so on, every three years.
Please send us the images along with your answers to the questionnaire. You can find the questionnaire on the website rniito.ru , in the section "For Patients" - "Questionnaires for Patients". In the questionnaire, please indicate the medical record number, which is printed at the beginning of this discharge summary in the upper right corner. If necessary, the doctor will respond to you through the specified communication channel.	

We gave preference to "archaic" web forms for several reasons. Despite the attractiveness and "wow-effect" (attention to customer-specific details or any other actions that can make your customer feel important and exceed their expectations) of smartphone applications, there are certain risks involved, such as low coverage due to elderly patients' reluctance to use them. Additionally, in the overwhelming majority of cases, patients will have to reinstall the application when they replace their smartphone, which becomes an increasingly significant problem over the years of patient follow-up after arthroplasty, as the patient ages. However, we do not deny the prospects of smartphone applications and are currently conducting preparatory work to

develop them; we just gave priority to web forms in the development process.

Currently, the development of post-arthroplasty monitoring through state information systems (EGISZ, Gosuslugi) is impossible due to the absence of a protocol for patient cards for those who have undergone arthroplasty in the format of structured electronic medical documents (SEMID). The Center's employees have developed a corresponding SEMID protocol project, but its implementation within the framework of EGISZ/Gosuslugi is impossible until it is adopted.

The patient fills in their passport data, specifies their attending physician, and the electronic medical record number, which is printed in the discharge summary (Fig. 2).

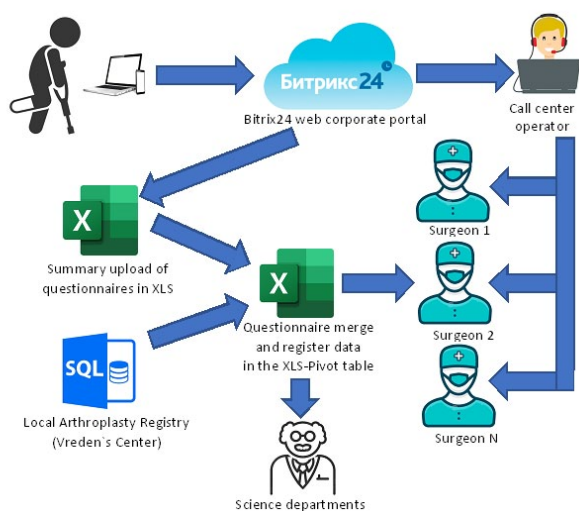


Fig. 2. Scheme of remote monitoring patients after arthroplasty at the Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics

Then the patient answers the questions of the Oxford scale in the modification of the Vreden Center, attaches files (attachment from a smartphone camera is possible), and specifies feedback options, including the most common messenger, WhatsApp. The completed web form is then submitted as a separate task to the public services portal, where it is reviewed by an operator. We consider this stage to be very important and do not see the possibility of excluding the operator for the following reasons: the confident identification of the patient's data, who filled out the questionnaire, is only possible through the public services portal's protocol of the single system of identification and authentication (ESIA). Implementing ESIA in the web form is possible, but we are afraid that it will deter some patients. Automatic linking via the electronic medical record number may also be difficult for some patients. Automatic linking via the attending physician or operating surgeon is also not very promising, as many patients simply do not remember the doctor's name or the doctor may resign. In addition, some patient questionnaires may require administrative participation. Therefore, we believe that it is impossible to exclude the stage of the operator who sorts the questionnaires. We plan to maintain this mechanism for at least two years to understand the ac-

tual involvement of patients, and only after that, we will introduce either authentication through the public services portal (ESIA) or another authentication option (such as linking to social networks, email, etc.).

Then the operator switches the task in the corporate portal to the doctor who operated on the patient. The task includes the results of the Oxford-Vreden scale survey, images attached by the patient, the patient's questions, and comments. The task has an automatic hyperlink to the patient's direct number on WhatsApp (using open line protocol), so if necessary, the doctor can switch from the corporate portal to WhatsApp messenger with just one click and respond to the patient by text or voice using their phone number or department number.

All surveys are combined into a summary xls-file, which is compared with the export from the local registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. It is important to note that preoperative and postoperative statuses are evaluated using absolutely identical Oxford-Vreden questionnaires. Automatic merging of data from the registry with the summary questionnaires obtained from web forms is currently impossible due to authentication-related issues as described earlier. We plan to decide on the path of automatic merging of preoperative and postoperative data in two years, after clarifying the status of the questionnaires. Without understanding the status, an erroneous implementation of the expensive merging mechanism can be costly, given the involvement of thousands and tens of thousands of patients.

The proposed mechanism was implemented in the summer of 2021. We made a mistake by basing our web form on the platform of one of our foreign partners. Therefore, we had to develop our own custom web form, which was completed in May 2022.

During the first three months, 221 questionnaires for hip joint assessment and 235 for knee joint assessment were collected through the proposed mechanism, and according to weekly monitoring, the number of questionnaires progressively increases, which is not surprising, since the corresponding recommendation for periodicity is contained in the discharge summary (see Table 1).

CONCLUSION

Patient follow-up after arthroplasty remains an unresolved problem, with low coverage, lack of willingness or forgetfulness on the part of asymptomatic patients, problems with access to medical examinations, and excessive financial burden on the healthcare system being the main issues. At present, the real impact of preventive check-ups on the decision-making process for revision arthroplasty, especially in patients over 70 years of age, remains unknown, and the effectiveness of "preventive" revisions for osteolysis without loosening has not been proven.

Nevertheless, follow-up of asymptomatic patients after arthroplasty represents an important source of scientific data that can be used both to refine indications for arthroplasty to address the potential problem of an epidemic of early osteoarthritis arthroplasty, as well as for implant safety monitoring, especially for new implants, and for planning the development of the arthroplasty system as a whole.

Perhaps the problem of low coverage of patient monitoring after arthroplasty will be solved through modern technologies. The advantage is the simplicity for the patient, for which "archaic" but more understandable web forms were preferred in the pilot project of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. An important feature is the direct transmission of the results of surveys and control X-rays to the operating physician.

Unfortunately, this type of follow-up form does not have legal status, but despite this, in the case of a real orthopedic problem, it can be resolved because there is a direct connection between the doctor and the patient, and we have given the right to initiate communication to the doctor, not the patient.

Currently, there is an unresolved problem of automatically merging postoperative follow-up data with data from the local registry of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics or with the medical information system. A possible solution will be implemented through the Unified System of Identification and Authentication in two years

as material accumulates and the commitment and difficulties of patients in implementing the postoperative follow-up mechanism are analyzed. The fact that the first three months of work showed good patient engagement, at least at the stage of short-term results, inspires optimism.

The outpatient system cannot always provide quality follow-up of patients after arthroplasty for various reasons, so we believe that implementing a mechanism for remote follow-up will allow for early detection of various complications, which will facilitate prompt resolution of these issues. Increasing the quantity and analyzing the incoming information will further improve the system of remote patient follow-up after arthroplasties.

DISCLAIMERS

Author contribution

Sereda A.P. — research conception and design, analysis and statistical processing of data, writing the draft.

Dzhavadov A.A. — writing the draft, analysis of data.

Cherny A.A. — writing the draft, analysis of data.

Bilyk S.S. — research conception and design.

Denisov A.O. — research conception and design.

Shubnyakov I.I. — text editing, analysis of data.

Kornilov N.N. — text editing, analysis of data.

Avdeev A.I. — analysis and statistical processing of data.

Stolyarov A.A. — research conception and design.

Demin A.S. — analysis and statistical processing of data.

Tikhilov R.M. — research conception and design.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Lovelock T.M., Broughton N.S. Follow-up after arthroplasty of the hip and knee: are we over-servicing or under-caring? *Bone Joint J.* 2018;100-B(1):6-10. doi: 10.1302/0301-620X.100B1.BJ1-2017-0779.R1.
- Trauma cases, orthopaedic morbidity, state of trauma and orthopaedic assistance service for population of Russian Federation in 2018. Moscow: CITO; 2019. (In Russ).
- 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;(3):84-93. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93.
- Clinical guidelines. Coxarthrosis ID666. (In Russ). Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/666_1.
- Tikhilov R.M., Shapovalov V.V. Guide for hip arthroplasty. St. Petersburg; 2008. 324 p. (In Russ).
- Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I. Guide to Hip Surgery. St. Petersburg; 2014. 368 p. (In Russ).
- Clinical guidelines. Gonarthrosis. ID667. (In Russ). Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/667_1.
- Novoselov K.A., Kornilov N.N., Kulyaba T.A. Injuries and diseases of the knee joint. In: *Traumatology and Orthopedics.* N.V. Kornilov, E.G. Gryaznukhin (eds.). St. Petersburg: Gippokrat; 2006. Vol. 3, Ch. 5. p. 213-438. (In Russ).
- Melvin J.S., Karthikeyan T., Cope R., Fehring T.K. Early failures in total hip arthroplasty - a changing paradigm. *J Arthroplasty.* 2014;29(6):1285-1288. doi: 10.1016/j.arth.2013.12.024.
- Huang T., Wang W., George D., Mao X., Graves S. What can we learn from AOANJRR 2014 annual report? *Ann Transl Med.* 2015;3(10):131. doi: 10.3978/j.issn.2305-5839.2015.05.04.
- Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. Supplementary report No 5: revon hip and knee arthroplasty. 2016. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/275066/Hip%2C%20Knee%20%26%20Shoulder%20Arthroplasty>.
- Abu-Amer Y., Darwech I., Clohisy J.C. Aseptic loosening of total joint replacements: mechanisms underlying osteolysis and potential therapies. *Arthritis Res Ther.* 2007;9(1):S6. doi: 10.1186/ar2170.
- Wroblewski B.M., Siney P.D., Fleming P.A. Charnley low-friction arthroplasty: survival patterns to 38 years. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(8):1015-1018. doi: 10.1302/0301-620X.89B8.18387.
- Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Denisov A.O., Akhmedilov M.A., Cherny A.Z., Totoev Z.A. et al. What Has Changed in the Structure of Revision Hip Arthroplasty? *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019;25(4):9-27. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27.
- National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man. 13th Annual report 2016. 2016. Available from: <https://www.hqip.org.uk/wp-content/uploads/2018/02/national-joint-registry-13th-annual-report-2016.pdf>
- Khan M., Osman K., Green G., Haddad F.S. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision. *Bone Joint J.* 2016;98-B (1SupplA):105-112. doi:10.1302/0301-620X.98B1.36293.
- Hossain F., Patel S., Haddad F.S. Midterm assessment of causes and results of revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(5):1221-1228. doi: 10.1007/s11999-009-1204-0.
- British Orthopaedic Association and the British Hip Society. Primary Total Hip Replacement: A Guide to Good Practice. 2012. Available from: https://britishhipsociety.com/wp-content/uploads/2020/12/2012-Nov_BOA-Blue-Book.pdf.
- Broughton N., Collopy D., Solomon M. Arthroplasty Society of Australia. Arthroplasty Society of Australia position statement on follow-up of joint replacement patients. 2016. Available from: <https://www.aoa.org.au/docs/default-source/states/arthroplasty-follow-up-guidelines-2016.pdf?sfvrsn=2>.
- Bayliss L.E., Culliford D., Monk A.P., Glyn-Jones S., Prieto-Alhambra D., Judge A. et al. The effect of patient age at intervention on risk of implant revision after total replacement of the hip or knee: a population-based cohort study. *Lancet.* 2017;389(10077):1424-1430. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30059-4.
- Teeny S.M., York S.C., Mesko J.W., Rea R.E. Long-term follow-up care recommendations after total hip and knee arthroplasty: results of the American Association of Hip and Knee Surgeons' member survey. *J Arthroplasty.* 2003;18(8):954-962. doi: 10.1016/j.arth.2003.09.001.
- Meding J.B., Ritter M.A., Davis K.E., Farris A. Meeting increased demand for total knee replacement and follow-up: determining optimal follow-up. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11):1484-1489. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.32467.
- De Pablo P., Losina E., Mahomed N., Wright J., Fossel A.H., Barrett J.A. et al. Extent of followup care after elective total hip replacement. *J Rheumatol.* 2006;33(6):1159-1166.
- Abraham A., Hajjipour L., Innes A.R., Phillips H., McCaskie A.W. Are national guidelines for total hip replacement in the UK reflected in practice? *Ann R Coll Surg Engl.* 2006;88(2):108-115. doi: 10.1308/003588406X82943.
- Jacobs C.A., Christensen C.P., Karthikeyan T. Assessing the utility of routine first annual follow-up visits after primary total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2015;30(4):552-554. doi: 10.1016/j.arth.2014.11.016.
- Bhatia M., Obadare Z. An audit of the out-patient follow-up of hip and knee replacements. *Ann R Coll Surg Engl.* 2003;85(1):32-35. doi: 10.1308/003588403321001408.
- Hacking C., Weinrauch P., Whitehouse S.L., Crawford R.W., Donnelly W.J. Is there a need for routine follow-up after primary total hip arthroplasty? *ANZ J Surg.* 2010;80(10):737-740. doi: 10.1111/j.1445-2197.2010.05346.x.

28. Joshi A.B., Gill G.S., Smith P.L. Outcome in patients lost to follow-up. *J Arthroplasty*. 2003;18(2):149-153. doi: 10.1054/arth.2003.50061.
29. Federal State Statistics Service. Available from: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>. (In Russ).
30. Harrison J., Rangan A., Shetty A., Robinson C. Reducing waiting times: physiotherapy shoulder assessment clinic. *Br J Ther Rehabil*. 2001;8:57-59. doi: 10.12968/bjtr.2001.8.2.13730.
31. Stanhope J., Grimmer-Somers K., Milanese S., Kumar S., Morris J. Extended scope physiotherapy roles for orthopedic outpatients: an update systematic review of the literature. *J Multidiscip Healthc*. 2012;5:37-45. doi: 10.2147/JMDH.S28891.
32. Walton M.J., Walton J.C., Bell M., Scammell B.E. The effectiveness of physiotherapist-led arthroplasty follow-up clinics. *Ann R Coll Surg Engl*. 2008;90(2):117-119. doi: 10.1308/003588408X261528.
33. Large K.E., Page C.J., Brock K., Dowsey M.M., Choong P.F. Physiotherapy-led arthroplasty review clinic: a preliminary outcomes analysis. *Aust Health Rev*. 2014;38(5):510-516. doi: 10.1071/AH13238.
34. Cavka B., Bucknill A., Hatfield A., Cary B. Joint replacement reviews conducted by physiotherapists - a safe and effective model. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94-B(Suppl XLI):106-139. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106.
35. Kennedy D.M., Robarts S., Woodhouse L. Patients are satisfied with advanced practice physiotherapists in a role traditionally performed by orthopaedic surgeons. *Physiother Can*. 2010;62(4):298-305. doi: 10.3138/physio.62.4.298.
36. Bradley B., Middleton S., Davis N., Williams M., Stocker M., Hockings M. et al. Discharge on the day of surgery following unicompartmental knee arthroplasty within the United Kingdom NHS. *Bone Joint J*. 2017;99-B(6):788-792. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-0540.R2.
37. Haddad F.S., Ashby E., Konangamparambath S. Should follow-up of patients with arthroplasties be carried out by general practitioners? *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(9):1133-1134. doi: 10.1302/0301-620X.89B9.19697.
38. Nogaro M.C., Wijeratna M., Santhapuri S., Sood M. Can GP's perform routine long-term follow-up of total hip arthroplasties (THAs)? *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94-B(Suppl. XXXIX):177. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106.
39. Beaulé P.E., Bleeker H., Singh A., Dobransky J. Defining modes of failure after joint-preserving surgery of the hip. *Bone Joint J*. 2017;99-B(3):303-309. doi: 10.1302/0301-620X.99B3.BJJ-2016-0268.R1.
40. Kynaston-Pearson F., Ashmore A.M., Malak T.T., Rombach I., Taylor A., Beard D. et al. Primary hip replacement prostheses and their evidence base: systematic review of literature. *BMJ*. 2013;347:f6956. doi: 10.1136/bmj.f6956.
41. NHS National Services Scotland. Scottish Arthroplasty Project. Annual Report 2017. 2017. Available from: <http://www.arthro.scot.nhs.uk/docs/2017/2017-08-08-SAP-Publication-Report.pdf>.
42. Beyond Compliance. About Beyond Compliance. Available from: <http://www.beyondcompliance.org.uk/About.aspx>.
43. Wood G., Naudie D., MacDonald S., McCalden R., Bourne R. An electronic clinic for arthroplasty follow-up: a pilot study. *Can J Surg*. 2011;54(6):381-386. doi: 10.1503/cjs.028510.
44. Marsh J.D., Bryant D.M., MacDonald S.J., Naudie D.D., McCalden R.W., Howard J.L. et al. Feasibility, effectiveness and costs associated with a web-based follow-up assessment following total joint arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29(9):1723-1728. doi: 10.1016/j.arth.2014.04.003.
45. Marsh J., Hoch J.S., Bryant D., MacDonald S.J., Naudie D., McCalden R. et al. Economic evaluation of web-based compared with in-person follow-up after total joint arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(22):1910-1916. doi: 10.2106/JBJS.M.01558.
46. van Eck C.F. Web-based follow-up after total joint arthroplasty proves to be cost-effective, but is it safe? commentary on an article by Jacquelyn Marsh, PhD, et al.: «Economic evaluation of web-based compared with in-person follow-up after total joint arthroplasty». *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(22):e192. doi: 10.2106/JBJS.N.00829.
47. Marsh J., Bryant D., MacDonald S.J., Naudie D., Remtulla A., McCalden R. et al. Are patients satisfied with a web-based followup after total joint arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(6):1972-1981. doi: 10.1007/s11999-014-3514-0.
48. Sharareh B., Schwarzkopf R. Effectiveness of telemedical applications in postoperative follow-up after total joint arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29(5):918-922. doi: 10.1016/j.arth.2013.09.019.
49. Dubin J.M., Wyant W.A., Balaji N.C., Ong W.L., Kettache R.H., Haffaf M. et al. Telemedicine usage among urologists during the COVID-19 pandemic: cross-sectional study. *J Med Internet Res*. 2020;22(11):e21875. doi: 10.2196/21875.
50. Rapson J. Covid sparks boom in digital hospital outpatient appointments. *Health Service Journal*. 2020. Available from: <https://www.hsj.co.uk/technology-and-innovation/covidsparks-boom-in-digital-hospital-outpatient-appointments/7027590.article>.
51. Goetter E.M., Iaccarino M.A., Tanev K.S., Furbish K.E., Xu B., Faust K.A. Telemental health uptake in an outpatient clinic for veterans during the COVID-19 pandemic and assessment of patient and provider attitudes. *Prof Psychol Res Pr*. 2022;53(2):151-159. doi: 10.1037/pro0000437.
52. Tenforde A.S., Iaccarino M.A., Borgstrom H., Hefner J.E., Silver J., Ahmed M., et al. Telemedicine during COVID-19 for outpatient sports and musculoskeletal medicine physicians. *PM R*. 2020;12(9):926-932. doi: 10.1002/pmrj.12422.

53. Crawford D.A., Duwelius P.J., Sneller M.A., Morris M.J., Hurst J.M., Berend K.R. et al. 2021 Mark Coventry Award: Use of a smartphone-based care platform after primary partial and total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *Bone Joint J.* 2021;103-B (6 Suppl. A):3-12. doi: 10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2352.R1.
54. Crawford D.A., Lombardi A.V., Berend K.R., Huddleston J.I. 3rd, Peters C.L., DeHaan A. et al. Early outcomes of primary total hip arthroplasty with use of a smartphone-based care platform: a prospective randomized controlled trial. *Bone Joint J.* 2021;103-B(7 Suppl. B): 91-97. doi: 10.1302/0301-620X.103B7.BJJ-2020-2402.R1.

Authors' information

✉ Alisagib A. Dzhavadov — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>

e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: drsereda@gmail.com

Alexander A. Cherny — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-1176-612X>

e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Stanislav S. Bilyk — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7123-5582>

e-mail: bss0413@gmail.com

Alexey O. Denisov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0828-7678>

e-mail: med-03@ya.ru

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: shubnyakov@mail.ru

Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6398-2377>

e-mail: drkornilov@hotmail.com

Alexander I. Avdeev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-1557-1899>

e-mail: spaceship1961@gmail.com

Alexey A. Stolyarov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0301-8439>

e-mail: Drstolyarov@gmail.com

Alexander S. Demin

<https://orcid.org/0000-0001-9415-0023>

e-mail: demin-medic@mail.ru

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

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

e-mail: rtikhilov@gmail.com



Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей

С.А. Герасимов^{1,2}, А.А. Зыкин¹, Е.А. Морозова^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия

² АНО «Ортопедические исследовательские проекты», г. Нижний Новгород, Россия

Актуальность. Артроскопия тазобедренного сустава является малотравматичным хирургическим методом, который чаще всего выполняется для устранения фемороацетабулярного импинджмента (ФАИ). В настоящее время она широко применяется зарубежными врачами; имеется значительное число англоязычных публикаций по данной тематике. Количество проводимых артроскопических операций на тазобедренном суставе в России неизвестно. Информация о данной хирургической методике также весьма ограничена в нашей стране.

Цель исследования — оценить уровень артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России.

Материал и методы. Было проведено сплошное анкетирование травматологов-ортопедов, имеющих опыт выполнения артроскопий тазобедренного сустава. Анкета была размещена на платформе Google Forms и состояла из 13 вопросов закрытого, полужакрытого и открытого типов. Для опроса были приглашены 54 хирурга из российских клиник, из них анкету заполнили 45 человек.

Результаты. Среди респондентов преобладали врачи с опытом выполнения артроскопических операций на коленном и плечевом суставах (100,00±0,00% и 93,30±0,03% соответственно). Большинство специалистов (73,30±0,06%) обучались артроскопии тазобедренного сустава на первичном курсе в одной из клиник России. Более половины опрошенных (68,80±0,06%) в настоящее время занимаются данным хирургическим направлением, однако количество операций у 45,16±0,07% из них не превышает пяти в год. У хирургов, прошедших два и более обучающих курса, объем выполняемых операций выше ($p<0,05$). Артроскопию с помощью альтернативной техники выполняют 51,11±0,07% врачей. Специалистов, артроскопически резецирующих костный компонент ФАИ, практически в 2,5 раза больше, чем хирургов, обладающих навыками реконструктивной артроскопической хирургии тазобедренного сустава ($p<0,05$). Пятнадцать опрошенных (48,39±0,08%) выполняют дебридмент в качестве попытки отсрочить эндопротезирование. Наиболее распространенными трудностями, с которыми сталкиваются врачи, являются проблемы с диагностикой ФАИ (40,00±0,02%), отсутствие необходимого инструментария (40,00±0,02%), недостаточного количества времени на освоение техники (33,30±0,07%). Только трое (6,60±0,07%) опрошенных считают, что им удается достичь запланированных результатов операции; 93,30±0,03% хирургов сообщили о том, что не всегда получается добиться желаемых исходов.

Заключение. Артроскопия тазобедренного сустава в России мало распространена, объем подобных вмешательств незначителен. Преобладают врачи с минимальными навыками артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Факторы, которые затрудняют развитие данного направления в нашей стране, связаны с методами обучения, проблемами диагностики ФАИ, отсутствием необходимого инструментария для проведения операций, нехваткой времени у специалистов для освоения хирургической техники.

Ключевые слова: артроскопия, фемороацетабулярный импинджмент, ФАИ, тазобедренный сустав, реконструктивная хирургия, повреждение губы вертлужной впадины, дебридмент.

Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А. Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):73-83. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2022>.

Морозова Екатерина Александровна; e-mail: kneeandpelvis@yandex.ru

Рукопись получена: 03.11.2022. Рукопись одобрена: 05.12.2022. Статья опубликована онлайн: 20.01.2023.

© Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А., 2023



The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors

Sergey A. Gerasimov^{1,2}, Andrey A. Zykin¹, Ekaterina A. Morozova^{1,2}

¹ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

² ANO "Orthopaedic research projects", Nizhny Novgorod, Russia

Background. Hip arthroscopy is a minimally invasive surgical technique most commonly performed to correct femoroacetabular impingement (FAI). Currently, it is widely used by worldwide; in addition, there are a significant number of english-language publications on this topic. The number of hip arthroscopy performed in Russia is unknown. Information about this surgical technique is also very limited in our country.

The aim of the study was to assess the level of hip arthroscopy in Russia.

Methods. A total sociological survey of orthopaedic surgeon with experience in performing hip arthroscopy was conducted. The questionnaire was posted on the Google Forms platform and consisted of 13 questions of closed, semi-closed and open types. The survey included 54 surgeons from Russian clinics, 45 people filled out the questionnaire.

Results. Among the respondents, doctors with experience in performing arthroscopic operations on the knee and shoulder joints predominated (100.00±0.00% and 93.30±0.03%, respectively). The majority of specialists (73.30±0.06%) were trained in hip arthroscopy during the primary course in one of the clinics in Russia. More than half of the respondents (68.80±0.06%) are currently engaged in this surgical area, however, in 45.16±0.07% of them, the number of operations does not exceed 5 per year. For surgeons who have completed two or more training courses, the volume of operations performed is higher ($p<0.05$); 51.11±0.07% of doctors perform arthroscopy using an alternative technique. There are 2.5 time more specialists doing just bone resection, than surgeons who apply any kind of reconstruction technique while treating FAI ($p<0.05$). Fifteen respondents (48.39±0.08%) perform debridement as an attempt to delay arthroplasty. The most common difficulties faced by surgeon are problems with the diagnosis of FAI (no patients) (40.00±0.02%), lack of the necessary tools (40.00±0.02%) and sufficient time to master the technique (33.30±0.07%). Only three (6.60±0.07%) respondents believe that they manage to achieve the planned results of the operation, 93.30±0.03% of surgeons said that it is not always possible to achieve the desired outcomes.

Conclusion. Hip arthroscopy in Russia is not very common, the volume of such interventions is insignificant. Doctors with minimal skills in arthroscopic hip surgery predominate. Factors that impede the development of this area in our country are related to teaching methods, problems with FAI diagnostics, the lack of necessary instruments for performing operations, and the lack of time for specialists to master surgical techniques.

Keywords: arthroscopy, femoroacetabular impingement, FAI, hip, reconstruction surgery, labrum tear, debridement.

Cite as: Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A. [The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):73-83. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2022>.

✉ Ekaterina A. Morozova; e-mail: kneeandpelvis@yandex.ru

Submitted: 03.11.2022. Accepted: 05.12.2022. Published Online: 20.01.2023.

© Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Лечебно-диагностическая артроскопия тазобедренного сустава — малотравматичный хирургический способ устранения деформации вертлужной впадины и проксимального отдела бедренной кости, которые участвуют в развитии патомеханического процесса — фемороацетабулярного импинджмента (ФАИ). Иными показаниями к выполнению данного вмешательства на сегодняшний день являются повреждение суставной губы вертлужной впадины, хряща головки бедренной кости, круглой связки, синдром подвздошно-поясничной мышцы, подостный импинджмент, удаление хондромных тел [1, 2].

Впервые артроскопию тазобедренного сустава на кадаверном материале выполнил в 1931 г. M. Burman [3]. Впервые в клинической практике этот метод применил спустя 8 лет, в 1939 г. K. Takagi в качестве дополнительного метода лечения при суставах Шарко, туберкулезном и септическом артрите [4]. До середины 1970-х гг. было опубликовано незначительное количество научных исследований по артроскопии тазобедренного сустава, однако после того, как R. Gross сообщил о применении данной методики в качестве лечения педиатрических заболеваний тазобедренного сустава, стало появляться все больше научных работ с описанием серий случаев [5, 6]. Активное развитие и становление артроскопии тазобедренного сустава как хирургического метода лечения начинается с 1980-х гг.

Проведенный поиск в электронной базе PubMed за последние пять лет только по ключевым словам «hip arthroscopy» выявил 2523 статьи, по «femoroacetabular impingement» — 2058. Тематика публикаций разнообразна: методы диагностики патологии, консервативные и хирургические варианты лечения, техники выполнения артроскопии, реабилитация, оценка результатов операции у пациентов на разных сроках, осложнения, причины ревизионных артроскопий, особенности и результаты лечения профессиональных и непрофессиональных спортсменов с ФАИ и т.д.

По данным Swedish National Patient Register (NPR), за период с 2006 по 2018 г. было выполнено 6105 артроскопических операций. С 2006 по 2014 г. отмечался экспоненциальный рост количества подобных вмешательств; в последующем с каждым годом в исследуемом периоде это число снижалось [7]. Аналогичная ситуация была зафиксирована и в Финляндии. По данным Finnish National Hospital Discharge Registry (NHDR), с 1997 по 2016 г. было проведено 4207 артроскопий тазобедренного сустава. В первые 16 лет в анализируемом периоде отмечался ежегодный прирост числа операций на 13,0%, в следующие 3 года данный показатель снижался

ежегодно на 17,9% [8]. Примерно в это же время (2004–2016 гг.), по данным Statewide Planning and Research Cooperative System (SPARCS) штата Нью-Йорк (США), было выполнено 23 640 артроскопических операций пациентам старше 10 лет [9]. Стоит отметить, что в этом штате США не наблюдалось тенденции к снижению частоты проведения данного оперативного вмешательства за исследуемый период. В г. Онтарио (Канада) на основании изучения базы данных выявлено увеличение числа артроскопий тазобедренного сустава на 470% в год с 2010 по 2016 г. [10]. В публикации H. Yang с соавторами нет информации о количестве проведенных операций в Китае, однако авторы провели анализ публикационной активности, связанной с лечением ФАИ при помощи артроскопии за 2005–2019 гг. Было выявлено, что артроскопия тазобедренного сустава активно развивается — в последние годы отмечается рост количества научных статей о ее применении [11].

На сегодняшний день артроскопия тазобедренного сустава продолжает совершенствоваться и широко применяться за рубежом [12, 13]. К сожалению, общее число подобных операций, проведенных в России, неизвестно ввиду отсутствия какого-либо открытого регистра с данной информацией. ФГБОУ ВО «ПИМУ» является одним из основных центров в стране, где проводится артроскопия тазобедренного сустава. Данное хирургическое направление в институте развивается с 2015 г. На момент начала работы над статьей было выполнено 325 вмешательств.

В научной электронной библиотеке eLIBRARY с 2017 по 2022 г. по ключевым словам «артроскопия тазобедренного сустава» было найдено 16 публикаций, «фемороацетабулярный импинджмент» — 23, практически треть (7 работ) из них посвящены диагностике и лечению аваскулярного некроза головки бедренной кости. После исключения повторяющихся статей их общее количество составило 37, три из них представляют различные аспекты ФАИ (история, диагностика патологии и планирование артроскопии тазобедренного сустава, результаты артроскопической хирургии).

С 2017 по 2022 г. в нашей стране было проведено 16 конференций, в том числе и в онлайн-формате, где обсуждались вопросы артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Для сравнения: симпозиумы, посвященные эндопротезированию тазобедренного сустава, насчитывают значительно большее количество — только в 2022 г. было запланировано 13 крупных всероссийских мероприятий, в том числе с международным участием.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что артроскопия тазобедренного сустава недостаточно популяризируется среди травматологов-ортопедов, количество русскоязычных

источников о ФАИ как об анатомическом варианте развития тазобедренного сустава, который является одним из основных показаний к проведению оперативного лечения, ограничено.

Цель исследования — оценить уровень развития артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование носило характер сплошного анкетирования травматологов-ортопедов, имеющих опыт выполнения артроскопических операций на тазобедренном суставе. Анкета была размещена на платформе Google Forms, ссылка на заполнение отправлена респондентам. Анкета состояла из 13 вопросов закрытого, полузакрытого и открытого типов. Часть вопросов посвящалась артроскопической практике в целом, другая — опыту проведения артроскопии тазобедренного сустава, в том числе способам освоения данной методики лечения и трудностям, с которыми сталкиваются врачи при ее выполнении. Для опроса были приглашены 54 хирурга из российских клиник, из них анкету заполнили 45 человек.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Statistica v.13.3 (TIBCO Software Inc). Качественные данные представлены в виде $P \pm \sigma$ (P — процентная доля, σ — стандарт-

ное отклонение процентной доли). При частотном анализе таблиц сопряженности использовали критерии Йетса и Фишера. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$ с поправкой на множественные сравнения при анализе более двух групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группу респондентов составили врачи в возрасте от 30 до 50 лет.

Большинство опрошенных выполняют артроскопические операции на коленном и плечевом суставах ($100,00 \pm 0,00\%$ и $93,30 \pm 0,03\%$ соответственно); количество специалистов, осуществляющих операции на голеностопном суставе, в 1,5 раза меньше, на локтевом суставе — в 2 раза меньше (рис. 1).

Среди респондентов преобладали специалисты с опытом артроскопической хирургии более 10 лет ($40,00 \pm 0,07\%$), а также те, кто занимается данным направлением в течение 6–8 лет ($26,60 \pm 0,06\%$). Наибольшее количество операций выполняют врачи с опытом 6–8 лет, наименьшее — хирурги, которые проводят артроскопические операции в течение 3–5 и 9–10 лет (табл. 1).

Большинство респондентов обучались артроскопии тазобедренного сустава на первичном курсе в одной из клиник России ($73,30 \pm 0,06\%$). Иным практикуемым методом освоения техники являлся визит хирурга в клинику на первые операции —

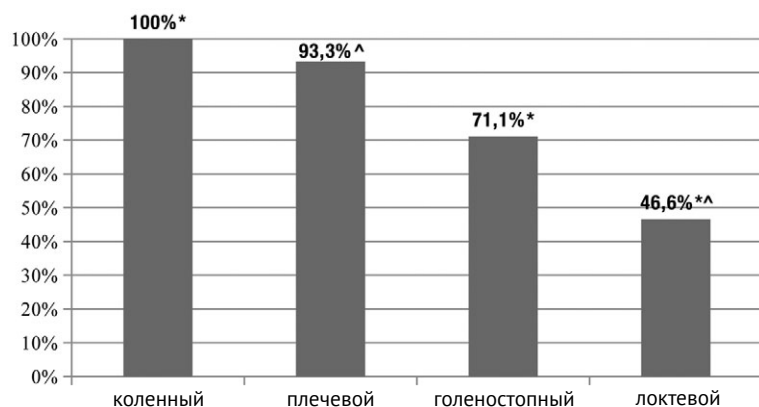


Рис. 1. Частота выполнения артроскопических операций в зависимости от сустава. Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; $p = 0,008$; *vs[^] — $p < 0,008$

Fig. 1. The incidence of arthroscopic procedures depending on the joint. The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; $p = 0,008$; *vs[^] — $p < 0,008$

Таблица 1

Количество выполняемых операций в год в зависимости от опыта хирурга, $P \pm \sigma\%$

Количество операций в год	Опыт, лет			
	менее 3	3–5	6–8	более 9–10
Менее 50 ($n = 7$ чел.)	$42,86 \pm 0,07$	$28,57 \pm 0,06$	–	$28,57 \pm 0,06$
51–100 ($n = 7$ чел.)	$14,29 \pm 0,05$	$14,29 \pm 0,05$	$14,29 \pm 0,05$	$57,14 \pm 0,07$
101–150 ($n = 6$ чел.)	–	$16,67 \pm 0,05$	$33,33 \pm 0,07$	$50,00 \pm 0,07$
151–200 ($n = 10$ чел.)	–	–	$30,00 \pm 0,06$	$70,00 \pm 0,06$
Более 200 ($n = 15$ чел.)	$13,33 \pm 0,05$	–	$40,00 \pm 0,07$	$46,67 \pm 0,18$

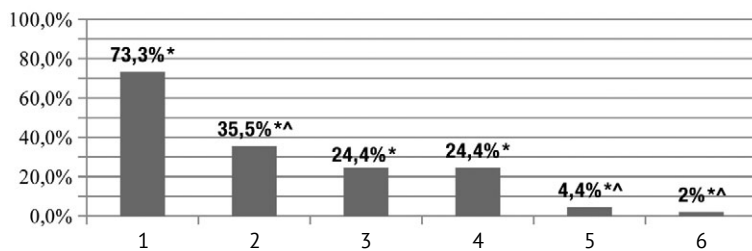
доля специалистов, выбравших данный вариант ответа, была в два раза меньше ($35,50 \pm 0,07\%$). Каждый четвертый опрошенный проходил кадаверный курс за рубежом или посещал иностранного специалиста с целью обучения (рис. 2).

На момент опроса более половины травматологов-ортопедов выполняли артроскопию тазобедренного сустава, их доля составила $68,80 \pm 0,06\%$ ($p < 0,05$). Из 18 человек ($40,00 \pm 0,02\%$), посетивших два и более курса по освоению техники, 16 ($88,80 \pm 0,07\%$) применяют полученные навыки в своей практике ($p < 0,05$). Немногим более половины ($60,00 \pm 0,03\%$) участников опроса посещали только один обучающий курс, из них 12 человек ($44,40 \pm 0,09\%$) в последующем не проводили подобных операций, причем большинство хирургов ($66,60 \pm 0,09\%$) участвовали в первичном курсе, проводившемся в одной из клиник России.

Необходимо отметить, что около половины респондентов ($45,16 \pm 0,07\%$), ответивших, что в настоящее время выполняют артроскопию тазобедренного сустава, осуществляют не более 5 подобных операций в год (рис. 3).

Существует три основных техники, применяющиеся при артроскопии тазобедренного сустава. Половина травматологов-ортопедов ($51,11 \pm 0,07\%$) отдает предпочтение так называемой альтернативной технике с началом операции

из периферического отдела сустава, моделирующей костной резекции деформации проксимального отдела бедренной кости и вертлужной впадины, после которой производится тракция и осуществляются работа с центральным отделом сустава и шов суставной губы. Доля опрошенных хирургов, применяющих стандартную технику операции, составляет $35,50 \pm 0,07\%$. При стандартной технике тракция используется в течение значительно более продолжительного времени, а последовательность действий выглядит следующим образом: капсулотомия, устранение деформации вертлужной впадины, шов суставной губы, снятие тракции, резекция деформации проксимального отдела бедренной кости. Только каждый седьмой участник опроса использует в своей практике экстракапсулярную технику ($13,33 \pm 0,05\%$), которая заключается в проведении артроскопа и рабочих инструментов экстраартикулярно на переднюю капсулу с T-образной капсулотомией и последующим выполнением резекции костных структур, восстановлением повреждений суставной губы, при необходимости работы с суставными поверхностями. При этом время тракции сопоставимо с ее продолжительностью при альтернативной технике. Чаще всего специалисты обучались экстракапсулярной методике в рамках визита хирурга на первые операции ($31,25 \pm 0,06\%$).



- 1 – первичный курс в одной из клиник России
- 2 – визит хирурга в клинику на первые операции
- 3 – кадаверный курс за рубежом
- 4 – визит к хирургу за рубежом
- 5 – кадаверный курс в России
- 6 – VuMedi

Рис. 2. Структура видов обучения артроскопической хирургии тазобедренного сустава
Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; $p = 0,003$; *vs^ — $p < 0,0003$

Fig. 2. Structure of hip arthroscopy training courses

The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; $p = 0,003$; *vs^ — $p < 0,0003$

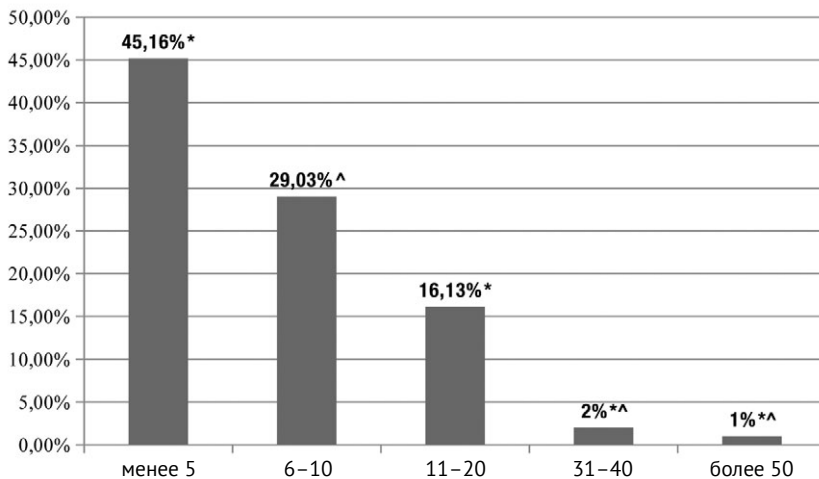


Рис. 3. Распределение респондентов по количеству проводимых артроскопических операций на тазобедренном суставе в год
Уровень значимости $p = 0,005$;
*vs^ — $p < 0,005$

Fig. 3. Distribution of respondents by the number of hip arthroscopy per year

Significance level $p = 0,005$;
*vs^ — $p < 0,005$

Способы освоения двух других техник более вариабельны.

Практически все врачи (93,30±0,03%) рутинно в своей практике выполняют резекцию сам-компонента ФАИ, немногим более половины опрошенных устраняют pincer-деформацию (60,00±0,03%). Каждый третий хирург обладает навыками шва суставной губы (28,80±0,06%) (рис. 4).

Было выявлено, что специалистов, артроскопически резецирующих костный компонент ФАИ, практически в 2,5 раза больше, чем хирургов, обладающих навыками реконструктивной артроскопической хирургии тазобедренного сустава (p<0,05) (табл. 2). Несмотря на преобладание врачей с опытом резекционной хирургии ФАИ, выполняемый ими объем операций по данной патологии в течение года крайне мал.

Поданным опроса, более половины (66,60±0,07%) врачей оперируют пациентов моложе 40 лет (p<0,05). Выполнение артроскопического дебримента как попытки отсрочить эндопротезирование сустава осуществляется 15 врачами (48,39±0,08%) (p<0,05). Девять специалистов (56,25±0,07%) из них используют подобную методику у пациентов старше 40 лет.

Вне зависимости от количества проводимых операций в год наиболее распространенными трудностями, с которыми сталкиваются травматологи-ортопеды, являются проблемы с диагностикой ФАИ (40,00±0,02%), отсутствие необходимого инструментария (40,00±0,02%), достаточного количества времени на освоение техники (33,30±0,07%) (рис. 5). К категории «иные причины» были отнесены ответы достаточно частного характера,

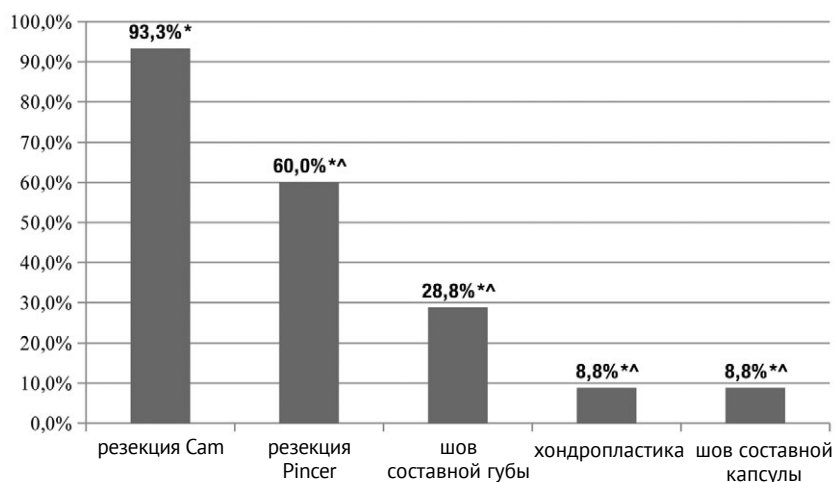


Рис. 4. Частота рутинно выполняемых этапов при артроскопии тазобедренного сустава

Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; p = 0,005; *vs^ — p<0,005

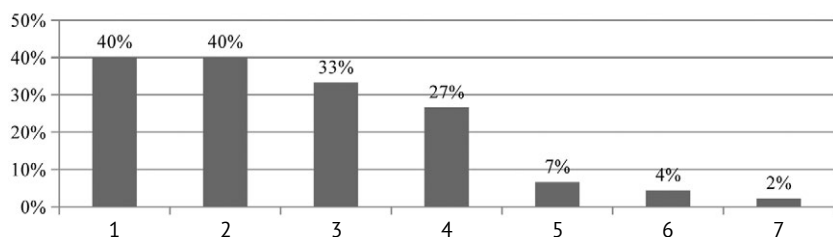
Fig. 4. Kinds routinely performed stages in hip arthroscopy

The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; p = 0,005; *vs^ — p<0,005

Уровень хирургических навыков в зависимости от количества выполняемых артроскопических операций на тазобедренном в суставе в год, n (P±ср%)

Таблица 2

Уровень хирургических навыков	Количество операций в год		p
	менее 5	более 5	
Резекционная хирургия (n = 29 чел.)	22 (75,86±0,09)	7 (24,14±0,16)	<0,05
Реконструктивная хирургия (n = 11 чел.)	5 (45,45±0,15)	6 (54,55±0,20)	>0,05



- 1 – трудности с диагностикой ФАИ
- 2 – нет необходимого артроскопического инструмента
- 3 – нет времени на освоение техники
- 4 – нет операционного стола с возможностью тракции
- 5 – иные причины
- 6 – административные барьеры
- 7 – отсутствие ЭОП

Рис. 5. Трудности, с которыми сталкиваются опрошенные при проведении артроскопии тазобедренного сустава. Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа

Fig. 5. Difficulties faced by respondents during hip arthroscopy. The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options

которые не представлялось возможным объединить с другими указанными группами — «адаптация на новом рабочем месте», «анестезиолог», «отсутствие связи поликлиника-стационар».

Установлено, что только 3 (6,60±0,07%) опрошенных считают, что им удастся достичь запланированных результатов операции, подавляющее большинство респондентов (93,30±0,03%) сообщили о том, что не всегда получается добиться желаемых исходов ($p < 0,05$). Ожидается не всегда достигают поставленных задач врачи, выполняющие менее 5 вмешательств в год.

ОБСУЖДЕНИЕ

Артроскопия тазобедренного сустава является технически сложной операцией, которая требует от травматолога-ортопеда опыта и хирургических навыков для достижения оптимальных результатов лечения и снижения риска развития осложнений. Как правило, врачи, начинающие заниматься данным направлением, имеют опыт выполнения артроскопических операций на других суставах. По результатам проведенного опроса подавляющая часть респондентов применяют данный вид хирургии на коленном и плечевом суставах.

Опираясь на наш опыт, можно сказать, что, обладая хорошими артроскопическими навыками, специалист, который выполняет коррекцию ФАИ, сталкивается со значительными трудностями в триангуляции, что обусловлено большим массивом мягких тканей на протяжении портов, плотной суставной капсулой, ограничивающей привычные манипуляции, а также применением артроскопа 70°, который крайне редко используется в артроскопической хирургии других суставов. В ряде работ сообщается о высокой частоте неудовлетворительных результатов лечения, повреждении хряща головки бедренной кости травматологами-ортопедами, только начинающими выполнять данные операции [14, 15, 16]. Поэтому обучение является одним из важнейших факторов освоения артроскопии тазобедренного сустава.

В настоящее время для подготовки специалистов используются различные обучающие системы: кадаверный материал, виртуальные симуляторы, тренажеры. В нашей стране есть два курса по артроскопии тазобедренного сустава — кадаверный курс на базе центра высоких медицинских технологий АМТЕС KAZAN (г. Казань) и первичный курс на базе Университетской клиники ПИМУ (г. Нижний Новгород). Наше исследование показало, что более всего среди респондентов распространен второй вариант обучения, а освоение техники на кадаверном материале более популярно в иностранных центрах, что, вероятнее всего, связано с ограниченным доступом к кадаверному материалу в нашей стране. В настоящее время

передача опыта между хирургами из разных стран затруднена, что может негативно сказаться на развитии артроскопии тазобедренного сустава в России, т.к. обучение именно у зарубежных коллег составило достаточно большую долю. Но в то же время данную ситуацию можно расценить как возможность совершенствования системы обучения в нашей стране. В зарубежной практике обучения программа освоения артроскопии тазобедренного сустава имеет более комплексный подход, при этом активно используются симуляторы, тренажеры и отработка навыков в кадаверных центрах [17, 18]. По результатам опроса было установлено, что хирурги, прошедшие только один курс, реже в последующем занимаются артроскопией тазобедренного сустава, чем специалисты, которые становились участниками двух и более обучающих мероприятий.

Для оценки кривой обучения артроскопии тазобедренного сустава нужно принимать во внимание результаты лечения, осложнения и необходимость повторных вмешательств. Приобретение хирургических навыков и их применение на практике оценили N. Mehta с соавторами, которые провели stratum-specific likelihood ratio (SSLR) анализ результатов в последующие 5 лет после артроскопических операций, проведенных 251 хирургом у 8041 пациента в штате Нью-Йорк в период с 2003 по 2012 г. [19]. Авторами было определено 4 группы на основании количества выполненных вмешательств и процента повторных операций на суставе. Исследователи пришли к выводу о весьма продолжительной кривой обучения. Частота повторных операций снизилась до 10% только после 388 артроскопий, самая низкая частота (2,6%) была выявлена у специалистов, которые провели более 519 операций. Стоит отметить, что данные анализировались за период, который можно отнести к этапу развития артроскопической хирургии тазобедренного сустава, когда определялись показания и противопоказания к проведению операции, совершенствовались хирургические техники. В связи с этим можно предположить, что достижение так называемого плато в кривой обучения на сегодняшний день может наступить раньше. L. Naipeng с соавторами отмечают некоторое снижение продолжительности операции после проведения первых 25 вмешательств, но оно не являлось существенным и объяснялось увеличением сложности хирургии. Однако практически в 2 раза сократилось время установки портов после проведения 30 операций [16].

Получение хирургических навыков возможно только при условии систематического выполнения подобных операций в течение года, при этом отсутствие практики быстро приводит к снижению качества хирургии [20]. Согласно опросу 64 амери-

канских хирургов, занимающихся артроскопией тазобедренного сустава, немногим более 70% выполняют больше 100 операций в год, более половины респондентов (56,3%) имеют опыт выполнения подобных операции свыше 5 лет [21]. По мнению респондентов, основными хирургическими этапами являются резекция сам-деформации и реконструкция суставной губы.

Стоит отметить, что резекция pincer-деформации и шов суставной губы требуют более высоких хирургических навыков по сравнению с устранением деформации головки и шейки бедренной кости. У 55% пациентов, имеющих клинические симптомы ФАИ, встречается сопутствующее повреждение губы вертлужной впадины [22, 23], которое может распространяться на хрящ, что увеличивает риск развития дегенеративных изменений в суставе [24]. В данном случае возможно применение дебридмента суставной губы или ее восстановление с помощью фиксации или пластики. В настоящее время хирурги предпочитают сохранить губу вертлужной впадины, когда это возможно. По данным обзора литературы за период с 2009 по 2017 г., отмечается увеличение частоты восстановления суставной губы при артроскопии тазобедренного сустава с 19 до 81% [25]. Согласно исследованию М.Р. Kucharik с соавторами, из 99 пациентов, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава по поводу ФАИ с пластикой губы вертлужной впадины, 5 (5,1%) перенесли эндопротезирование в течение последующих 10 лет, а из 105 участников, которым проводился дебридмент, замена тазобедренного сустава потребовалась 23 (21,9%) [24]. Кроме этого, авторы нескольких метаанализов пришли к выводу о более высокой эффективности восстановления губы вертлужной впадины по сравнению с дебридментом на основании уровня удовлетворенности пациентов [26, 27]. Применение дебридмента тазобедренного сустава в качестве попытки отсрочить эндопротезирование оценивалось в исследовании S. Daivajna с соавторами, по результатам которого 34 (44%) из 77 пациентов с остеоартритом 2–3 ст. по Tönnis, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава, в среднем через 18 мес. потребовалось проведение эндопротезирования [28].

Чем больше вмешательств проводит врач, тем больше нюансов хирургии он осваивает. Согласно данным Non-Arthroplasty Hip Registry (Великобритания), в 2018 и 2019 гг. было выполнено более 1200 артроскопических операций на тазобедренном суставе. Отмечается рост числа операций с 2012 по 2021 г., за исключением 2017, 2020 и 2021 гг. Если в 2017 г. снижение было незначительным, то в 2020 и 2021 гг. количество артроскопий сократилось практически в два раза и не превысило

750 вмешательств, что связано с эпидемиологической обстановкой по поводу COVID-19 [29].

Схожие показатели представлены в базе данных Danish Hip Arthroscopy Registry за 2016–2018 гг., по данным которого ежегодно осуществлялось 800 артроскопических операций на тазобедренном суставе [30].

Наиболее активно артроскопия применяется в США — только в штате Нью-Йорк, согласно данным Statewide Planning and Research Cooperative System (SPARCS), в 2016 г. выполнено более 3000 артроскопических операций. Около 50% врачей выполнили менее 100 подобных вмешательств в год, 25% специалистов провели от 164 до 340 операций [9].

Полученные нами данные позволяют предположить, что ежегодное количество выполняемых артроскопических операций на тазобедренном суставе в России составляет не более 200–250 вмешательств. Столь низкий показатель обусловлен рядом трудностей, которые препятствуют применению данного вида хирургического лечения в практике врачей. Одной из основных причин являются проблемы с диагностикой ФАИ. Это отчасти может быть связано с низкой информированностью врачей, в том числе поликлинического звена, о данной патологии и о том, какие методы диагностики требуются для постановки диагноза и выбора варианта лечения. Отсутствие правильно подобранных пациентов для проведения артроскопии тазобедренного сустава не позволяет врачу развивать свои хирургические навыки. Кроме этого, значительная доля респондентов отметила отсутствие времени для освоения техники операции. По данным опроса, специалисты имеют довольно интенсивную хирургическую активность, а обучение артроскопии тазобедренного сустава является весьма трудоемким процессом, требующим прохождения различных курсов и постоянной практики. Только эти два фактора уже в значительной степени влияют на развитие хирургических навыков, увеличивая и без того продолжительную кривую обучения. Другой распространенной проблемой является отсутствие необходимого артроскопического инструментария, а также операционного стола с возможностью тракции нижней конечности.

Представленные трудности, с которыми сталкиваются травматологи-ортопеды в своей работе, взаимосвязаны. Для решения данных проблем первым шагом может быть повышение уровня осведомленности специалистов о патологических состояниях тазобедренного сустава. Еще в 1965 г. R.O. Murray с соавторами доказали взаимосвязь между ФАИ и последующим развитием остеоартроза [31], которую в 2008 г. R. Ganz с соавторами описали как «механическую концепцию развития коксартроза» [32]. Позднее многие авторы также расценивали ФАИ как этиологический

фактор прогрессирования дегенерации тазобедренного сустава. Соответственно, вовремя диагностированная патология и успешное проведение операции могут избавить человека не только от клинического проявления заболевания, но и от эндопротезирования в дальнейшем. При этом следует отметить, что возраст пациента, в котором выполняется коррекция ФАИ, напрямую влияет на функциональные результаты и необходимость артропластики тазобедренного сустава. Так, по результатам лечения 16 327 пациентов, выполнение операции в возрасте старше 40 лет в 18,1% требует проведения эндопротезирования тазобедренного сустава в течение последующих 25 мес., старше 50 лет — в 23,1%, старше 60 лет — в 25,2% [33].

«Омоложение» пациентов, перенесших артроскопию тазобедренного сустава, является общемировой тенденцией, которая, несмотря на значительно меньшее распространение артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России, прослеживается и по данным опроса. В работе L. Naipeng с соавторами средний возраст пациентов, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава, составил $30,8 \pm 12,7$ лет [16]. W.W. Schairer с соавторами сообщили, что у хирургов, выполнивших более 160 артроскопических операций на тазобедренном суставе, средний возраст пациентов составил около 32 лет; авторы связывают это более строгим отбором больных [9]. Средний возраст наших пациентов, которым была выполнена операция в 2020 г., составил 37 лет, в 2021 г. — 34 года.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Герасимов С.А. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста статьи.

Зыкин А.А. — концепция исследования.

Морозова Е.А. — сбор и анализ данных, 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.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать ряд выводов. Артроскопия тазобедренного сустава в России мало распространена, объем подобных вмешательств незначителен, практически не популяризируется среди травматологов-ортопедов. Имеется небольшое количество русскоязычных публикаций, которые всесторонне освещают проблему ФАИ и методов его коррекции. Факторы, которые затрудняют развитие данного направления в нашей стране, связаны с методами обучения, проблемами диагностики ФАИ, отсутствием необходимого инструментария для проведения операций, нехваткой времени у специалистов для освоения хирургической техники. Преобладают врачи с минимальными навыками артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Травматологов-ортопедов, выполняющих шов или пластику суставной губы и работу с суставным хрящом, насчитывается менее 10. Для развития этого направления на территории нашей страны требуется создание комплексной пошаговой системы обучения, включающей в себя теоретический курс, занятия на симуляторах, работу в кадаверной лаборатории и выполнение первых операций вместе с более опытным хирургом. Все это позволит врачу правильно определять показания к артроскопии тазобедренного сустава, сравнительно быстро выйти на плато кривой обучения и, как следствие, получать хорошие функциональные результаты лечения.

DISCLAIMERS

Author contribution

Gerasimov S.A. — research concept and design, manuscript writing and editing.

Zykin A.A. — research concept.

Morozova E.A. — data collection and analysis, manuscript writing.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Zhang J., Pettit M., Sunil Kumar K.H., Khanduja V. Recent advances and future trends in hip arthroscopy. *J Arthrosc Surg Sports Med.* 2020;1(1):81-89. doi: 10.25259/JASSM.24.2020.
2. Volpin A., Maden C., Biz C., Hossain F., Zagra L., Konan S. Hip arthroscopy current advances. *Acta Orthop Belg.* 2020;86(e-Suppl. 3):158-164.
3. Burman M.S. Arthroscopy or the direct visualization of joints: an experimental cadaver study. 1931. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(390):5-9. doi: 10.1097/00003086-200109000-00003.
4. Takagi K. The arthroscope: the second report. *J Jpn Orthop Assoc.* 1939;14:441-466.
5. Kandil A., Safran M.R. Hip Arthroscopy: a brief history. *Clin Sports Med.* 2016;35(3):321-329. doi: 10.1016/j.csm.2016.02.001.
6. Magrill A.C.L., Nakano N., Khanduja V. Historical review of arthroscopic surgery of the hip. *Int Orthop.* 2017;41(10):1983-1994. doi: 10.1007/s00264-017-3454-x.
7. Wörner T., Eek F., Kraus-Schmitz J., Sansone M., Stålmán A. Rapid decline of yearly number of hip arthroscopies in Sweden: a retrospective time series of 6,105 hip arthroscopies based on a national patient data register. *Acta Orthop.* 2021;92(5):562-567. doi: 10.1080/17453674.2021.1928396.
8. Karelson M.C., Jokihäärä J., Launonen A.P., Huttunen T., Mattila V.M. Lower nationwide rates of arthroscopic procedures in 2016 compared with 1997 (634925 total arthroscopic procedures): has the tide turned? *Br J Sports Med.* 2021;55:1018-1023. doi: 10.1136/bjsports-2019-101844.
9. Schairer W.W., Nwachukwu B.U., Suryavanshi J.R., Yen Y.-M., Kelly B.T., Fabricant P.D. A shift in hip arthroscopy use by patient age and surgeon volume: a New York State – based population analysis 2004 to 2016. *Arthroscopy.* 2019;35(10):2847-2854.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2019.05.008.
10. Degen R.M., McClure J.A., Le B., Welk B., Lanting B., Marsh J.D. Hip arthroscopy utilization and reoperation rates in Ontario: a population-based analysis comparing different age cohorts. *Can J Surg.* 2022;65(2):E228-E235. doi: 10.1503/cjs.025020.
11. Yang H., You M., Li Y., Li T., Qin T., Chen G. Hip arthroscopy for femoroacetabular impingement in China: a review and meta-analysis. *Orthop Surg.* 2021;13(6):1721-1729. doi: 10.1111/os.13105.
12. Cevallos N., Soriano K.K.J., Flores S.E., Wong S.E., Lansdown D.A., Zhang A.L. Hip arthroscopy volume and reoperations in a large cross-sectional population: high rate of subsequent revision hip arthroscopy in young patients and total hip arthroplasty in older patients. *Arthroscopy.* 2021;37(12):3445-3454.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2021.04.017.
13. Sudah S.Y., Michel C.R., Nasra M.H., Faccione R.D., Constantinescu D.C., Menendez M.E. et al. Hip arthroscopy procedural volume is low among graduating orthopaedic surgery residents. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022;4(3):e1179-e1184. doi: 10.1016/j.asmr.2022.04.016.
14. Dietrich F., Ries C., Eiermann C., Miehlke W., Sobau C. Complications in hip arthroscopy: necessity of supervision during the learning curve. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:953-958. doi: 10.1007/s00167-014-2893-9.
15. Dumont G.D., Cohn R.M., Gross M.M., Menge T.J., Battle N.C., Their Z.T. The learning curve in hip arthroscopy: effect on surgical times in a single surgeon cohort. *Arthroscopy.* 2020;36(5):1293-1298. doi: 10.1016/j.arthro.2019.11.121.
16. Haipeng L., Ji L., Juanli Z., Lijun S., Yujie L., Zhongli L. et al. Portal setup: the key point in the learning curve for hip arthroscopy technique. *Orthop Surg.* 2021;13(6):1781-1786. doi: 10.1111/os.13035.
17. Rashed S., Ahrens P.M., Maruthainar N., Garlick N., Saeed M.N. The role of arthroscopic simulation in teaching surgical skills. *JBJS Rev.* 2018;6(9):e8. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00201.
18. Bishop M.E., Ode G.E., Hurwit D.J., Zmugg S., Rauck R.C., Nguyen J.T. et al. The arthroscopic surgery skill evaluation tool global rating scale is a valid and reliable adjunct measure of performance on a virtual reality simulator for hip arthroscopy. *Arthroscopy.* 2021;37(6):1856-1866. doi: 10.1016/j.arthro.2021.01.046.
19. Mehta N., Chamberlin P., Marx R.G., Hidaka C., Ge Y., Nawabi D.H. et al. Defining the learning curve for hip arthroscopy a threshold analysis of the volume-outcomes relationship. *Am J Sports Med.* 2018;46(6):1284-1293. doi: 10.1177/0363546517749219.
20. Kautzner J., Zeman P., Stančák A., Havlas V. Hip arthroscopy learning curve: a prospective single-surgeon study. *Int Orthop.* 2018;42(4):777-782. doi: 10.1007/s00264-017-3666-0.
21. Wininger A.E., Dabash S., Ellis T.J., Nho S.J., Harris J.D. The key parts of hip arthroscopy for femoroacetabular impingement syndrome implications for the learning curve. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(6):23259671211018703. doi: 10.1177/23259671211018703.
22. Awad M.A.H., Bajwa A.K., Slaunwhite E., Logan K.J., Wong I.H. Indications for hip arthroscopy in pediatric patients a systematic review. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6(4):304-315. doi: 10.1093/jhps/hnz056.
23. Nasser R., Domb B. Hip arthroscopy for femoroacetabular impingement. *EFORT Open Rev.* 2018;3(4):121-129.
24. Kucharik M.P., Abraham P.F., Nazal M.R., Varady N.H., Eberlin C.T., Meek W.M. et al. Arthroscopic acetabular labral repair versus labral debridement long-term survivorship and functional outcomes. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(7):23259671221109012. doi: 10.1177/23259671221109012.
25. Riff A.J., Kunze K.N., Movassaghi K., Hijji F.Y., Massel D.H., Bohl D.D. et al. Systematic review of hip arthroscopy for femoroacetabular impingement: the importance of labral repair and capsular closure. *Arthroscopy.* 2019;35(2):646-656.e3. doi: 10.1016/j.arthro.2018.09.005.
26. Hurley E.T., Hughes A.J., Jamal M.S., Mojica E.S., Bloom D.A., Youm T. et al. Repair versus debridement for acetabular labral. Tears – a systematic review. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021;3(5):e1569-e1576. doi: 10.1016/j.asmr.2021.06.008.
27. Wu Z.-X., Ren W.-X., Ren Y.-M., Tian M.-Q. Arthroscopic labral debridement versus labral repair for patients with femoroacetabular impingement. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(19):e20141. doi: 10.1097/MD.00000000000020141.
28. Daivajna S., Bajwa A., Villar R. Outcome of arthroscopy in patients with advanced osteoarthritis of the hip. *PLoS One.* 2015;10(1):e0113970. doi: 10.1371/journal.pone.0113970.

29. Holleyman R., McBryde C., Khanduja V., Malviya A. NAHR 7th annual report 2022. Available from: <https://www.nahr.co.uk/wp-content/uploads/2022/03/NAHR-2022-vfinal.pdf>.
30. Mygind-Klavsen B., Kraemer O., Hölmich P., Lund B. An updated description of more than 5,000 procedures from the danish hip arthroscopy registry. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(Suppl. 2):43-50. doi: 10.2106/JBJS.19.01496.
31. Murray R.O. The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *Br J Radiol.* 1965;38(455):810-824. doi: 10.1259/0007-1285-38-455-810.
32. Ganz R., Leunig M., Leunig-Ganz K., Harris W.H. The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):264-272. doi: 10.1007/s11999-007-0060-z.
33. Horner N.S., Ekhtiari S., Simunovic N., Safran M.R., Phillipon M.J., Ayeni O.R. Hip arthroscopy in patients age 40 or older: a systematic review. *Arthroscopy.* 2017;33(2):464-475.e3. doi: 10.1016/j.arthro.2016.06.044.

Сведения об авторах

✉ Морозова Екатерина Александровна
Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, Верхне-Волжская набережная, д. 18/1
<https://orcid.org/0000-0001-7548-9398>
e-mail: ekaterina.m.96@mail.ru

Герасимов Сергей Александрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-3179-9770>
e-mail: gerasimoff@list.ru

Зыкин Андрей Анатольевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>
e-mail: dr.zykin@mail.ru

Authors' information

✉ Ekaterina A. Morozova
Address: 18/1, Verkhne-Volzhskaya emb., Nizhny Novgorod, 603155, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7548-9398>
e-mail: ekaterina.m.96@mail.ru

Sergey A. Gerasimov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3179-9770>
e-mail: gerasimoff@list.ru

Andrey A. Zykin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>
e-mail: dr.zykin@mail.ru



Stenotrophomonas Maltophilia Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review

Alina R. Kasimova^{1,2}, Ekaterina M. Gordina¹, Sergey S. Toropov¹,
Svetlana A. Bozhkova¹

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

² Pavlov University, St. Petersburg, Russia

Background. *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*) is a gram-negative non-fermenting bacillus and is a rare pathogen of orthopedic infection. Due to the relatively low virulence of *S. maltophilia*, many clinicians are still faced with the question of whether this bacterial species is simply a colonizing agent or the true cause of infection.

Aim of the study — to raise the awareness of practitioners about *S. maltophilia* as a rare pathogen of orthopedic infection.

Methods. A retrospective analysis was performed concerning the frequency of *S. maltophilia* isolation from patients treated at the Vreden Center for periprosthetic infection and/or osteomyelitis from January 1, 2009 to October 31, 2022. The literature search by keywords was carried out in the PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY, and Cyberleninka databases. The search retrieved 587 articles published in Russian or English over the period from 2012 to November 2022.

Results. During the study period, 9 cases of orthopedic monoinfection with *S. maltophilia* were identified in 9 patients aged 36 to 83 years. At the time of admission, no leukocytosis was detected in patients, and only 2 of 9 patients had elevated C-reactive protein level. *S. maltophilia* is naturally resistant to many broad-spectrum antibiotics. Co-trimoxazole is considered the drug of choice for the treatment of *S. maltophilia* infection. The limited choice of drugs for targeted therapy, the presence of multiple determinants of antibiotic resistance, the existence of microbial associations and patient risks including implantation, chronic nature of infection, elderly age, as well as the presence of significant concomitant somatic pathology can lead to the ineffectiveness of the ongoing treatment of infections caused by *S. maltophilia*. Our experience shows that in the case of sensitivity of *S. maltophilia* strain to co-trimoxazole it is possible to prescribe this drug for a long course as monotherapy, provided that the radical surgical treatment of the focus is performed.

Keywords: periprosthetic infection, osteomyelitis, *Stenotrophomonas maltophilia*, antibacterial therapy, trimethoprim, sulfamethoxazole.

Cite as: Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A. *Stenotrophomonas Maltophilia* Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):84-94. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2027>.

✉ Alina R. Kasimova; e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Submitted: 15.11.2022. Accepted: 13.02.2023. Published Online: 28.02.2023.

© Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A., 2023



Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы

А.Р. Касимова^{1,2}, Е.М. Гордина¹, С.С. Торопов¹, С.А. Божкова¹

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

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


Введение. *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*) представляет собой грамотрицательную неферментирующую палочку и является редким возбудителем ортопедической инфекции. Из-за относительно низкой вирулентности *S. maltophilia* перед многими клиницистами все еще стоит вопрос, является ли этот вид бактерий просто колонизатором или истинной причиной инфекции.

Цель исследования — повысить информированность практикующих врачей о *S. maltophilia* как редком возбудителе ортопедической инфекции.

Материал и методы. Выполнен ретроспективный анализ частоты выделения *S. maltophilia* от пациентов, находившихся на лечении в Центре по поводу перипротезной инфекции и/или остеомиелита с 1 января 2009 по 31 октября 2022 г. Поиск литературы по ключевым словам осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY и КиберЛенинка. В результате поиска было найдено 587 статей за период с 2012 по ноябрь 2022 г., опубликованных на русском или английском языках.

Результаты. За изученный период установлено 9 случаев ортопедической моноинфекции *S. maltophilia* у 9 пациентов в возрасте от 36 до 83 лет. На момент поступления у пациентов не был выявлен лейкоцитоз и только у 2 из 9 регистрировали повышенный уровень С-реактивного белка. *S. maltophilia* имеет природную устойчивость ко многим антибиотикам широкого спектра действия. Ко-тримоксазол считают препаратом выбора для лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*. Ограниченность выбора препаратов для таргетной терапии, наличие множества детерминант устойчивости к антибиотикам, существование в составе микробных ассоциаций и риски со стороны пациентов, включающие установку имплантатов, хронический характер инфекции, пожилой возраст, а также наличие выраженной сопутствующей соматической патологии, могут приводить к неэффективности проводимого лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*. Наш опыт свидетельствует, что в случае чувствительности штамма *S. maltophilia* к ко-тримоксазолу возможно назначение данного препарата длительным курсом в виде монотерапии при условии выполнения радикальной хирургической обработки очага.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, остеомиелит, *Stenotrophomonas maltophilia*, антибактериальная терапия, триметоприм, сульфаметаксазол.

 Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А. Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):84-94. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2027>.

 Касимова Алина Рашидовна; e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Рукопись получена: 15.11.2022. Рукопись одобрена: 13.02.2023. Статья опубликована онлайн: 28.02.2023.

© Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А., 2023

BACKGROUND

Implant-associated infection, including periprosthetic infection (PPI) and osteomyelitis, is currently one of the leading causes of early re-operations after primary and revision total hip or knee arthroplasty [1]. In this case, the course of the infectious process often becomes recurrent. Despite the fact that the main causative agents of bone and joint infections, including those associated with orthopedic implants, are staphylococci, the presence of Gram-negative pathogens in the etiology remains significant and represents a prognostically unfavorable sign [2]. Rare pathogens can also be etiological agents of osteomyelitis and PPI, especially in immunocompromised patients. Such pathogens may include fungi of the genus *Candida spp.*, nontuberculous mycobacteria, *Treponema spp.*, *Anaerococcus spp.*, *Clostridium spp.*, *Eubacterium spp.*, *Campylobacter spp.*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella spp.* and others [3, 4]. Previously, we studied the features of fungal PPI treatment based on our own clinical experience and available scientific publications [5].

One more rare causative agent of PPI may be *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*), which is a Gram-negative non-fermenting bacillus. Because of the relatively low virulence of *S. maltophilia*, many clinicians are still faced with the question of whether this bacterial species is simply a colonizer or the true cause of infection [6]. Infection caused by *S. maltophilia* is uncommon in immunocompetent patients, however, this species is more and more often considered an opportunistic pathogen in chronically immunocompromised patients [7].

Multiple drug resistance of the pathogen makes the treatment of infections caused by *S. maltophilia* a significant problem [8]. Clinical management of such patients is complicated by the molecular heterogeneity of the bacillus, which is reflected in the uneven distribution of antibiotic resistance determinants and virulence factors among different strains, in the lack of available antimicrobial sensitivity tests and the absence of standardized borderline values for some antibiotics with *in vitro* activity.

There are currently rather limited data on *S. maltophilia* as a causative agent of orthopedic infection. The PubMed Central database

contains few studies concerning the management and treatment of orthopedic patients with *S. maltophilia* infection.

Aim of the study – to broaden the knowledge of practitioners about *S. maltophilia* as a rare causative agent of orthopedic infection.

METHODS

We performed a retrospective analysis of the incidence of *S. maltophilia* isolation from patients treated at the Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after R.R. Vreden for PPI and/or osteomyelitis from January 1, 2009 to October 31, 2022. Epidemiological analysis of results of bacteriological tests was performed using the Microbiological Monitoring System "Mikrob-2".

Laboratory and instrumental examination data were obtained from patients' medical records.

The literature search was performed using keywords in the PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY and CyberLeninka databases. The search request included the name of the microorganism and the words describing the course of orthopedic infections.

RESULTS

From 2009 to 2022, 9 cases of *S. maltophilia*-related orthopedic monobacterial infection were identified in 9 patients (5 men, 4 women) aged 36 to 83 years (Table 1). In 7 cases, isolated *S. maltophilia* strains showed sensitivity to trimethoprim/sulfamethoxazole (co-trimoxazole) at standard or increased medication exposure, and in two cases – resistance. All patients had a history of surgeries, including surgical interventions for an infectious process at this locus, but of a different etiology. In one case the pathogen was isolated from the components removed during revision hip arthroplasty for aseptic instability. The remaining 8 patients had an infection at the time of admission: 6 had an infection of the hip joint and 2 had an infection of the knee joint. Seven out of eight patients had chronic recurrent infection, and in one case the patient was admitted with a newly diagnosed chronic PPI caused by *S. maltophilia*. The clinical case of this patient will be discussed in detail below.

Table 1

Main characteristics of patients

Patient No	Sex	Age, y.o.	Localization	Time after the first surgery, years	Character of infection	During the hospital stay				Recurrence
						ESR, mm/h/ CRP, mg/l at admission	Surgery	Focus of <i>S. maltophilia</i>	Co-trimoxazole administration	
1	F	60	Hip	6	History of superficial SSI after arthroplasty	7 / 1.1	RA	RH	yes	yes
2	M	74	Hip	4	Chronic PPI	57 / 143	RSD, implantation of spacer	JF, TBS, RH preop and intraop	yes	No
3	M	65	Knee	15	Chronic recurrent osteomyelitis	12 / 0	RSD, implantation of spacer	JF, TBS intraop	yes	no
4	M	36	Hip	4	Chronic recurrent PPI	17 / 74.4	RA	TBS	yes	no
5	F	53	Knee	9	Chronic recurrent PPI	12 / 2.7	RA	Blood postop	no	no
6	M	68	Hip	16	Chronic recurrent PPI	5 / 1.6	RSD, reimplantation of spacer	JF preop	no	yes
7	F	63	Hip	14	Chronic recurrent PPI	8 / 0	RA	TBS	yes	yes
8	M	80	Hip	10	Chronic recurrent PPI	13 / 1.2	No surgery	Aspirate preop	no	Discharge due to comorbidity
9	f	83	Hip	6	Chronic recurrent PPI	23 / 33.4	RA	JF intraop	yes	no

RH — removed hardware; JF — joint fluid; TBS — tissue biopsy sample; RA — revision arthroplasty; RSD — radical surgical debridement; preop — preoperatively; intraop — intraoperatively; postop — postoperatively.

No leukocytosis was found on admission in all patients. The patient with newly diagnosed chronic PPI had a significantly elevated CRP and erythrocyte sedimentation rate. Only 2 of 7 patients with chronic recurrent infection had elevated CRP levels, while sedimentation rate was within normal limits. Thus, routine laboratory signs of a chronic infection were not pronounced. Only in 3 cases *S. maltophilia* was identified preoperatively, in 3 patients the microorganism was isolated from the removed hardware, in 3 cases it was isolated from the tissue biopsy samples and in one – from blood.

Average time from primary surgical intervention at this locus to the development of an infection process caused by *S. maltophilia* was 9.2 years (3.7 to 16.1). In one case, the patient was discharged without surgery in order to treat a pronounced comorbidity. Other 8 patients underwent surgery. Only in 2 cases where the pathogen was isolated from the joint fluid, etiotropic antibacterial therapy (ABT), including co-trimoxazole, was administered since the surgical debridement. In the remaining cases, the patients received empirical ABT (n=5) or antibacterial prophylaxis (n=1). Etiotropic antibiotic therapy was administered to the patients only after the isolation of *S. maltophilia* from the intraoperative material. Six out of nine patients received co-trimoxazole during the inpatient period. In the early postoperative period, recurrence of the infection occurred in 3 out of 8 operated patients, which required repeated surgical interventions, and the co-trimoxazole therapy was continued. The infectious process was stopped in all patients at the time of discharge.

Clinical case

A 74-year-old patient (176 cm, 85 kg) was admitted with complaints of pain, limited range of motion in the right hip and shortening of the right lower extremity. Patient had a history of coronary heart disease, atherosclerotic cardiosclerosis, grade 2 hypertension with risk of cardiovascular complication of the 3rd category, complete blockade of the right bundle branch, non-acute chronic gastritis.

In July 2016, total hybrid arthroplasty was performed in the local hospital for idiopathic right-sided hip osteoarthritis. The postoperative period was uneventful. In September 2017, the

patient fell on his right side and was admitted to the hospital again. No signs of skeletal trauma were found, and he was discharged with the diagnosis of "soft tissue bruise of the right thigh". Pain syndrome was persisting, and some time later hyperemia and swelling appeared. In October 2019, the patient was consulted by a surgeon of the septic surgery department on an outpatient basis: diagnostic joint puncture was performed, *S. maltophilia* strain was isolated from the aspirate. Surgical treatment for the diagnosed chronic PPI was recommended. Diagnosis on admission: orthopedic joint implants, total arthroplasty of the right hip (2016), chronic deep surgical site infection (CDSSI), chronic osteomyelitis of the right femur and pelvis 3B (I). On admission, X-ray examination showed instability of the cementless acetabular component of the right hip prosthesis with dislocation of the femoral head. Cemented femoral component was stable (Fig. 1 a). Lab tests revealed signs of an exacerbation of the infection: WBC – $8.3 \times 10^9/l$, erythrocyte sedimentation rate – 57 mm/min, CRP – 143 mg/l, and a decrease in the filtration capacity of the kidneys: blood creatinine – 118 $\mu\text{mol/l}$, estimated creatinine clearance (CC) – 71.6 ml/min.

Taking into account the patient's age and pronounced comorbidities, one-stage replacement of the prosthesis was attempted. Revision, removal of prosthetic components and bone cement and radical surgical debridement were performed. Joint fluid, 5 tissue biopsy samples and removed prosthetic components were taken intraoperatively for bacteriological examination. According to the W.G. Paprosky classification, the bone defect was IIC for the acetabulum and II for the femur. After careful cleaning of the surgical area with an antiseptic solution (polyhexanide) and washing with a large volume of a saline solution, prosthesis reimplantation (Zimmer Biomet, USA) with cemented fixation of components (6.0 g meropenem per 40 g standard DePuy CMW 3 cement package (Johnson & Johnson, USA) was performed with plastic repair of the acetabulum with augment. The wound was drained according to Redon. Intraoperative blood loss was 1100 ml. Considering the identified etiology of the infection, the patient received parenteral etiotropic ABT starting the day of the surgery: co-trimoxazole 0.96 g 2 times a day and meropenem 1.0 g 3 times a day for 10 days.

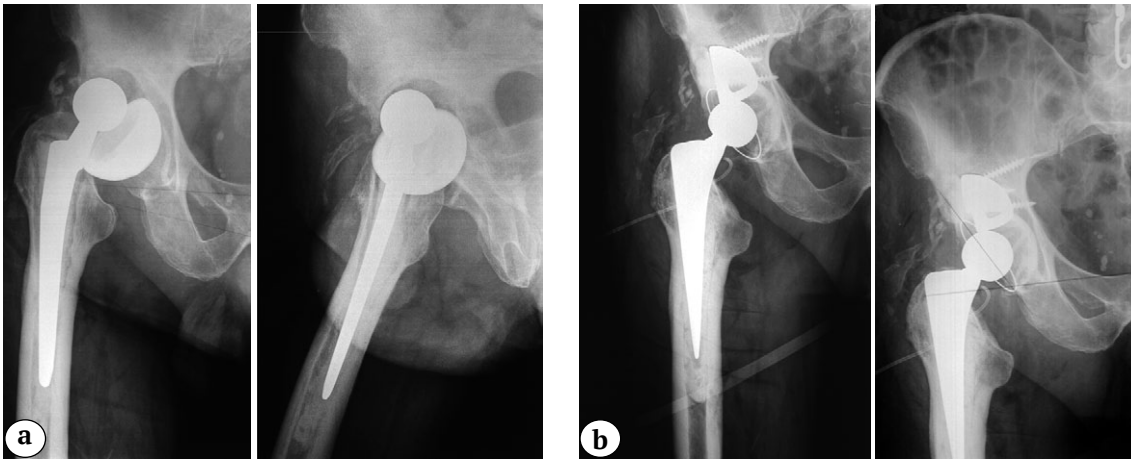


Fig. 1. X-rays of the right hip:
 a – on admission with signs of acetabular component instability and prosthetic head dislocation;
 b – after one-stage revision arthroplasty

Control X-ray the first day after the surgery showed the replacement of the right hip with a total prosthesis with cemented fixation of the components in the correct stable position. Postoperative period was uneventful (Fig. 1b). The drains were removed on the 5th day. The wound healed with primary intention. *S. maltophilia* strain was isolated from all intraoperatively sampled materials, which did not require ABT correction. The sutures were removed on the 14th day. The patient was discharged in satisfactory condition with the recommendation to take co-trimoxazole tablets 0.96 g 2 times a day for 8 weeks and to monitor the clinical blood count, creatinine, transaminases once every 2 weeks to detect possible adverse reactions.

The patient experienced closed dislocation of the prosthesis later the day of discharge being at home in his sleep. He was admitted to the on-call hospital, where an unsuccessful attempt of closed reduction of the prosthesis led to the instability of the femoral component. One week later, the patient was readmitted to the department of septic osteology for surgical treatment. According to the patient, he had been taking the recommended ABT. X-ray showed total right hip replacement with unstable position of cemented prosthetic components with dislocation of the head of the femoral component (Fig. 2 a). No microbial growth was observed in the preoperative punctate.

From the day of the patient's readmission to the hospital, oral form of antibiotics was substituted for parenteral: co-trimoxazole and meropenem in the same dose until the discharge of the patient. He received analgesic treatment and symptomatic therapy to correct anemia as part of preparation for revision surgery.

Revision surgery with reinstallation of the acetabular and femoral components was performed 5 days after admission (27 days after one-stage revision arthroplasty). Double-mobility acetabular component and cemented (6.0 g meronem per 40 g standard package of DePuy CMW 3 cement (Johnson & Johnson, USA)) femoral component (Zimmer Biomet, USA) were implanted. Given the stable position of the augments, they were not replaced to prevent an increase of the bone defect.

Early postoperative period was uneventful. Control X-ray on the first day after the surgery showed right hip replacement with correct and stable position of the total prosthesis with cemented fixation of the components (Fig. 2b). On the 14th day after the surgery the patient was discharged from the hospital. At the outpatient stage, the patient was recommended to continue taking co-trimoxazole 0.96 g 2 times a day for 8 weeks.

The patient had a total ABT course of 97 days. He did not complain of adverse reactions related to treatment with antibiotics. Two years later, on admission for elective total left hip replacement, there were no signs of infection and inflamma-

tion in the right hip area. Given the absence of recurrence of the infection, we can retrospectively affirm the complete eradication.

Thus, in the vast majority of the analyzed clinical cases, *S. maltophilia* was isolated as the only etiological agent in patients with long-term chronic recurrent infection, indicating the pres-

ence of secondary immunodeficiency. There were no typical changes in the laboratory markers of the infection and inflammation. In 3 out of 8 cases recurrences of infection were diagnosed in the early postoperative period, which required reoperations while continuing co-trimoxazole therapy as the only etiologic antibiotic.

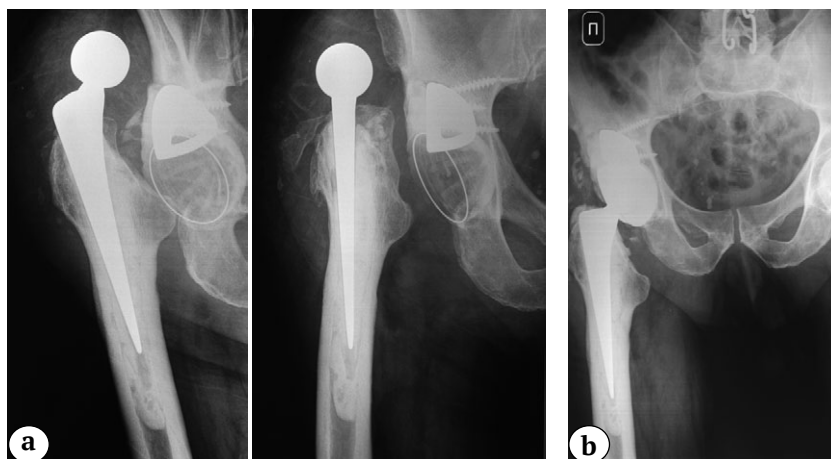


Fig. 2. X-rays of the right hip on re-admission:
a — on admission with signs of femoral component instability and prosthetic head dislocation;
b — after repeated revision arthroplasty

DISCUSSION

S. maltophilia can colonize the surface of medical devices and therapeutic equipment, causing infections of various localizations [9]. Bacteria of this species possess various virulence and persistence factors, including elastase, hyaluronidase, protease, lipase, DNase, RNase and mucinase, providing invasion into the tissues of the macroorganism and protecting against the host immune system [10]. *S. maltophilia* is characterized by its ability to form biofilms consisting of polymeric matrix of polysaccharides, proteins, lipids, nucleic acids and minimally active bacteria, which can disseminate by colonizing new surfaces in less than 24 hours [10].

S. maltophilia has natural resistance to many broad-spectrum antibiotics [8]. Resistance to most beta-lactams is realized via two produced enzymes: L1 — class B zinc-dependent penicillinase and L2 — class A serine-cephalosporinase, which makes *S. maltophilia* resistant to ceftriaxone, piperacillin-tazobactam and carbapenems [8]. Clavulanic acid demonstrated activity only against L2 beta-lactamase [9]. Besides, acetyltransferase synthesis provides resistance to aminoglycosides. Resistance to a number of other antimicrobial drugs is achieved by a system of ef-

flux pumps (e.g., SmeDEF and SmeABC) acting on fluoroquinolones, aminoglycosides, macrolides and tetracyclines. Resistance to co-trimoxazole is regulated by the *sul1* and *dfrA* target modification genes via class 1 integrons [10].

S. maltophilia is often one of the causative agents of polymicrobial infections. The frequency of identification of representatives of this species as a component of microbial associations ranges from 33% to 70% [11, 12]. The presence of *S. maltophilia* in polymicrobial biofilms even with low virulence of their strains increases the risk of horizontal transmission of antibiotic resistance genes to other bacterial species [13]. It has been shown that the transfer of genetic material between sessile forms of bacteria occurs at a higher speed than between planktonic cells. This is due to the enhancement of interbacterial interaction by limiting the mobility of bacteria in biofilms, which allows the biofilms to be considered as reservoirs of genetic diversity [14]. In addition, a number of studies have shown that in case of polymicrobial types of infection, the intermicrobial interaction can influence the prognosis of the infectious disease outcome [11].

Our study revealed low incidence of orthopedic infections caused by *S. maltophilia* (9 cases

over 14 years of follow-up). This fact may be explained by the limited virulence of the strains of this species, its existence in microbial associations where other species are considered the leading pathogens, as well as the difficulties in bacteriological diagnostics associated with the biochemical identification of this bacterial species.

There is an extremely limited number of publications on bone and joint infections, including implant-associated infections caused by *S. maltophilia*. M.E. Hantes et al. successfully managed PPI caused by *S. maltophilia* that developed after total shoulder arthroplasty. The authors note that the infection markers were poorly expressed (white blood cell count – $12.7 \times 10^9/l$, CRP – 9.1 mg/l, erythrocyte sedimentation rate – 55 mm/h). Basing on the results of bacteriological examination of intraoperative tissue biopsy samples, levofloxacin and co-trimoxazole were prescribed. In addition, the patient underwent complete immunological examination within the course of treatment, since *S. maltophilia* is more often detected in patients with immunosuppression. However, no possible concomitant pathologies affecting the immune system were detected. This clinical case showed that *S. maltophilia* strains could also cause orthopedic infection in non-immunocompromised patients [15].

Our study revealed that all patients with *S. maltophilia* as an etiological factor of PPI had a history of debridement surgery, i.e., the infection was recurrent. Significant number of surgical interventions, in their turn, may contribute to low immune status and increase the susceptibility of patients to this pathogen.

E.J. Chesnutis 3rd et al. described a case of the secondary *S. maltophilia* osteomyelitis that developed after an open fracture of the distal tibia, and despite daily infusions of ticarcillin/clavulanate and levofloxacin, amputation of the limb at the level of the upper third of the tibia was required [16].

Co-trimoxazole is considered the drug of choice for the treatment of infections caused by *S. maltophilia*, and has been widely used for many years [17]. A number of adverse effects of this drug are known, including renal and hepatic dysfunction, water-electrolyte imbalance, inhibition of bone marrow function and hypersensitivity reactions [18]. The patient in our clinical case did

not complain of any adverse reactions after long-term (97 days) treatment with co-trimoxazole.

In recent years, *S. maltophilia* isolates resistant to co-trimoxazole have been increasingly reported [17, 19, 20]. The existing regulatory documents determining the antibacterial sensitivity criteria specify the epidemiological cut-offs for co-trimoxazole. However, in 2020 the susceptibility range of *S. maltophilia* strains has been changed, and the vast majority of isolated cultures will be evaluated as sensitive only with increased drug exposure or resistant. These changes may significantly limit the eligibility of co-trimoxazole administration in case of infections caused by *S. maltophilia*, despite many years of successful experience of its use.

Fluoroquinolones are used as an alternative for treating infections caused by co-trimoxazole-resistant *S. maltophilia* or in patients with its intolerance [8]. However, levofloxacin also has adverse effects, including cardiac conduction disorders, tendopathy, gastrointestinal disturbances and the high risk of *Clostridioides difficile* infection [8, 20]. A large study showed that levofloxacin was an effective alternative to co-trimoxazole in case of *S. maltophilia* infection [20]. Despite this, there are no criteria for assessing the sensitivity of *S. maltophilia* to fluoroquinolones in the international guidelines for determining the antimicrobial activity of drugs against different types of pathogens (EUCAST, CLSI).

M.L. Landrum et al. report on successful treatment of a case of osteomyelitis after L5-S1 resectomy caused by *S. maltophilia*. During the treatment process, etiotropic therapy including levofloxacin for 6 weeks was administered. However, 2 months later, the patient returned to the hospital with increasing low back pain. MRI scans showed recurrence of osteomyelitis, and *S. maltophilia*, sensitive to co-trimoxazole and resistant to levofloxacin, was identified again in the disc aspirate. The patient received co-trimoxazole for 18 months, and the infection was stopped [21].

Tetracyclines (tigecycline, doxycycline, minocycline) are other antibiotics showing efficacy against *S. maltophilia* [22]. In five review studies, the sensitivity rate of *S. maltophilia* to minocycline was 99.5% [12]. In the Russian Federation, minocycline has been registered since May 2022 as an indication for infectious and inflammatory

diseases caused by the pathogens sensitive to this drug (including purulent soft tissue infections, osteomyelitis). In addition to the high level of sensitivity of *S. maltophilia* to minocycline, it is characterized by minimal drug-drug interaction and is relatively well tolerated by patients. This antibiotic can be prescribed in combination with co-trimoxazole in case of ineffectiveness of alternative treatment regimens [8].

EUCAST v. 12 (https://www.eucast.org/clinical_breakpoints) indicates the criteria for evaluating the sensitivity of *S. maltophilia* to the new antibacterial drug cefiderocol, which was approved in the United States and the EU in 2019, but has not been registered in the Russian Federation yet. Five cases of pneumonia caused by *S. maltophilia* treated with this antibiotic were registered within the study of cefiderocol activity against Gram-negative carbapenem-resistant bacteria (CREDIBLE-CR). At the same time, despite the high *in vitro* activity of cefiderocol, the response to treatment in all five cases was considered undetermined, and all-cause mortality was 80% (4 of 5) at the end of the study [23]. This, in our opinion, does not allow to consider the drug as promising for the treatment of patients with PPI.

Due to the wide range of mechanisms of *S. maltophilia* resistance to antimicrobial drugs and the difficulty of achieving target antibiotic concentrations in some body tissues (bone, central nervous system, pulmonary), the combinations of antimicrobial drugs to overcome *S. maltophilia* resistance or to achieve drug synergism were studied. Experimental studies have shown that in case of confirmed sensitivity of *S. maltophilia* to co-trimoxazole, ceftazidime, ticarcillin/clavulanate and aminoglycosides their double or triple combinations have a synergistic effect [8]. Combinations of co-trimoxazole or inhibitor-protected beta-lactams with antibiotics such as tigecycline, fluoroquinolones, televancin [24], rifampicin [25] or colistin in aerosol have also been studied. These drugs have demonstrated various degrees of synergism, including the ability to maintain efficacy in the microbial biofilm.

In clinical practice, the combination of co-trimoxazole, ceftazidime and levofloxacin has been shown to be effective against *S. maltophilia*-induced meningitis [26], while intravenous colistin infusion plus parenteral administration of phosphomycin with tigecycline have resulted

effective against complicated biliary tract infection [27]. These groups of drugs are widely used for treating PPI of various etiology and, probably, can be used in case of PPI caused by *S. maltophilia*.

When determining the prospects of clinical use of various antibiotic combinations for the treatment of *S. maltophilia* infection, it is important to understand that *in vitro* synergism must correlate with clinical outcomes, and comparative studies of clinical outcomes are absent due to the rare occurrence of the pathogen. In addition, evaluation of *S. maltophilia* sensitivity is limited by the lack of susceptibility checkpoints for the vast majority of drugs used in clinical practice.

CONCLUSION

Thus, the limited choice of drugs for targeted therapy, the presence of multiple determinants of antibiotic resistance, the existence of microbial associations and patient risks, including implantation, chronic character of infection, advanced age, as well as the presence of pronounced concomitant somatic pathology, can lead to the ineffectiveness of the ongoing treatment of infections caused by *S. maltophilia*. Despite the fact that the representatives of this bacterial species are not obligate pathogens, the described clinical case demonstrates the necessity to consider *S. maltophilia* as a possible etiological agent capable of causing severe chronic infections, including orthopedic ones. At the same time, our study demonstrates that in case of sensitivity of *S. maltophilia* strain to co-trimoxazole, it is possible to administer this drug for a long course as a monotherapy provided that the radical surgical debridement of the focus is performed.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kasimova A.R. — literature review, analysis of data, writing the draft, editing.

Gordina E.M. — literature review, analysis of data, writing the draft, editing.

Toropov S.S. — data collection and writing the draft.

Bozhkova S.A. — idea and concept of the study, text editing.

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.

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.

REFERENCES

- Kandel C.E., Jenkinson R., Daneman N., Backstein D., Hansen B.E., Muller M.P. et al. Predictors of Treatment Failure for Hip and Knee Prosthetic Joint Infections in the Setting of 1- and 2-Stage Exchange Arthroplasty: A Multicenter Retrospective Cohort. *Open Forum Infect Dis.* 2019;6(11):ofz452. doi: 10.1093/ofid/ofz452.
- Bozhkova S., Tikhilov R., Labutin D., Denisov A., Shubnyakov I., Razorenov V. et al. Failure of the first step of two-stage revision due to polymicrobial prosthetic joint infection of the hip. *J Orthop Traumatol.* 2016;17(4):369-376. doi: 10.1007/s10195-016-0417-8.
- Bi S., Hu F.S., Yu H.Y., Xu K.J., Zheng B.W., Ji Z.K., et al. Nontuberculous mycobacterial osteomyelitis. *Infect Dis (Lond).* 2015;47(10):673-685. doi: 10.3109/23744235.2015.1040445.
- Chen J., Xiong A., Ma Y., Qin C., Ho C.L. Impact of the Host-Microbiome on Osteomyelitis Pathogenesis. *Front Mol Biosci.* 2021;8:702484. doi: 10.3389/fmolb.2021.702484.
- Bozhkova S.A., Ivanov P.P., Zemlyanskaya E.A., Kornilov N.N. Fungal Periprosthetic Infection after Total Knee Arthroplasty (Case Report and Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019;25(4):134-140. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-134-140. (In Russ).
- Kim E.J., Kim Y.C., Ahn J.Y., Jeong S.J., Ku N.S., Choi J.Y. et al. Risk factors for mortality in patients with *Stenotrophomonas maltophilia* bacteremia and clinical impact of quinolone-resistant strains. *BMC Infect Dis.* 2019;19(1):754. doi: 10.1186/s12879-019-4394-4.
- Geller M., Nunes C.P., Oliveira L., Nigri R. S. *maltophilia* pneumonia: A case report. *Respir Med Case Rep.* 2018;24:44-45. doi: 10.1016/j.rmcr.2018.04.004.
- Mojica M.F., Humphries R., Lipuma J.J., Mathers A.J., Rao G.G., Shelburne S.A. et al. Clinical challenges treating *Stenotrophomonas maltophilia* infections: an update. *JAC Antimicrob Resist.* 2022;4(3):dlac040. doi: 10.1093/jacamr/dlac040.
- Majumdar R., Karthikeyan H., Senthilnathan V., Sugumar S. Review on *Stenotrophomonas maltophilia*: An Emerging Multidrug-resistant Opportunistic Pathogen. *Recent Pat Biotechnol.* 2022;16(4):329-354. doi: 10.2174/1872208316666220512121205.
- Brooke J.S. Advances in the Microbiology of *Stenotrophomonas maltophilia*. *Clin Microbiol Rev.* 2021;34(3):e0003019. doi: 10.1128/CMR.00030-19.
- Yin C., Yang W., Meng J., Lv Y., Wang J., Huang B. Co-infection of *Pseudomonas aeruginosa* and *Stenotrophomonas maltophilia* in hospitalised pneumonia patients has a synergic and significant impact on clinical outcomes. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2017;36(11):2231-2235. doi: 10.1007/s10096-017-3050-4.
- Gales A.C., Seifert H., Gur D., Castanheira M., Jones R.N., Sader H.S. Antimicrobial Susceptibility of *Acinetobacter calcoaceticus-Acinetobacter baumannii* Complex and *Stenotrophomonas maltophilia* Clinical Isolates: Results From the SENTRY Antimicrobial Surveillance Program (1997-2016). *Open Forum Infect Dis.* 2019;6(Suppl 1):S34-S46. doi: 10.1093/ofid/ofy293.
- Uruén C., Chopo-Escuin G., Tommassen J., Mainar-Jaime R.C., Arenas J. Biofilms as Promoters of Bacterial Antibiotic Resistance and Tolerance. *Antibiotics (Basel).* 2020;10(1):3. doi: 10.3390/antibiotics10010003.
- Hathroubi S., Mekni M.A., Domenico P., Nguyen D., Jacques M. Biofilms: Microbial shelters against antibiotics. *Microb Drug Resist.* 2017;23(2):147-156. doi: 10.1089/mdr.2016.0087.
- Hantes M.E., Papageorgiou F., Komnos G.A. *Stenotrophomonas maltophilia* periprosthetic joint infection after reverse total shoulder arthroplasty. *IDCases.* 2020;21:e00796. doi: 10.1016/j.idcr.2020.e00796.
- Chesnutis E.J. 3rd, Ng A., Kruse D., Stone P.A. *Stenotrophomonas maltophilia*: A Rare Case of Osteomyelitis After an Open Distal Tibial Fracture. *J Foot Ankle Surg.* 2018; 57(5):1037-1041. doi: 10.1053/j.jfas.2018.03.001.
- Anđelković M.V., Janković S.M., Kostić M.J., Živković Zarić R.S., Opančina V.D., Živić M.Ž. et al. Antimicrobial treatment of *Stenotrophomonas maltophilia* invasive infections: systematic review. *J Chemother.* 2019;31:297-306. doi: 10.1080/1120009X.2019.1620405.
- Giles A., Foushee J., Lantz E., Gumina G. Sulfonamide allergies. *Pharmacy (Basel).* 2019;7(3):132. doi: 10.3390/pharmacy7030132.
- Nys C., Cherabuddi K., Venugopalan V., Klinker K.P. Clinical and Microbiologic Outcomes in Patients with Monomicrobial *Stenotrophomonas maltophilia* Infections. *Antimicrob Agents Chemother.* 2019;63(11):e00788-19. doi: 10.1128/AAC.00788-19.
- Sarzynski S.H., Warner S., Sun J., Matsouaka R., Dekker J.P., Babiker A. et al. Trimethoprim-Sulfamethoxazole Versus Levofloxacin for *Stenotrophomonas maltophilia* Infections: A Retrospective Comparative Effectiveness Study of Electronic Health Records from 154 US Hospitals. *Open Forum Infect Dis.* 2022;9(2):ofab644. doi: 10.1093/ofid/ofab644.
- Landrum M.L., Conger N.G., Forgione M.A. Trimethoprim-sulfamethoxazole in the treatment of *Stenotrophomonas maltophilia* osteomyelitis. *Clin Infect Dis.* 2005;40(10):1551-1552. doi: 10.1086/429730.

22. Sader H.S., Castanheira M., Mendes R.E., Flamm R.K. Frequency and antimicrobial susceptibility of Gram-negative bacteria isolated from patients with pneumonia hospitalized in ICUs of US medical centres (2015-17). *J Antimicrob Chemother.* 2018;73(11):3053-3059. doi: 10.1093/jac/dky279.
23. Bassetti M., Echols R., Matsunaga Y., Ariyasu M., Doi Y., Ferrer R. et al. Efficacy and safety of cefiderocol or best available therapy for the treatment of serious infections caused by carbapenem-resistant Gram-negative bacteria (CREDIBLE-CR): a randomised, open-label, multicentre, pathogen-focused, descriptive, phase 3 trial. *Lancet Infect Dis.* 2021;21(2):226-240. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30796-9.
24. Hornsey M., Longshaw C., Phee L., Wareham D.W. In vitro activity of telavancin in combination with colistin versus Gram-negative bacterial pathogens. *Antimicrob Agents Chemother.* 2012;56(6):3080-3085. doi: 10.1128/AAC.05870-11.
25. Betts J.W., Phee L.M., Woodford N., Wareham D.W. Activity of colistin in combination with tigecycline or rifampicin against multidrug-resistant *Stenotrophomonas maltophilia*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2014;33(9):1565-1572. doi: 10.1007/s10096-014-2101-3.
26. Correia C.R., Ferreira S.T., Nunes P. *Stenotrophomonas maltophilia*: rare cause of meningitis. *Pediatr Int.* 2014;56(4):e21-22. doi: 10.1111/ped.12352.
27. Pérez P.N., Ramírez M.A., Fernández J.A., De Guevara L.L. A patient presenting with cholangitis due to *Stenotrophomonas maltophilia* and *Pseudomonas aeruginosa* successfully treated with intrabiliary colistin. *Infect Dis Rep.* 2014;6(2):5147. doi: 10.4081/idr.2014.5147.

Authors' information

✉ Alina R. Kasimova — Cand. Sci. (Med.)

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

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

e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Ekaterina M. Gordina — Cand. Sci. (Med.)

<http://orcid.org/0000-0003-2326-7413>

e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Sergey S. Toropov

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

e-mail: doctoropovss@yandex.ru

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

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

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru



Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Clinical Case and Review

Denis G. Naumov^{1,2}, Sergey G. Tkach¹, Anton A. Ladygin³, Mikhail M. Shchelkunov¹, Andrey A. Karpushin¹

¹ St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Federal Network of Medical Centers "MRI Expert", Apatity, Russia

Background. Deep surgical site infection (DSSI) is one of the most severe complications in spinal surgery. The timing and nature of DSSI are the determining criteria in the choice of treatment tactics. The uniqueness of the clinical observation is the combination of early DSSI, epidural abscess and angular kyphotic deformity formed after a course of conservative antibacterial therapy in a patient who underwent surgery for degenerative-dystrophic disease of the cervical spine. Correction of angular kyphosis, removal of fractured vertebrae, interbody implants and three-column cervical reconstruction were performed in one surgical session.

Case presentation. A 57-year-old patient was admitted to the clinic after staged surgical interventions on the cervical spine for multilevel degenerative stenosis of the spinal canal. The primary surgical interventions were complicated by DSSI in the early period after the second surgery with formation of angular kyphosis of the cervical spine. The patient underwent revision one-stage reconstructive intervention to correct the deformity, decompress the spinal canal, and three-column reconstruction of C3-7 segments. Long-term follow-up showed persistent reduction of pain syndrome, improved quality of life and absence of recurrence of DSSI.

Conclusion. The presented case illustrates the possibilities of one-stage revision three-column cervical spine reconstruction for correction of sagittal profile, decompression of intracanal neural structures and ensuring stability of operated segments. Use of DSSI treatment algorithms based on V. Prinz and P. Vajkoczy classification contributes to the selection of the optimal tactics of patient management.

Keywords: surgical site infection, cervical spine, kyphosis, revision surgery.

Cite as: Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A. Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Clinical Case and Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):95-103. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2373>.

✉ Denis G. Naumov; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Submitted: 25.01.2023. Accepted: 09.02.2023. Published Online: 17.02.2023.

© Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A., 2023

Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы

Д.Г. Наумов^{1,2}, С.Г. Ткач¹, А.А. Ладыгин³, М.М. Щелкунов¹, А.А. Карпушин¹

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

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

³ Федеральная сеть медицинских центров «МРТ Эксперт», г. Апатиты, Россия

Актуальность. Глубокая инфекция области хирургического вмешательства (ИОХВ) является одним из наиболее тяжелых осложнений в хирургии позвоночника. При этом срок развития и характер ИОХВ — определяющие критерии при выборе тактики лечения. Уникальность клинического наблюдения заключается в сочетании ранней глубокой ИОХВ, эпидурального абсцесса и угловой кифотической деформации, сформировавшейся после проведения курса консервативной антибактериальной терапии у пациента, оперированного по поводу дегенеративно-дистрофического заболевания шейного отдела позвоночника. Коррекция углового кифоза, удаление разрушенных позвонков, межтеловых имплантатов и трехколонная реконструкция шейного отдела выполнены в одну хирургическую сессию.

Описание случая. Пациент 57 лет госпитализирован в клинику после этапных хирургических вмешательств на шейном отделе позвоночника по поводу многоуровневого дегенеративного стеноза позвоночного канала. Первичные хирургические вмешательства осложнились глубокой ИОХВ в раннем периоде после второй операции с формированием углового кифоза шейного отдела позвоночника. Пациенту проведено ревизионное одномоментное реконструктивное вмешательство, направленное на коррекцию деформации, декомпрессию позвоночного канала и трехколонную реконструкцию сегментов С3–7. В отдаленном периоде отмечено стойкое снижение болевого синдрома, улучшение качества жизни и отсутствие рецидива ИОХВ.

Заключение. Представленный клинический случай иллюстрирует возможности одномоментной ревизионной трехколонной реконструкции шейного отдела позвоночника для коррекции сагиттального профиля, декомпрессии интраканальных невралгических структур и обеспечения стабильности оперируемых сегментов. Использование алгоритмов лечения ИОХВ, основанных на классификации V. Prinz и P. Vajkoczy способствует выбору оптимальной тактики ведения пациентов.

Ключевые слова: инфекция области хирургического вмешательства, шейный отдел позвоночника, кифоз, ревизионная операция.

📖 Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А. Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):95–103. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2373>.

✉ Наумов Денис Георгиевич; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Рукопись получена: 25.01.2023. Рукопись одобрена: 09.02.2023. Статья опубликована онлайн: 17.02.2023.

© Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А., 2023

BACKGROUND

Angular kyphotic deformity is one of the most severe cervical spine pathologies leading to the development of vertebrogenic pain syndrome, myelo- and radiculopathy, impaired global sagittal balance and decreased quality of life of patients [1, 2, 3]. The etiology of angular kyphosis of the cervical spine is multipotent [4, 5, 6]. Among the leading factors are postlaminectomy syndrome, rheumatologic diseases (ankylosing spondylarthritis, Bechterew's disease) and infectious processes (spondylitis, surgical site infection (SSI)) [7, 8, 9].

The incidence of cervical kyphosis after multilevel laminectomy without posterior hardware fixation reaches 15-24% in adults and 37-100% in children [10, 11, 12, 13]. Performing fixation, laminoplasty, minimally invasive ventral (Jho's surgery) and dorsal (foraminotomy) decompression interventions reduces the risks of kyphosis development in the postoperative period [14, 15, 16].

Ankylosing spondylarthritis manifested by thoracic hyperkyphosis and lumbar hypolordosis leads to chin-on-chest deformity and changes in the gaze angle requiring SRS-Schwab (2014) type 3 out-of-apical vertebratomies to correct the sagittal balance [17, 18, 19, 20].

Despite the existing array of data reflecting the features of clinical characteristics, diagnostics and surgical treatment of cervical kyphotic deformity associated with postlaminectomy syndrome and Bechterew's disease, the information on angular kyphoses with infectious processes is extremely limited and represented by rare publications [21, 22, 23].

Aim of the study. To present the results of simultaneous revision three-column cervical spine reconstruction in a patient with deep early surgical site infection complicated by the development of angular kyphotic deformity.

Clinical case

A 57 year old patient was admitted to the Department of Spine Surgery No. 6 of Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology of the Ministry of Healthcare of Russia in January 2022. On admission he complained of chronic vertebrogenic pain syndrome in the cervical spine with intensity of up to 7 points according to the visual analogue scale (VAS), numbness of the fingers IV-V of the left hand and muscle weakness in the hands.

The patient was known to have a history of vertebrogenic cervical pain syndrome with irradiation to the left shoulder joint area since September 2020. He underwent staged courses of conservative analgetic (NSAIDs) and neurotropic therapy without any stable therapeutic effect. ENMG of the upper extremities (March 2021) showed the presence of preganglionic lesions of the C6-C8 spinal cord roots. MRI of the cervical spine in March 2021 revealed polysegmental degenerative-dystrophic changes in the C3-C7 spinal motion segments, stenosis of the spinal canal with the development of discoradicular conflict (Fig. 1).

Considering the clinical picture and radiological findings, the patient underwent surgery in May 2021: anterior cervical discectomy, decompression of the spinal canal and interbody fusion at the C5-C6, C6-C7 levels (Fig. 2). Postoperative period was uneventful, and the radicular pain syndrome was partially resolved (intensity was up to 5 points according to VAS).

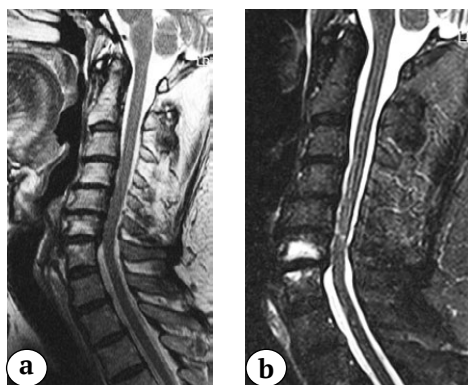


Fig. 1. MRI (a — T2 images; b — STIR images): C3–C7 polysegmental degenerative changes, spinal canal stenosis, C6–C7 end plates oedema type I Modic, polysegmental myelopathy C4–C7

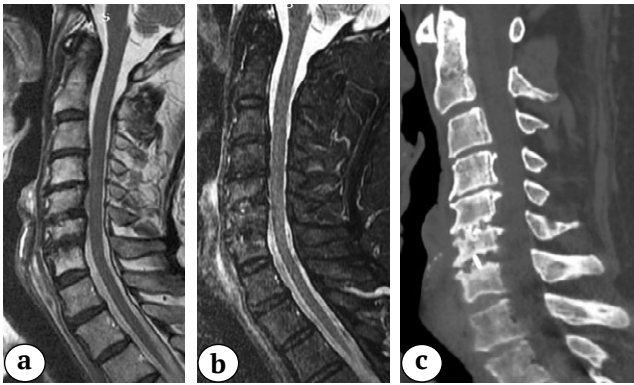


Fig. 2. MRI (a – T2 images; b – STIR images) and CT (c) after the first operation: two interbody implants (PEEK cages) are identified at the C5–C6, C6–C7, C4–C6 ossification of the posterior longitudinal ligament (segmental type according to the Committee on the Ossification of the Spinal Ligaments)

Six months after the initial surgery, the patient returned due to the persistence of clinical complaints. Clinical and instrumental examination was performed. The decision was made to perform a staged surgery consisting of anterior cervical discectomy, decompression of the spinal canal and spondylodesis of the C4–C5 segment.

Early postoperative period was complicated by the development of deep SSI, for which empiric antibacterial treatment (parenteral injection of vancomycin 1.0 twice a day for 3 weeks) was administered. Revision surgeries (necrectomy, abscessotomy, removal of interbody cages) were not performed. Cervical spine MRI in the setting of deep SSI (16 days after anterior cervical discectomy and C4–C5 spondylodesis) showed the presence of an epidural abscess and focal myelopathy at the C2–C3 level, a prevertebral abscess at the C2–C6 level and spondylitis at the C3–C5 level (Fig. 3).

Over time, the antibacterial treatment resulted in stabilization of the general condition and laboratory parameters. However, the intensity of vertebrogenic and radicular pain syndrome increased up to 8 points.

At the time of admission to the St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, the patient complained of cervical spine pain with irradiation to the upper extremities with an intensity of up to 7 points according to VAS. The decrease in quality of life assessed by the Oswestry Disability Index (ODI) and Neck Disability Index (NDI) was 47% and 62%, respectively (severe). Neurological status corresponded to Frankel type D (spinal cord lesions in C5–T1 segments with sensory disorders).

Radiological examination revealed an angular kyphotic deformity of the cervical spine of 48° according to Cobb, cSVA 12 mm, T1S 30° (Fig. 4).

The patient's general medical condition was moderately severe. Given the presence of chronic vertebrogenic pain syndrome, neurological deficits and angular kyphotic deformity of the cervical spine, the indications for surgical intervention were determined.

At the first stage, bone structures at the level of C3–C7 were exposed using the right-sided anterior cervical approach according to R.B. Cloward [24]. Significant scarring-adhesive changes of the glossopharyngeal space, intimate contact of the posterior wall of the esophagus with scar tissues at the level of C6–C7 were observed. At the stage of mobilization of the anterior column of the spine, a nasogastric tube was inserted in order to prevent esophageal perforation. Corpectomy of the C4–C6 bodies and decompression of the spinal canal at the corresponding level were performed using a high-speed bone drill, Kerrison rongeurs and microsurgical dissectors.

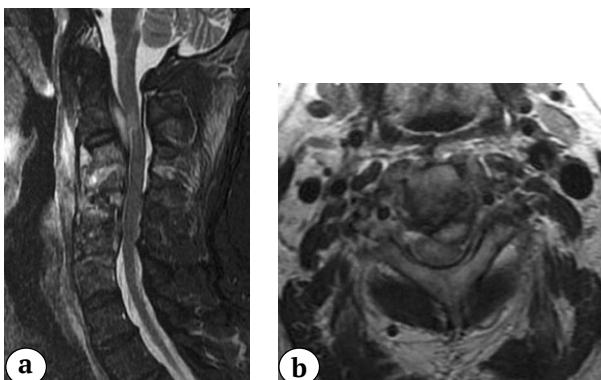


Fig. 3. MRI after the second operation: a – STIR images; b – T2 images: prevertebral, epidural abscesses, C3–C5 spondylitis, focal myelopathy at C2–C3

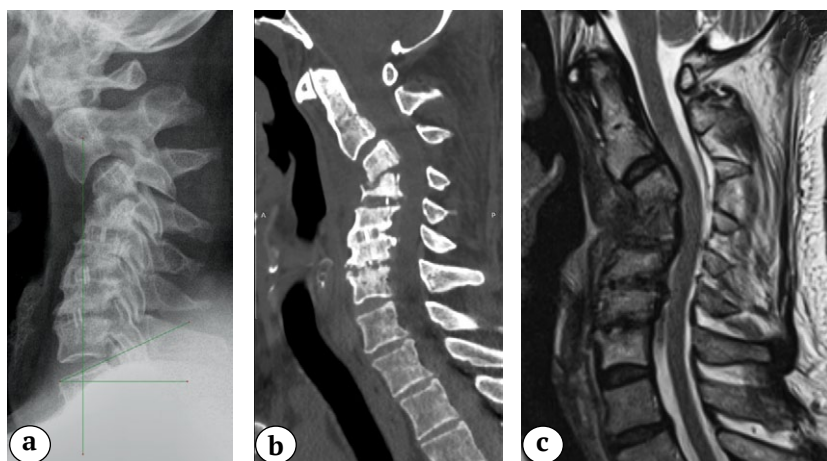


Fig. 4. X-ray (a), CT (b) and MRI (c) at the time of hospital admission: angular kyphosis 48° Cobb, destruction of C3–C5, myelopathy at C2–C3, no signs of active inflammatory process (abscesses)

Correction of kyphotic deformity after corpectomy was not performed due to the inability to install the Caspar pin distractor (the length of the C3–C7 postresection diastasis was 6 cm) and due to the bilateral synostosis of the C3–C4 facet joints. The anterior cervical approach was closed with retention sutures.

The second stage included type 1 bilateral facetectomy C3–C4 according to SRS-Schwab (2014), posterior transpedicular fixation of C2–C3, T1–T2 using the free-hands technique and posterior spondylodesis at the C2–T2 level with autograft fragments.

At the third stage, instrumental distraction of the anterior column of the spine and installation of a titanium mesh cage filled with autologous bone, taken from the anterior iliac spine, were performed. The wounds were drained and sutured. Surgery duration was 10 hours; the volume of surgical blood loss was 850 ml (13.5% of the total blood volume).

X-rays of the cervical spine at the time of discharge from the hospital and CT scans 10 months after the surgery are presented in Figure 5.

Postoperative period was uneventful, wounds healed by primary intention. Drains were removed on the 2nd day, patient was verticalized in a cervical brace on the 3rd day after the surgery. The intensity of vertebrogenic pain syndrome 10 months later was 2 points according to VAS, radicular pain syndrome in the upper extremities subsided, ODI – 15%, NDI – 14%. The value of correction of kyphotic deformity of the cervical spine was 46° according to Cobb.

Bacteriological examination of the surgical material showed no microbial growth. The results of histological examination indicated the presence of dystrophic changes in the bone tissue with irregularly pronounced lymphoplasmacytic infiltration. The diagnosis was a moderate chronic nonspecific inflammation. In the postoperative period the patient underwent a course of oral antibacterial therapy: amoxicillin + clavulanic acid for 6 weeks.

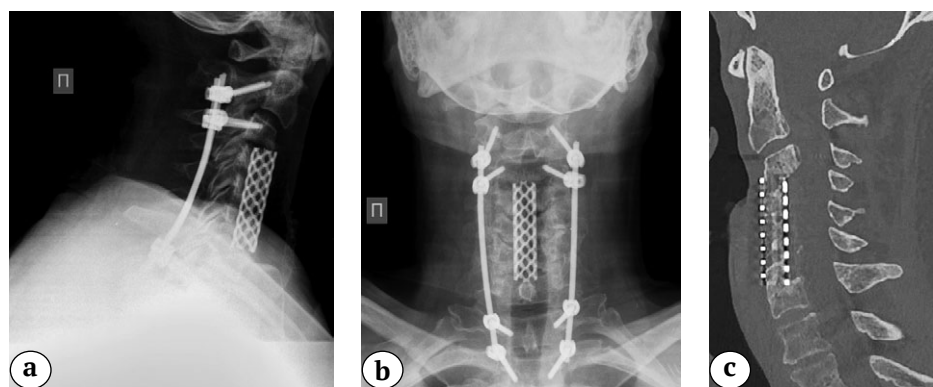


Fig. 5 (a, b, c). Sagittal (a) and frontal (b) X-rays, sagittal CT (c) 10 months after surgery: posterior transpedicular screw fixation correct position, solid anterior fusion C3–C7 formation detected

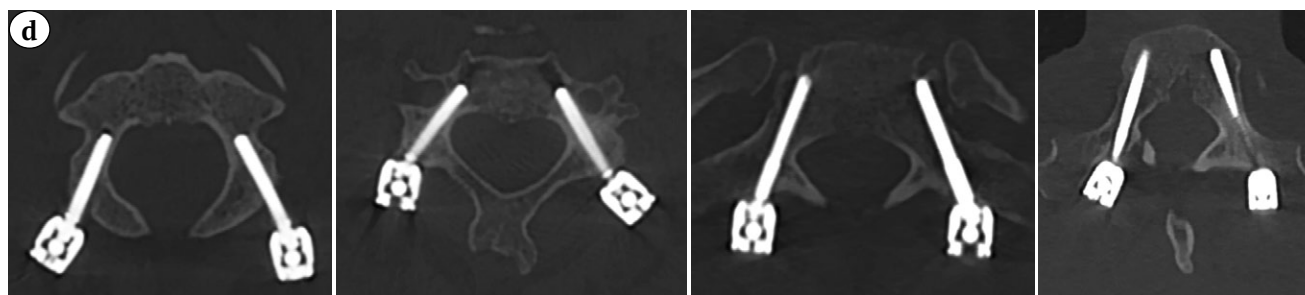


Fig. 5 (d). Axial (d) CT: posterior transpedicular screw fixation correct position, solid anterior fusion C3–C7 formation detected

DISCUSSION

The incidence of SSI in vertebrology ranges from 2.1% to 16.3%, whereas the deep periimplant infection as an independent nosological entity of infectious complications is registered with the incidence of up to 20% in the general structure of SSI [8, 25]. According to V. Prinz and P. Vajkoczy temporal periodization, SSI is commonly distinguished in early (up to 6 weeks after the surgery), delayed (>6 weeks) and late (>12 months) [26].

It is the duration of SSI development that is one of the key criteria for the choice of further treatment tactics. In case of early SSI, it is possible to retain implants, while delayed and late SSI require either one-stage replacement of fixation elements in combination with antibacterial therapy for at least 6 weeks, or staged tactics with primary implant removal, antibacterial therapy and subsequent restabilization [27].

The Russian-language version of the modified V. Prinz and P. Vajkoczy classification is presented in Table 1.

Systematic literature review published by a multicenter team of authors demonstrates a number of significant trends in the studied field: 1) shift in the microbiological spectrum of SSI pathogens towards resistant forms (MRSA cultivation rate – 35-71%, MRSE - 43%); 2) possibility of hardware retention in case of superficial SSI development both in the delayed and late postoperative periods; 3) necessity of hardware removal or one-stage replacement in the overwhelming majority of cases of deep SSI regardless of development terms [27].

Considering the presented clinical case, it should be noted that the development of deep

SSI in the early postoperative period required the removal of interbody implants with one-stage posterior hardware fixation to provide cervical spine stability. In turns, the optimal volume of bacteriological examination to verify the SSI pathogen includes inoculation of the wound exudate for nonspecific flora and sonication of the implant surfaces with an ultrasound destructor with the following cultivation of material for anaerobic low pathogenic flora (culture medium – blood agar). Duration of etiotropic antibacterial therapy is at least 6 weeks, 2 weeks of them are with parenteral administration.

It is also necessary to study the tactics of primary surgical intervention when the surgeons preferred the ACDF (anterior cervical discectomy and fusion) technique. One of the algorithmic tools for selecting surgical approach in case of degenerative pathology of the cervical spine is the K-line parameter originally suggested by T. Fujiyoshi et al. for patients with posterior longitudinal ligament ossification [28].

In our opinion, one of the obligatory components of preoperative radiological examination of patients with degenerative pathology of the cervical spine, along with MRI, are functional X-rays in the sagittal plane and CT scans. Thus, the results of CT scans after the primary surgery indicated the presence of a segmental type of longitudinal ligament ossification in the patient (see Fig. 2). At the same time, the functional X-rays in the sagittal plane at the preoperative stage could indicate the K-line (+) sagittal profile of the patient and shift the surgical tactics towards dorsal decompression (laminoplasty or laminectomy with hardware fixation of C4-C7).

Table 1

Russian-language version of V. Prinz and P. Vajkoczy classification

Parameter	Early SSI	Delayed and late SSI
Term	≤ 6 weeks	Delayed: > 6 weeks Late: > 12 months
Clinical symptoms	"Acute" local and systemic manifestations (fistula formation, local pain, fever)	"Chronic" manifestations (periimplant development of resorption, instability of implant)
Microbiological spectrum of pathogens	Highly pathogenic microorganisms (Staphylococcus aureus, streptococcus spp., Gram-negative: E. coli, Klebsiella, Pseudomonas aeruginosa)	Low pathogenic and resistant microorganisms (coagulase-negative staphylococci: MRSE, MRSA, anaerobic bacteria: Propionibacterium acnes)
Biofilms	Immature	Mature
Surgical tactics	Necrectomy (debridement), retention of hardware	Removal/replacement of hardware (in the absence of spondylolysis), sonication of the removed implants with subsequent bacteriological tests, including for low pathogenic flora (culture medium – blood agar)
Antibacterial therapy	Parenteral administration – 2 weeks, then per os 4–10 weeks	Parenteral administration – 2 weeks, then per os 4–10 weeks

CONCLUSION

Presented clinical case illustrates the potential of one-stage revision three-column cervical spine reconstruction for correction of the sagittal profile, decompression of intracanal neural structures and providing stability of the operated segments. Development of early deep SSI as the main cause of angular kyphotic deformity in this patient required revision surgery with interbody implants removal as soon as possible after the onset. At the same time, the use of tactical algorithms for the SSI treatment promotes the selection of optimal patient management tactics both at the stage of revision surgery and at the stage of subsequent antibiotic therapy.

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.

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.

REFERENCES

- Buell T.J., Buchholz A.L., Quinn J.C., Shaffrey C.I., Smith J.S. Importance of Sagittal Alignment of the Cervical Spine in the Management of Degenerative Cervical Myelopathy. *Neurosurg Clin N Am.* 2018;29(1): 69-82. doi: 10.1016/j.nec.2017.09.004.
- Shamji M.F., Mohanty C., Massicotte E.M., Fehlings M.G. The Association of Cervical Spine Alignment with Neurologic Recovery in a Prospective Cohort of Patients with Surgical Myelopathy: Analysis of a Series of 124 Cases. *World Neurosurg.* 2016;86:112-119. doi: 10.1016/j.wneu.2015.09.044.
- Li X.Y., Wang Y., Zhu W.G., Kong C., Lu S.B. Impact of cervical and global spine sagittal alignment on cervical curvature changes after posterior cervical laminoplasty. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):521. doi: 10.1186/s13018-022-03421-w.
- Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O. Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(4): 102-110. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-1668.

5. Han K., Lu C., Li J., Xiong G.Z., Wang B., Lv G.H. et al. Surgical treatment of cervical kyphosis. *Eur Spine J.* 2011;20(4):523-536. doi: 10.1007/s00586-010-1602-8.
6. Naumov D.G., Tkach S.G., Mushkin A.Yu., Makogonova M.E. Chronic infectious lesions of the cervical spine in adults: monocentric cohort analysis and literature review. *Spine Surgery.* 2021;18(3):68-76. (In Russ). doi: 10.14531/ss2021.3.68-76.
7. Ogura Y., Dimar J.R., Djurasovic M., Carreon L.Y. Etiology and treatment of cervical kyphosis: state of the art review—a narrative review. *J Spine Surg.* 2021;7(3):422-433. doi: 10.21037/jss-21-54.
8. Barnes M., Liew S. The Incidence of Infection after Posterior Cervical Spine Surgery: A 10 Year Review. *Global Spine J.* 2012;2(1):3-6. doi: 10.1055/s-0032-13072.
9. Mushkin A.Y., Schelkunov M.M., Snischuk V.P., Evseev V.A. The peculiarities of the structure on the pediatric cervical spine surgical pathology (analysis of the monocenter cohort and literature data). *Medical Alliance.* 2018;(1):60-67. (In Russ).
10. Kaptain G.J., Simmons N.E., Replogle R.E., Pobereskin L. Incidence and outcome of kyphotic deformity following laminectomy for cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg.* 2000;93(2 Suppl):199-204. doi: 10.3171/spi.2000.93.2.0199.
11. McGirt M.J., Chaichana K.L., Atiba A., Bydon A., Witham T.F., Yao K.C. et al. Incidence of spinal deformity after resection of intramedullary spinal cord tumors in children who underwent laminectomy compared with laminoplasty. *J Neurosurg Pediatr.* 2008;1(1):57-62. doi: 10.3171/PED-08/01/057.
12. Bell D.F., Walker J.L., O'connor G., Tibshirani R. Spinal deformity after multiple-level cervical laminectomy in children. *Spine (Phila Pa 1976).* 1994;19(4):406-411. doi: 10.1097/00007632-199402001-00005.
13. McLaughlin M.R., Wahlig J.B., Pollack I.F. Incidence of postlaminectomy kyphosis after Chiari decompression. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997;22(6):613-617.
14. Ma L., Liu F.Y., Huo L.S., Zhao Z.Q., Sun X.Z., Li F. et al. Comparison of laminoplasty versus laminectomy and fusion in the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: A systematic review and meta-analysis. *Medicine.* 2018;97(29):e11542. doi: 10.1097/00007632-199703150-00007.
15. Fager C.A. Laminectomy and kyphotic deformity. *J Neurosurg.* 2001;95(1 Suppl):157-158. doi: 10.3171/spi.2001.95.1.0157.
16. Suk K.S., Kim K.T., Lee J.H., Lee S.H., Lim Y.J., Kim J.S. Sagittal alignment of the cervical spine after the laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32(23):E656-E660. doi: 10.1097/BRS.0b013e318158c573.
17. Drain J.P., Virk S.S., Jain N., Yu E. Dropped Head Syndrome: A Systematic Review. *Clin Spine Surg.* 2019;32(10):423-429. doi: 10.1097/BSD.0000000000000811.
18. Khandelwal A., Sokhal S., Dube S., Goyal K., Singh A., Tandon V. et al. Perioperative Management of a Patient with Chin-On-Chest Deformity Presenting for Reconstructive Spine Surgery. *Neurol India.* 2021;69(6):1756-1758. doi: 10.4103/0028-3886.333489.
19. Sharan A.D., Kaye D., Charles Malveaux W.M., Riew K.D. Dropped head syndrome: etiology and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(12):766-774. doi: 10.5435/JAAOS-20-12-766.
20. Schwab F., Ungar B., Blondel B., Buchowski J., Coe J., Deinlein D. et al. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(12):1077-1082. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2.
21. Miyazaki M., Abe T., Ishihara T., Kanazaki S., Notani N., Kataoka M. et al. Cervical alignment after single-level anterior cervical corpectomy and fusion using autologous bone graft without spinal instrumentation for cervical pyogenic spondylitis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(3):479-484. doi: 10.1007/s00590-019-02594-1.
22. Mutoh M., Fukuoka T., Suzuki O., Hattori S. Three-Stage Surgical Strategy as a Combined Approach for Multilevel Cervical Pyogenic Spondylodiscitis. *Cureus.* 2021;13(9):e17747. doi: 10.7759/cureus.17747.
23. Shousha M., Mosafer A., Boehm H. Infection rate after transoral approach for the upper cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(19):1578-1583. doi: 10.1097/BRS.0000000000000475.
24. Cloward R.B. Treatment of hyperhidrosis palmaris (sweaty hands); a familial disease in Japanese. *Hawaii Med J.* 1957;16(4):381-387.
25. Wang M., Xu L., Yang B., Du C., Zhu Z., Wang B. et al. Incidence, management and outcome of delayed deep surgical site infection following spinal deformity surgery: 20-year experience at a single institution. *Global Spine J.* 2022;12(6):1141-1150. doi: 10.1177/2192568220978225.
26. Prinz V., Vajkoczy P. Surgical revision strategies for postoperative spinal implant infections (PSII). *J Spine Surg.* 2020;6(4):777-784. doi: 10.21037/jss-20-514.
27. Agarwal A., Kelkar A., Agarwal A.G., Jayaswal D., Schultz C., Jayaswal A. et al. Implant retention or removal for management of surgical site infection after spinal surgery. *Global Spine J.* 2020;10(5):640-646. doi: 10.1177/2192568219869330.
28. Fujiyoshi T., Yamazaki M., Kawabe J., Endo T., Furuya T., Koda M. et al. A new concept for making decisions regarding the surgical approach for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: the K-line. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(26):E990-E993. doi: 10.1097/BRS.0b013e318188b300.

Authors' information

✉ *Denis G. Naumov* – Cand. Sci. (Med.)

Address: 2–4, Ligovsky av., St. Petersburg, 191036, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>

e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Sergey G. Tkach

<https://orcid.org/0000-0001-7135-7312>

e-mail: tkach2324sergei@yandex.ru

Anton A. Ladygin

<https://orcid.org/0000-0002-2003-9987>

e-mail: ladygin-antony1982@inbox.ru

Mikhail M. Shchelkunov

<https://orcid.org/0000-0002-6305-6023>

e-mail: mm.shelkunov1881@yandex.ru

Andrey A. Karpushin

<https://orcid.org/0000-0002-7178-3861>

e-mail: karpushin@lyag.ru



Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report

Anatolii K. Mursalov, Georgii M. Kositsyn, Aleksei M. Dzyuba

National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, Moscow, Russia

Background. In the world literature only a few cases of medial ankle reconstruction after its traumatic loss were described. The authors have not found similar cases in the Russian-language literature.

The aim of the study was to show a rare clinical case of a patient with a traumatic defect of the medial ankle and to describe the method of its reconstruction.

Case presentation. A 52-year-old patient suffered a motorcycle injury resulting in an open fracture of the medial ankle with bone fragment loss. The patient was taken to a medical facility where he underwent primary surgical treatment with wound suturing. Three months later, the reconstruction of the medial ankle with a free iliac crest autograft, medial ankle osteosynthesis and deltoid ligament plasty were carried out at N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. In the postoperative period, immobilization of the ankle joint was performed for 4 weeks followed by the active development of motions and partial weight bearing 8 weeks after the surgery. The AOFAS score 12 months after the reconstruction was 93 points. According to CT scans, complete autograft integration was achieved and no signs of instability of the ankle joint were observed. The patient was satisfied with the performed surgical treatment.

Conclusion. The most optimal method of treatment in case of traumatic defect of the medial ankle is its reconstruction with a free iliac crest autograft. This allows us to form a graft of required parameters and shape, minimizing the risk of postoperative complications.

Keywords: traumatic bone defect, medial ankle fracture, bone grafting, free bone autograft.

Cite as: Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M. Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):104-110. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2030>.

✉ Georgii M. Kositsyn; e-mail: og-o@mail.ru

Submitted: 29.11.2022. Accepted: 20.02.2023. Published Online: 09.03.2023.

© Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M., 2023



Реконструкция медиальной лодыжки свободным аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай

А.К. Мурсалов, Г.М. Косицын, А.М. Дзюба

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, г. Москва, Россия

Актуальность. В мировой литературе описано всего несколько случаев реконструкции медиальной лодыжки после возникновения ее травматического дефекта. В русскоязычной литературе нам не удалось найти описания подобных случаев.

Целью публикации является демонстрация редкого клинического наблюдения пациента с травматическим дефектом медиальной лодыжки и метода ее реконструкции.

Описание случая. Пациент 52 лет получил мотоциклетную травму, в результате которой произошел открытый перелом медиальной лодыжки с утратой костного фрагмента. Пациент доставлен в лечебное учреждение, где ему была выполнена первичная хирургическая обработка с ушиванием раны. Через 3 мес. была выполнена операция по реконструкции медиальной лодыжки свободным аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости с фиксацией металлоконструкцией и пластикой дельтовидной связки. В послеоперационном периоде выполнялась иммобилизация голеностопного сустава в течение 4 нед., затем активная разработка движений и дозированная нагрузка на конечность через 8 нед. Через 12 мес. оценка по шкале AOFAS составила 93 балла. По данным компьютерной томографии достигнута полная интеграция аутотрансплантата, отсутствуют признаки нестабильности голеностопного сустава. Пациент удовлетворен проведенным хирургическим лечением.

Заключение. При травматическом дефекте медиальной лодыжки оптимальным методом лечения является реконструкция свободным аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости. Это позволяет сформировать трансплантат необходимых размеров и формы, при этом минимизируется риск развития послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: травматический дефект, перелом медиальной лодыжки, костная пластика, свободный костный аутотрансплантат.

Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М. Реконструкция медиальной лодыжки свободным аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):104-110. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2030>.

Косицын Георгий Михайлович; e-mail: og-o@mail.ru

Рукопись получена: 29.11.2022. Рукопись одобрена: 20.02.2023. Статья опубликована онлайн: 09.03.2023.

© Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М., 2023

BACKGROUND

Open fractures of the medial malleolus which cannot be managed with osteosynthesis because of the bone fragment loss or massive fragmentation are uncommon in clinical practice. Stability of the ankle joint is provided by the medial malleolus, so its reconstruction is important to ensure the functional recovery.

The world literature describes several reconstruction techniques, which can be divided into two groups:

- 1) reconstruction with free bone autografts (from the iliac crest and fibula) [1, 2, 3, 4];
- 2) reconstruction with local tissues (sliding osteotomy of the tibia) [5].

Taking into account the uncommon character of such injury, the optimal tactics of correction have not yet been determined. In our case, we used free bone autograft from the iliac crest because of the possibility to provide the required shape of the graft and its size.

The aim of the study – was to show a rare clinical case of a patient with a traumatic defect of the medial ankle and to describe the method of its reconstruction.

Clinical case

A 52-year-old patient suffered an isolated injury of the right ankle joint as a result of a motorcycle accident - an open avulsion fracture of the medial malleolus. He was admitted to the hospital, where he underwent primary surgical debridement (Fig. 1). The wound was classified as Gustilo-Anderson II, and no attempt was made to reconstruct the medial malleolus. Antibiotic prophylaxis was administered in the perioperative period. Deltoid ligament bundles attached



Fig. 1. Right foot after primary surgical debridement

to the medial malleolus were damaged, vascular and nerve structures were preserved. The patient was referred for consultation to the National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, where it was decided to perform a delayed reconstruction, taking into account the condition of the soft tissues. The patient underwent ankle immobilization with a posterior plaster cast from the toes to the middle third of the tibia to prevent equinus deformity of the foot and provide rest for the soft tissues. Anticoagulant therapy was prescribed for the period of immobilization – Rivaroxaban 10 mg once a day. Two weeks after the injury, the patient attended physical therapy classes to improve motions in the ankle joint. Axial load on the injured limb was prohibited, taking into account the high risk of medial subluxation of the foot due to the absence of the medial malleolus.

The patient underwent a CT study of the ankle joints with subsequent 3D reconstruction to model the shape of the medial malleolus (Fig. 2, 3).

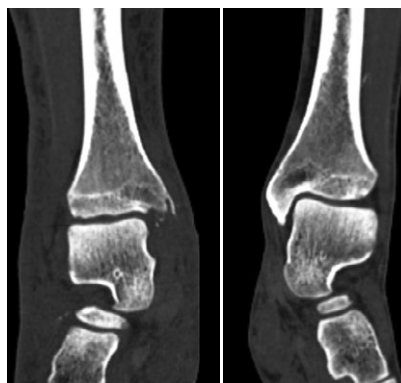


Fig. 2. CT scans of both ankle joints after primary surgical debridement



Fig. 3. Results of 3D reconstruction of both ankle joints

Three months later, when the wound healed by secondary intention and the range of active motions in the ankle joint was restored, the patient underwent surgical treatment under spinal anesthesia with prolongation of the analgesic effect by the regional anesthesia (Fig. 4).

Longitudinal approach to the medial malleolus was performed in supine position under pneumatic tourniquet on the thigh. The medial malleolus bed on the tibia was exposed, the proximal deltoid ligament was isolated and mobilized. It is interesting that the integrity of the canal of the tendon of the posterior tibialis muscle was preserved and there was no dislocation of the latter. After preparing the medial malleolus bed, we performed an approach to the iliac crest and took a graft sized 2.5×2×1.8 cm. The graft was modeled according to the shape of the medial malleolus with artificial formation of the anterior and posterior tubercles as well as the medial malleolus



Fig. 4. Appearance of the foot after wound healing

sulcus. The graft with the medially faced cortex was fixed with a partially threaded lag cancellous screw to ensure absolute stability and a 2.4 mm antiglide LCP plate to prevent shear forces and rotational load on the graft (Fig. 5). Next, the transosseous fixation of both portions of the deltoid ligament, fused by scar tissue into a single conglomerate, to the distal part of the graft was performed in a neutral foot position. It was not possible to separate the individual ligament components due to scar tissue changes. Duration of the surgery was 55 minutes.

Two weeks after the surgery, the sutures were removed and the wounds healed with primary intention. Continuous immobilization of the ankle joint was performed for 4 weeks to provide adequate integration of the deltoid ligament. Control X-rays were performed, position of the implants was correct and stable (Fig. 6).

During the next 2 weeks, active development of motions in the ankle joint (flexion and extension) was performed, joint immobilization was continued during the resting period. Six weeks after the surgery, movements aimed at developing inversion and eversion of the foot were allowed, and joint immobilization was discontinued. X-rays of the ankle joint in two views were also carried out at that time: signs of satisfactory consolidation of the graft and absence of signs of its lysis were noted. Eight weeks after the surgery, the patient was allowed to load the limb gradually increasing the weight. Ten weeks after the surgery, the patient switched to full weight-bearing without using additional walking aids.

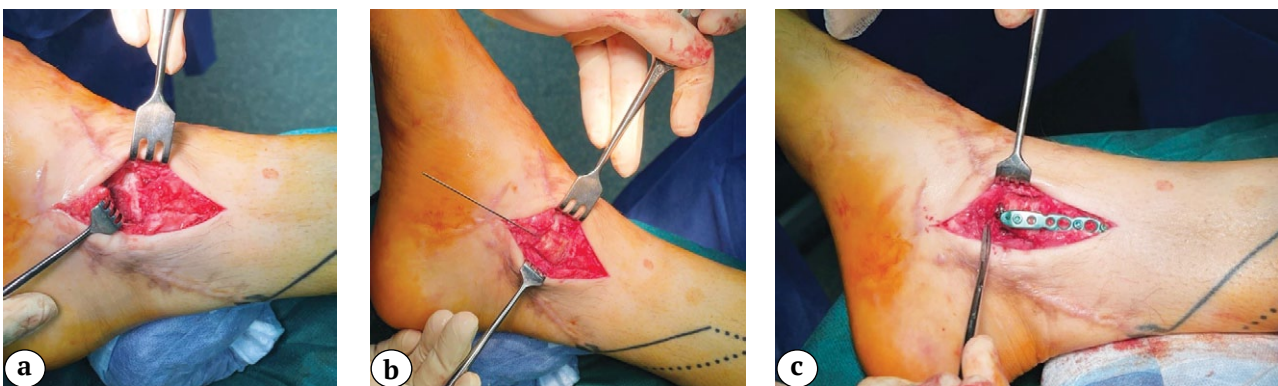


Fig. 5. Surgery stages:

a – medial surface of the talar bone in the wound; b – autograft implantation in the medial ankle bed; c – autograft fixation with plate and screws

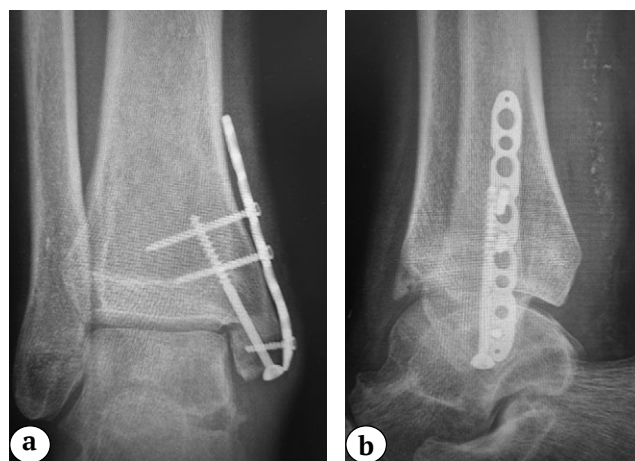


Fig. 6. Control X-rays after bone autoplasty and fixation with cancellous screw and plate: a – AP view; b – lateral view

Twelve months after the surgery, the patient underwent CT of the ankle joint to assess the status of the graft and the condition of the ankle joint. CT scans showed complete consolidation of the graft and no signs of implant migration. There were also no signs of progression of degenerative changes in the ankle joint, which may attest to adequate biomechanics of the joint. Donor site was asymptomatic. AOFAS score was 93 points, range of motions in the ankle joint was 10-0-45°.

There were no clinical signs of medial instability of the ankle joint, and the deltoid ligament had no disruptions. The patient was satisfied with the surgical treatment results.

DISCUSSION

In 1965, J.G. Bonnin published an article on the treatment of a patient with a similar injury [6]. The author did not perform any reconstruction because he believed that the scar tissue at the site of the injury would prosthetize the function of the deltoid ligament. One year after the injury, the patient complained of pain in the ankle joint and sense of instability only during prolonged physical activity. However, the extent of bone loss and the presence of subluxation of the foot are not specified in the article, so this publication is mostly of historic importance.

An article by M.I. Boyer et al. was published in 1994, describing the results of surgical treatment of an open avulsion fracture of the medial malleolus in an 18-year-old patient. The extent

of bone damage was significantly less than in the case we presented. Clinically, the patient had medial ankle instability due to complete rupture of the deltoid ligament and a soft tissue defect 6×8 cm above the medial malleolus. Deltoid ligament reconstruction with the tendon of the plantaris muscle of the contralateral limb, tenodesis of the tendon of the posterior tibialis muscle to the medial surface of the talus and coverage of the soft tissue defect with a free flap of the gracilis muscle of the femur were performed. Thirty months after the surgery, the function of the ankle joint was restored [7].

In 2009, S.P. Wu et al. presented a series of 6 cases concerning the treatment of patients with open avulsion fractures of the medial malleolus and significant soft tissue damage using microsurgical techniques. In all cases, the head of the fibula with a section of the tendon of biceps femoris muscle was used as a bone autograft (for deltoid ligament reconstruction). Soft tissue defects were covered with a thoracodorsal flap and an anterolateral femoral flap. In all patients the grafts survived: in 5 cases the wounds healed with primary intention, and only in one case there was an infectious complication, which was treated with debridement and antibiotic therapy. The average follow-up period was 3.5 years (1-5 years). In 5 cases (patients with primary healing), the AOFAS score was 95.2 (93-96) points on average, and only the patient with postoperative infection had 86 points. This is the largest study group described in the literature with excellent

postoperative results, which demonstrates the reliability of the technique. However, injuries in the described series of patients were accompanied by a significant soft tissue defect, which required microsurgical techniques to cover defects. This fact significantly increases the requirements to the surgical team and operating room equipment [8].

A clinical case of a 48-year-old patient with an open avulsion fracture was published in 2022. A sliding tibial osteotomy technique was used to reconstruct the medial malleolus. No need for additional injury to the distant donor site is considered by the authors as a special feature of this technique. This significantly reduces the risks of postoperative complications and the development of chronic pain syndrome. Results of treatment were evaluated 2 years after the surgery: 86 points according to the AOFAS scale, the range of motions in the ankle joint was 0-0-30° [5]. In our opinion, one-stage reconstruction is associated with high risk of infectious complications, since a large area of the tibia is exposed in the contaminated wound, also, there may be difficulties with the modeling of the medial malleolus. But we agree with the authors that the need for additional injury to any donor sites decreases. This has a positive effect on patients' postoperative recovery.

The most feasible technique is the reconstruction by sliding osteotomy. However, it increases the risk of infectious complications due to additional injury to the bone tissue in the contamination zone, and also has limited possibilities for modeling the medial malleolus. The use of microsurgical technique significantly increases the potential for reconstructions of any complexity, but significantly extends the time of surgical intervention and the requirements for the surgical team. This technique is indicated for soft tissue defects requiring grafting.

The problem of application of additive technologies for reconstruction of the medial malleolus remains unsolved. Currently, there is no experience in the application of such technologies.

CONCLUSION

Infrequency of the injury makes it impossible to perform large studies to determine the optimal correction technique, but the literature is gradually updated with new data, which expand the experience in managing such traumas. In our opinion, the optimal method of treatment in case of traumatic defect of the medial malleolus is the reconstruction with a free autograft from the iliac crest. This allows us to form a graft of the required size and shape thus minimizing the risk of postoperative complications.

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.

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.

REFERENCES

1. Anderson T.B., Bae A.S., Kelly J., Antekier D.P. Treatment of Open Traumatic Medial Malleolus Bone Loss With Osteochondral Allograft: A Case Report. *Cureus*. 2022;14(11):e31755. doi: 10.7759/cureus.31755.
2. Wu S.P. Clinical study of reconstructing the medial malleolus with free grafting of fibular head composite tendon bone flap. *Chin J Traumatol*. 2008;11(1):34-36.
3. Nithyananth M., Cherian V.M., Jepeganatham T.S. Reconstruction of traumatic medial malleolus loss: A case report. *Foot Ankle Surg*. 2010;16(2):e37-39. doi: 10.1016/j.fas.2009.07.004.

4. Liu X., Zhang C., Wang C., Liu G., Liu Y. [Repair and reconstruction of traumatic defect of medial malleolus in children]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2009;23(4):444-447. (In Chinese).
5. Huang D., Wang J., Ye Z., Liu H., Huang J. Reconstruction of traumatic medial malleolus loss using the bone sliding technique: A case report. *Int J Surg Case Rep*. 2022;90:106677. doi: 10.1016/j.ijscr.2021.106677.
6. Bonnin J.G. Injury to the ligaments of the ankle. *J Bone Joint Surg Br*. 1965;47(4):609-611.
7. Boyer M.I., Bowen V., Weiler P. Reconstruction of a severe grinding injury to the medial malleolus and the deltoid ligament of the ankle using a free plantaris tendon graft and vascularized gracilis free muscle transfer: case report. *J Trauma*. 1994;36(3):454-457. doi: 10.1097/00005373-199403000-00042.
8. Wu S.P., Zhang F.H., Yu F.B., Zhou R. Medial malleolus and deltoid ligament reconstruction in open ankle fractures with combination of vascularized fibular head osteo-tendinous flap and free flap transfers. *Microsurgery*. 2009;29(8):630-635. doi: 10.1002/micr.20689.

Authors' information

✉ *Georgii M. Kositsyn*

Address: 10, Priorova st., Moscow, 127299, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3772-7946>

e-mail: og-o@mail.ru

Anatolii K. Mursalov

<https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>

e-mail: tamerlanmursalov@gmail.com

Aleksei M. Dzyuba

<https://orcid.org/0000-0001-7718-1872>

e-mail: minzdrav2008@mail.ru



Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения

Д.А. Шулепов, Е.П. Сорокин, Н.С. Коновальчук, Е.А. Пашкова, К.А. Демьянова

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

Введение. Диагностика и лечение пациентов с хронической задней и заднелатеральной нестабильностью коленного сустава является одной из малоизученных проблем современной ортопедии. Связано это с достаточно низкой частотой встречаемости данной патологии, а также со сложностью анатомического строения связочно-сухожильных структур заднелатерального отдела коленного сустава. Неизменно возрастающее число зарубежных публикаций, посвященное данной теме, говорит о том, что на данный момент нет единого подхода к тактике хирургического лечения пациентов данной категории.

Цель обзора — на основе анализа научной литературы оценить основные тренды хирургического лечения заднелатеральной ротационной нестабильности в зависимости от степени вовлеченности в патологический процесс различных анатомических структур.

Результаты. Несмотря на большое количество методик хирургического лечения повреждений заднелатерального угла при анализе современных публикаций можно выделить несколько основных тенденций развития хирургических методов лечения заднелатеральной нестабильности коленного сустава. При заднелатеральной нестабильности 1-го типа оптимальной является изолированная артроскопическая пластика задней крестообразной связки. При нестабильности 3-го и 4-го типов на сегодняшний день анатомические методики типа Larson и LaPrade полностью вытеснили методики неанатомической реконструкции заднелатерального угла. Кроме того, в последние годы появилось большое количество публикаций, посвященных артроскопическим методикам выполнения подобных операций. Наибольшую проблему вызывает вопрос об объеме оптимальным выполнении таким пациентам пластики задней крестообразной связки, дополненной пластикой сухожилия подколенной мышцы, выполненными артроскопическим способом.

Заключение. Анализ литературы показал, что наименее освященным является вопрос об объеме и способе хирургического вмешательства при заднелатеральной нестабильности 2-го типа. Наиболее подходящим мы считаем выполнение таким пациентам пластики задней крестообразной связки, дополненной пластикой сухожилия подколенной мышцы, выполненной артроскопическим способом.

Ключевые слова: артроскопия коленного сустава, заднелатеральная ротационная нестабильность, заднелатеральный угол, сухожилие подколенной мышцы.

Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А. Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):111-122. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2007>.

Шулепов Дмитрий Александрович; e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Рукопись получена: 19.12.2022. Рукопись одобрена: 16.01.2023. Статья опубликована онлайн: 03.02.2023.

© Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А., 2023



Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment

Dmitrii A. Shulepov, Evgenii P. Sorokin, Nikita S. Konovalchuk, Ekaterina A. Pashkova, Ksenia A. Demyanova

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

Background. Diagnostics and treatment of patients with chronic posterior and posterolateral instability of the knee is one of the most understudied problems of modern orthopedics. This is due to rather low frequency of this pathology, as well as to complex anatomy of tendoligamentous structures of the posterolateral part of the knee joint. Steadily increasing number of foreign publications dedicated to this topic say that there is no common approach to the tactics of surgical treatment of patients of this category at the moment.

Aim of review — to evaluate the main trends of surgical treatment of this pathology according to the stage of involvement of various anatomical structures responsible for posterolateral rotational instability in the pathologic process.

Results. Despite a large number of methods of surgical treatment of posterolateral corner injuries, when analyzing modern publications, several main trends concerning posterolateral instability of the knee joint can be identified. In case of type 1 posterolateral instability, an isolated arthroscopic posterior cruciate ligament plasty is the most optimal. As for types 3 and 4, today such anatomical techniques as Larson and LaPrade have completely replaced the methods of non-anatomical reconstruction of the posterolateral corner. In addition, a large number of publications have recently appeared concerning arthroscopic techniques of these surgeries. The most important problem concerns the extent and the methods of surgical intervention in case of type 2 instability. Authors of the article consider that an arthroscopic posterior cruciate ligament plasty combined with popliteal tendon plasty is the most optimal for such category of patients.

Conclusion. The actual problem is the question of the method of surgical treatment in case of type 2 instability. The optimal technique for such patients is arthroscopic posterior cruciate ligament plasty combined with popliteal tendon plasty.

Keywords: knee arthroscopy, posterolateral knee instability, posterolateral corner, popliteal tendon.

Cite as: Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A. [Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):111-122. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2007>.

✉ Dmitrii A. Shulepov; e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Submitted: 19.12.2022. Accepted: 16.01.2023. Published Online: 03.02.2023.

© Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Одной из малоизученных проблем современной хирургии коленного сустава является диагностика и лечение пациентов с хронической задней и заднелатеральной нестабильностью коленного сустава. Связано это, с одной стороны, с достаточно низкой частотой встречаемости данной патологии, а с другой стороны, — со сложностью анатомического строения связочно-сухожильных структур заднелатерального отдела коленного сустава.

Большинство авторов сходятся во мнении, что возникновение заднелатеральной ротационной нестабильности связано с повреждением не только задней крестообразной связки (ЗКС), но и структур заднелатерального угла (ЗЛУ) [1, 2]. До настоящего времени понимание анатомии заднелатерального угла и входящих в него анатомических структур является дискуссионным, а понятие «заднелатеральный угол» называется «темным пятном» в функциональной анатомии коленного сустава [1, 3, 4].

Цель обзора — на основе анализа научной литературы оценить основные тренды хирургического лечения заднелатеральной ротационной нестабильности в зависимости от степени вовлеченности в патологический процесс различных анатомических структур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск литературы был выполнен в базах данных PubMed/MEDLINE и eLIBRARY по результатам запросов от сентября 2022 г. Для поиска в PubMed использовались следующие ключевые слова: posterolateral reconstruction, arthroscopic posterolateral reconstruction, PLC reconstruction, posterolateral corner reconstruction, popliteus reconstruction, arthroscopic popliteus reconstruction. Для поиска в eLIBRARY: заднелатеральный угол, реконструкция заднелатерального угла, пластика заднелатерального угла, заднелатеральная нестабильность коленного сустава. Мы сознательно не включили в спектр рассматриваемой патологии варианты сочетанного повреждения передней крестообразной связки и структур заднелатерального угла, поскольку возникающая в этом случае нестабильность коленного сустава носит другой биомеханический характер и не относится к заднелатеральной ротационной нестабильности. Публикации, посвященные этому варианту мультилигаментарной травмы, были исключены из результатов поиска.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анатомия заднелатерального угла и входящих в него структур

Термин «заднелатеральный угол» стал использоваться в 1970–1980 гг. Это понятие включает в себя комплекс анатомических структур, препятствующих варусной девиации и избыточной наружной ротации голени. К анатомическим структурам ЗЛУ принято относить:

- сухожилие подколенной мышцы — *m. popliteum* (СПкМ);
- подколенно-малоберцовую связку — *lig. popliteofibulare* (ПкМС);
- малоберцовую коллатеральную связку — *lig. collaterale fibulare* (МКС);
- по мнению J. Chahla с соавторами и С.Е. Franciozi с соавторами, также дугообразную связку (утолщение заднего отдела капсулы коленного сустава), переднюю менискофemorальную связку, латеральную головку *m. gastrocnemius* и *lig. popliteum* [1, 5].

Первые три анатомические структуры играют основную роль в формировании заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава (рис. 1). Поэтому следует подробнее остановиться на их анатомии и биомеханической функции [1, 6, 7, 8].

Малоберцовая коллатеральная связка представляет собой плотный фиброзно-сухожильный тяж, проходящий по латеральной поверхности коленного сустава. Длина ее составляет около 60 мм [9]. Проксимально зона крепления МКС имеет овальную форму, расположена на латеральном надмыщелке бедренной кости, несколько проксимальнее и кзади от зоны крепления сухожилия подколен-



Рис. 1. Основные структуры заднелатерального угла
Fig. 1. Main structures of posterolateral corner

ной мышцы, центр ее крепления практически совпадает с верхушкой латерального надмыщелка. Дистально МКС крепится к малоберцовой кости, овальная зона ее крепления распространяется кпереди и дистально от шиловидного отростка [9, 10, 11]. Основной функцией этой связки является препятствие варусному смещению голени.

Сухожилие подколенной мышцы имеет округлую зону крепления на латеральном надмыщелке бедренной кости кпереди и несколько дистальнее от МКС, далее проходит дистально и, огибая латеральный мыщелок, проходит интраартикулярно позади заднего рога латерального мениска и ниже щели коленного сустава переходит в мышечную часть подколенной мышцы [11]. В биомеханических исследованиях показано, что СПкМ является основной структурой, ограничивающей избыточную наружную ротацию при повреждениях ЗЛУ [8, 11, 12].

Подколенно-малоберцовая связка является одной из наиболее спорных и неоднозначных (как в анатомическом, так и в функциональном плане) структур ЗЛУ. По данным литературы, эта структура встречается более чем в 95% коленных суставов [9, 13]. Представляет собой короткий сухожильный тяж, соединяющий дистальный отдел СПкМ и сухожильно-мышечный переход с областью позади шиловидного отростка малоберцовой кости. Фактически это сухожилие создает дополнительную точку фиксации и стабилизирует протяженное СПкМ при ротационной нагрузке на коленный сустав. По мнению некоторых авторов, ПкМС самостоятельно выполняет важную роль в ограничении избыточной наружной ротации [13, 14, 15]. Однако в экспериментальных анатомических исследованиях встречаются также данные, что изолированное ее рассечение значимо не влияет на ротационную стабильность коленного сустава [12, 16].

Хирургическое лечение заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава

Лечение острых травм с повреждением структур заднелатерального угла

На сегодняшний день нет единого подхода к лечению травм ЗКС и ЗЛУ в остром периоде (до 3 нед. с момента травмы). Опубликованный в 2018 г. консенсус по повреждениям ЗЛУ приводит следующую статистику: 25% опрошенных экспертов поддержали преимущественно консервативную тактику лечения пациентов с острыми мультилигаментарными повреждениями, в то время как 71% высказались за раннее оперативное вмешательство. Более 90% экспертов согласились, что при планировании сроков оперативного лечения следует учитывать такие факторы, как сопутствующие повреждения менисков, нервов и

сосудов, общесоматическое состояние пациента и травма мягких тканей [3]. При этом нет единого мнения об объеме и методах хирургического лечения. Несмотря на явное преимущество операций, проведенных в острый период (возможность восстановления собственных поврежденных структур без использования пластического материала и раннее начало реабилитационного периода), такой подход может приводить к недостаточной оценке объема повреждения связочного аппарата и, как следствие, к послеоперационной остаточной нестабильности сустава. Из современных публикаций, посвященных этой проблеме, наибольшее внимание заслуживает работа J.P. Stannard с соавторами, показавших высокую частоту (37%) неудачных исходов вмешательств, направленных на восстановление поврежденных структур ЗЛУ [17]. В то же время первичная реконструкция и пластика ЗЛУ имела 9% неудовлетворительных результатов. Учитывая столь высокий процент неудач, представляется более рациональным выполнять реконструкцию поврежденных структур при мультилигаментарных повреждениях в отсроченном периоде [18].

Лечение хронической заднелатеральной ротационной нестабильности

Наличие у пациента хронической заднелатеральной нестабильности коленного сустава является показанием к оперативному лечению, что подтверждается мнением абсолютного большинства экспертов [3]. В то же время общего мнения об оптимальном виде оперативного вмешательства на сегодняшний день не существует. Не вызывает сомнений концепция необходимого и достаточного объема оперативного вмешательства — стремление большинства авторов восстанавливать только те структуры, повреждение которых доказано клинически и инструментально.

Нарушение биологической оси конечности может вносить свой вклад в развитие посттравматической нестабильности коленного сустава. Комплексная оценка пациента, включающая при необходимости выполнение телерентгенограмм, позволяет правильно спланировать этапы хирургического лечения. При выявлении на телерентгенограммах варусной деформации нижней конечности первым этапом рекомендуется выполнять тот или иной вариант корригирующей остеотомии для восстановления нормальной оси нижней конечности [19, 20]. В настоящей статье мы не будем останавливаться на этой теме, а обсудим возможные варианты реконструкции капсульно-связочного аппарата коленного сустава.

Проведенные биомеханические исследования показывают, что к возникновению задней нестабильности приводит преимущественно повреждение ЗКС. При дальнейшем усилении

травмирующего агента возникает повреждение структур подколенного комплекса (СПкМ и ПкМС), что приводит к усилению задней нестабильности с одновременным возникновением ротационного компонента — избыточной наружной ротации голени. Наличие варусной нестабильности коленного сустава говорит о повреждении МКС [8]. S. Weiss с соавторами приводят следующую классификацию заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава, основанную на вышеприведенных данных [2]:

- тип 1 — задняя нестабильность из-за изолированного повреждения ЗКС;
- тип 2 — заднелатеральная ротационная нестабильность без варусной нестабильности (ЗКС и СПкМ/ПкМС повреждены, МКС не повреждена);
- тип 3 — заднелатеральная ротационная нестабильность с варусной нестабильностью (ЗКС, СПкМ/ПкМС и МКС повреждены);
- тип 4 — заднелатеральная ротационная нестабильность с выраженной варусной нестабильностью (ЗКС, СПкМ/ПкМС и МКС повреждены, кроме того, повреждены вторичные стабилизаторы — илиотибиальный тракт, сухожилие двуглавой мышцы и др.).

При оценке нестабильности коленного сустава структурам ЗЛУ уделяется недостаточное внимание, несмотря на то, что их повреждение сопровождается до 16% всех травм колена, а при повреждении ЗКС достигает 70% [21].

На сегодняшний день опубликовано много различных методов хирургического лечения пациентов с заднелатеральной нестабильностью. Безусловно, все предложенные методы подразумевают комбинацию с восстановлением ЗКС. Обзор современных методов пластики ЗКС был опубликован нами ранее [22]. Кроме того, основные тренды пластики ЗКС были подробно описаны S.V.S. Kambhampati с соавторами в 2020 г. [23].

Нами была проведена работа, направленная на создание максимально безопасной методики артроскопической реконструкции ЗКС [24].

Все предложенные типы операций при повреждении ЗЛУ можно разделить на два основных направления: 1) использование местных тканей и создание различных вариантов тенодеза; 2) операции по пластике структур ЗЛУ с использованием алло- и ауто трансплантатов.

Неанатомические методы реконструкции заднелатерального угла. Многие авторы описывали реконструкцию ЗЛУ с использованием лоскута латеральной фасции бедра. Подробно описанные J.C. Hughston, K.E. Jacobson и A. Trillat методы подразумевают использование латеральной головки бицепса, его сухожилия и порции широкой фасции бедра для создания натяжения поврежденных структур ЗЛУ [25, 26].

J.L. Lerat с соавторами предложили создавать натяжение заднелатеральных структур путем транспозиции головки малоберцовой кости и натяжения задней капсулы [27].

G. Bousquet с соавторами предложили два типа реконструкции: малая подколенная реконструкция подразумевала натяжение структур ЗЛУ с использованием «петли» из лоскута сухожилия бицепса, большая подколенная реконструкция — использование Y-образного трансплантата из связки надколенника и сухожилия полусухожильной и нежной мышц [28] (рис. 2).

Свою модификацию большой реконструкции предложили в 1994 г. J.H. Jaeger с соавторами [29] (рис. 3).

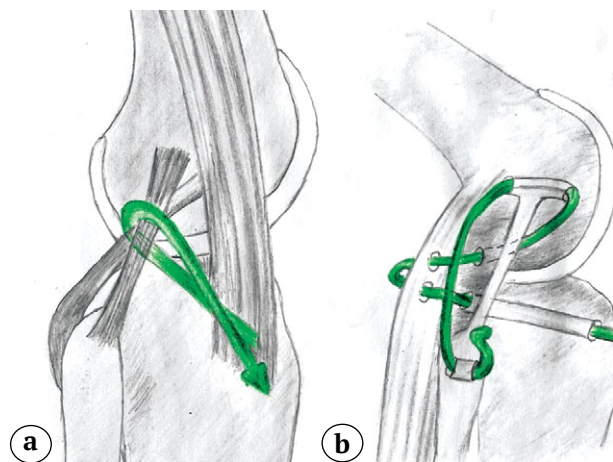


Рис. 2. Схема реконструкции заднелатерального угла по G. Bousquet с соавторами: а — малая реконструкция; б — большая реконструкция

Fig. 2. Scheme of PLC reconstruction according to G. Bousquet et al.: a — small-size reconstruction; b — large-size reconstruction

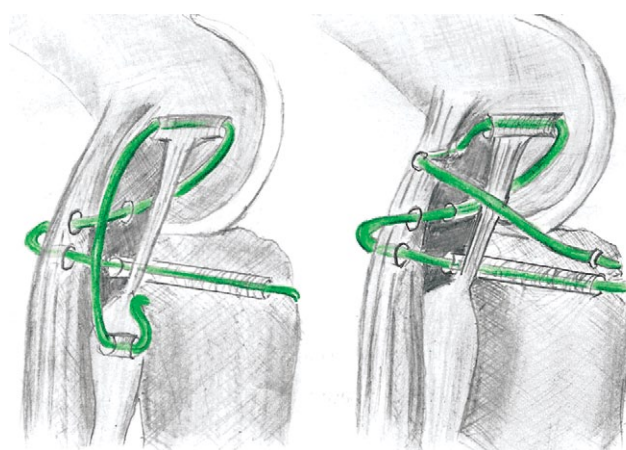


Рис. 3. Схема реконструкции заднелатерального угла по J.H. Jaeger с соавторами

Fig. 3. Scheme of PLC reconstruction according to J.H. Jaeger et al.

Описанные методики имели несколько принципиальных недостатков. Во-первых, изометрия восстановленных структур оперированного сустава значительно отличается от изометрии исходных анатомических структур. Поэтому ротационная стабильность достигается только в положении разгибания, при этом уже в начале и на протяжении всего сгибания происходит уменьшение натяжения структур ЗЛУ, и они не могут контролировать избыточную ротацию голени [30]. Кроме того, такие операции очень травматичны и требуют широких доступов, а значит, возрастает и риск повреждения сосудов и нервов, возникновения послеоперационных контрактур и септических осложнений. Учитывая вышесказанное, вполне объяснимо отсутствие современных публикаций, посвященных выполнению данного вида оперативных вмешательств.

Анатомические методы реконструкции заднелатерального угла. К анатомическим реконструкциям ЗЛУ принято относить операции, направленные на восстановление МКС, СПкМ и ПкМС с использованием алло- или ауто трансплантатов с учетом анатомических зон их крепления, описанных нами выше. Такие реконструкции наиболее устойчивы к заднему и ротационному смещению голени.

Восстановление малоберцовой коллатеральной связки. К переходной от неанатомических к анатомическим операциям можно считать методику, предложенную W.G. Clancy [31]. При этой технике используется сухожилие бицепса, для которого создают дополнительную точку фиксации в зоне анатомического крепления МКС на латеральной мыщелке бедренной кости (рис. 4). Аналогичная техника, но с использованием части сухожилия бицепса, предложена A. Trillat [26].

Сейчас эти методики используются редко, а при изолированной пластике МКС используются трансплантаты из связки надколенника, сухожилий полусухожильной мышцы или аллотрансплантаты [32, 33]. При этом создаются две точки

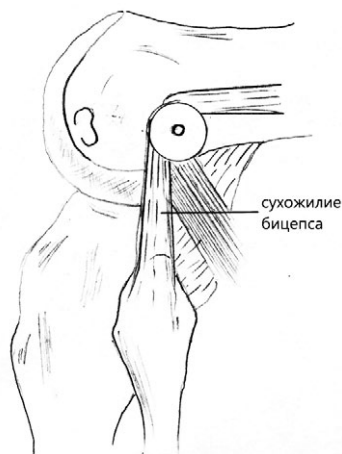


Рис. 4. Техника пластики ЗЛУ по W.G. Clancy
Fig. 4. Technique of PLC plasty according to W.G. Clancy

фиксации трансплантата — на латеральном мыщелке бедренной кости и на головке малоберцовой кости в положении максимального сгибания с дополнительной внутренней ротацией голени. Такой вариант пластики позволяет устранить боковую нестабильность, однако не препятствует избыточной наружной ротации голени.

В связи с этим стали развиваться методики оперативного вмешательства, обеспечивающие ротационную стабильность. Они основываются на пластике ПкМС и/или СПкМ с использованием ауто- или аллотрансплантатов.

Пластика подколенно-малоберцовой связки. В 2001 г. R.V. Larson описал оригинальную технику, пользующуюся популярностью и сегодня [34]. Свободное сухожилие полусухожильной мышцы фиксируется в своей центральной части в сформированном горизонтальном сквозном тоннеле в головке малоберцовой кости, а свободные его концы проходят по обе стороны от головки малоберцовой кости и фиксируются винтом в латеральном мыщелке бедренной кости. Таким образом, формируются как МКС, так и ПкМС. При отсутствии латеральной нестабильности методика предполагает пластику только ПкМС (рис. 5).

В модифицированной C.G. Rios с соавторами технике было предложено фиксировать в бедренной кости ауто трансплантат не в одном, а в двух слепых костных тоннелях: один для реконструкции ПкМС, а другой — для реконструкции МКС [35]. E.P. Но с соавторами в эксперименте сравнили обе

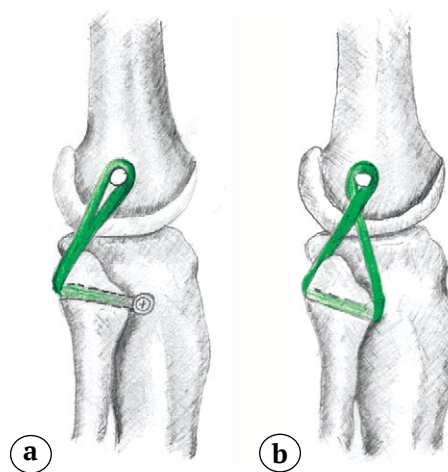


Рис. 5. Методика Larson:
а — изолированная пластика подколенно-малоберцовой связки;
б — пластика подколенно-малоберцовой связки и малоберцовой коллатеральной связки
Fig. 5. Larson's method:
а — isolated popliteofibular ligament plasty;
б — plasty of popliteofibular and lateral collateral ligaments

эти методики [36]. Варусная стабильность обеспечивалась эффективно обеими методиками, но ротационная стабильность была выше при технике с двумя бедренными туннелями. R.A. Arciero в 2005 г. предложил схожую с C.G. Rios с соавторами методику [37], которая в эксперименте на анатомическом материале показала свою эффективность и хорошую стабильность [38]. H. Zhang с соавторами предложили выполнять реконструкцию только ПкМС у пациентов, у которых клинически выявлена только избыточная наружная ротация более чем на 15° без признаков варусной нестабильности. Реконструкция основана на методике Larson с незначительными изменениями. В эксперименте на кадаверах была показана эффективность пластики только СПкМ для ограничения избыточной наружной ротации [39].

Методика Larson имеет ряд преимуществ: универсальность для коррекции как варусной, так и ротационной нестабильности, относительно простая методика выполнения, относительно невысокая стоимость имплантатов для фиксации трансплантата. Это объясняет, почему и по сей день эта техника охотно используется во всем мире и публикуются хорошие отдаленные результаты ее использования [40, 41, 42].

В 2015 г. G. Song с соавторами описали полностью артроскопическую технику пластики ПкМС [43]. Фактически она являлась модификацией Larson, выполненной через 6 артроскопических доступов, в том числе и с выполнением транссептального доступа, описанного J.H. Ahn, C.W. Na в 2000 г. [44]. Методика была описана у одного пациента с хорошим клиническим результатом и возвратом к спорту через 2 года после вмешательства. Полностью артроскопическая пластика по типу Arciero была предложена в 2019 г., однако отдаленных результатов на сегодняшний день не опубликовано [45]. P. Liu с соавторами в 2020 г. показали на кадаверах, что артроскопическую пластику по этой методике возможно выполнить и без применения дополнительного транссептального доступа [46].

Пластика сухожилия подколенной мышцы. Пластика СПкМ возможна как в изолированном виде, так и в комбинации с пластикой МКС. Реконструкция подколенного сухожилия требует формирования сквозного костного туннеля в латеральном мыщелке большеберцовой кости, а проведенное через него сухожилие, огибая мыщелок бедренной кости, крепится в слепом костном туннеле интерферентным винтом в зоне анатомического крепления СПкМ (рис. 6).

Трансплантат фиксируется с максимальным натяжением после пластики ЗКС в положении неполного разгибания ($10\text{--}15^\circ$) в коленном суставе с нейтральной ротацией большеберцовой кости. Это позволяет избежать избыточного ограничения наружной ротации. В 2009 г. H. Feng с соавторами описали полностью артроскопическую процедуру пластики СПкМ [47]. В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами предложили свой вариант артроскопической пластики СПкМ, основываясь на четкой визуализации анатомических ориентиров для установки трансплантата в положении, максимально близком к анатомическому [21]. Предлагалось выполнять эту операцию с формированием шести доступов, в том числе с использованием дополнительного «транссептального» заднего артроскопического доступа. Позиционирование большеберцового и бедренного тоннелей проводилось под артроскопическим контролем. Положение сформированных по такой методике зон фиксации трансплантата достаточно точно повторяло зоны анатомической фиксации нативного СПкМ с ошибкой не более чем на 3 мм [48].

В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами представили клинические результаты предложенной в 2014 г. пластики СПкМ и ЗКС у 19 пациентов (в группу вошли пациенты со 2-м типом повреждений ЗЛУ). Осложнений, связанных с техникой, не выявлено. Заднее смещение большеберцовой кости уменьшилось с $13,3\pm 1,9$ мм (до операции) до $2,9\pm 2,2$ мм. Через год после вмешательства средний балл по опроснику Lysholm составил $88,4\pm 8,7$ баллов [49].

В исследовании биомеханики, опубликованном H. Zhang с соавторами, сравнивалась ротационная стабильность при выполнении техники Larson с реконструкцией подколенного сухожилия. Обе техники показали хорошие результаты, однако, по данным авторов, техника реконструкции СПкМ избыточно ограничивала наружную ротацию голени [39]. В исследовании биомеханики на 18 коленных суставах T.C. Drenck с соавторами пока-

таже с нейтральной ротацией большеберцовой кости. Это позволяет избежать избыточного ограничения наружной ротации. В 2009 г. H. Feng с соавторами описали полностью артроскопическую процедуру пластики СПкМ [47]. В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами предложили свой вариант артроскопической пластики СПкМ, основываясь на четкой визуализации анатомических ориентиров для установки трансплантата в положении, максимально близком к анатомическому [21]. Предлагалось выполнять эту операцию с формированием шести доступов, в том числе с использованием дополнительного «транссептального» заднего артроскопического доступа. Позиционирование большеберцового и бедренного тоннелей проводилось под артроскопическим контролем. Положение сформированных по такой методике зон фиксации трансплантата достаточно точно повторяло зоны анатомической фиксации нативного СПкМ с ошибкой не более чем на 3 мм [48].

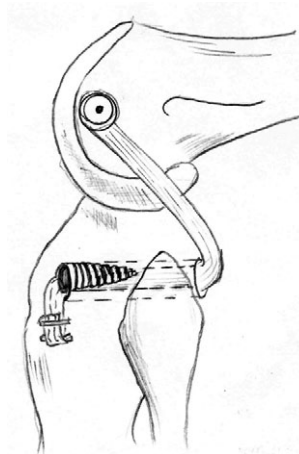


Рис. 6. Схема пластики сухожилия подколенной мышцы

Fig. 6. Scheme of popliteal tendon plasty

зали клиническую и биомеханическую эффективность пластики СПкМ, не уступающую методике Larson [12].

Комбинированные анатомические реконструкции заднелатерального угла. В 2004 г. R.F. LaPrade с соавторами опубликовали методику, позволяющую одновременно реконструировать все три основные структуры ЗЛУ [50]. На сегодняшний день методики, основывающиеся на технике LaPrade, чаще всего носят название «анатомическая реконструкция ЗЛУ». Согласно ей, формируются следующие туннели:

- два туннеля в латеральном мыщелке бедренной кости для фиксации трансплантатов МКС и СПкМ;
- костный тоннель в латеральном мыщелке большеберцовой кости для трансплантата СПкМ;
- горизонтальный туннель в головке малоберцовой кости.

Таким образом, методика, по сути, является комбинацией техники Larson с пластикой СПкМ.

В.В. Хоминец с соавторами в 2020 г. предложили использовать для фиксации трансплантата на костную систему типа TightRope, что позволяло скорректировать натяжение трансплантата и степень ограничения наружной ротации [51].

Техника LaPrade и ее модификации на сегодняшний день получили большое распространение. Ее эффективность доказана в отдаленных результатах многими авторами [5, 40, 41, 52, 53, 54].

В биомеханическом исследовании S. Apsingi с соавторами техники Larson и LaPrade показали сходные результаты варусной и ротационной стабильности [55]. Не получено значимых различий в среднесрочных результатах пластики ЗЛУ между методиками Larson и LaPrade и другими авторами [39, 40]. При этом стоит отметить, что техника LaPrade является более сложной, более травматичной и дорогостоящей (с точки зрения необходимых имплантатов).

В 2019 г. два независимых автора опубликовали разработанные ими модифицированные техники LaPrade: малоинвазивную артроскопически ассистированную, не требующую большого доступа к структурам ЗЛУ [56] и полностью артроскопическую [57]. В 2020 г. В. Freychet с соавторами подробно описали технику артроскопической визуализации основных структур ЗЛУ [58]. В 2022 г. М.М. Sajjadi с соавторами опубликовали свой вариант малоинвазивной пластики по методике LaPrade, предполагающей выполнение двух мини-доступов к зонам анатомического крепления структур ЗЛУ [59]. Несмотря на значительно меньшую травматичность и возможность визуализации зон крепления трансплантатов, представленные методики требуют высоких навыков и отличаются технической сложностью, а отдален-

ных результатов таких вариантов хирургического лечения нет. На сегодняшний день артроскопические и малоинвазивные модификации пластики по LaPrade еще не нашли широкого применения, однако являются перспективным направлением развития малоинвазивной хирургии коленного сустава.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на большое количество методик хирургического лечения повреждений ЗЛУ, на данный момент можно выделить несколько основных тенденций развития хирургии заднелатеральной нестабильности коленного сустава.

Во-первых, на сегодняшний день анатомические методики типа Larson и LaPrade полностью вытеснили методики неанатомической реконструкции ЗЛУ. Во-вторых, в последние годы появилось большое количество публикаций, посвященных артроскопическим методикам выполнения подобных операций. Однако все эти методики либо носят экспериментальный характер, либо не имеют опубликованных отдаленных результатов применения в клинической медицине.

В настоящее время нет единого мнения о том, какая методика оперативного лечения пациентов с данной патологией является наиболее рациональной и достаточной для получения хорошей стабильности коленного сустава. Существует достаточно четкое понимание объема оперативного вмешательства у пациентов с повреждениями 1-го типа (пластика ЗКС без пластики ЗЛУ) [22] и 3–4-го типов (различные модификации пластики типа Larson или LaPrade) [39, 40, 41, 51, 52, 53, 54]. При этом тактика и объем вмешательства при повреждениях 2-го типа неоднозначны и вызывают большое количество дискуссий. Часть авторов предлагают ограничиться только пластикой СПкМ, другая часть — только пластикой ПкМС [34, 46, 47, 48, 49].

Стоит отметить, что философия необходимости и достаточности восстановления только поврежденных структур ЗЛУ позволяет минимизировать травматичность операции, обеспечивая достаточный стабилизирующий эффект оперативного вмешательства.

Авторы статьи разделяют эту точку зрения и придерживаются мнения, что при повреждении ЗЛУ 2-го типа достаточным будет выполнение пластики ЗКС и СПкМ. Мы считаем, что избыточная наружная ротация при отсутствии варусной нестабильности коленного сустава связана в большей степени с повреждением СПкМ. Анатомическая функция ПкМС, по нашему мнению, сводится прежде всего к созданию точки фиксации мобильного СПкМ и жесткой сухожильной конструкции ЗЛУ. При этом изолиро-

ванная пластика СПкМ сама по себе подразумевает фиксацию трансплантата в костном тоннеле на латеральном мышелке большеберцовой кости, что обеспечивает отсутствие избыточной его мобильности. Мы разработали собственную оригинальную методику полностью артроскопической пластики СПкМ и апробировали ее в клинике. Полученные среднесрочные результаты были опубликованы нами в 2020 г. [60] и не уступают таковым у зарубежных авторов [45, 47, 49].

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.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данная методика может рекомендоваться нами как оптимальная для лечения пациентов с повреждением ЗЛУ 2-го типа. Однако она будет являться недостаточной для повреждений 3-го и 4-го типов, которые требуют реконструкций ЗЛУ методами LaPrade или Larson. Данные методики являются сопоставимыми по клиническому эффекту, а выбор одной из них зависит исключительно от предпочтений хирурга.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Chahla J., Moatshe G., Dean C.S., LaPrade R.F. Posterolateral corner of the knee: current concepts. *Arch Bone Jt Surg.* 2016;4(2):97-103.
- Weiss S., Krause M., Frosch K.H. Posterolateral corner of the knee: a systematic literature review of current concepts of arthroscopic reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(12):2003-2012. doi: 10.1007/s00402-020-03607-z.
- Chahla J., Murray I.R., Robinson J., Lagae K., Margheritini F., Fritsch B. et al. Posterolateral corner of the knee: an expert consensus statement on diagnosis, classification, treatment, and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(8):2520-2529. doi: 10.1007/s00167-018-5260-4.
- Geeslin A.G., Moulton S.G., LaPrade R.F. A systematic review of the outcomes of posterolateral corner knee injuries, part 1: surgical treatment of acute injuries. *Am J Sports Med.* 2016;44(5):1336-1342.
- Franciozi C.E., Albertoni L.J.B., Gracitelli G.C., Rezende F.C., Ambra L.F., Ferreira F.P. et al. Anatomic posterolateral corner reconstruction with autografts. *Arthrosc Tech.* 2018;7(2):e89-e95. doi: 10.1016/j.eats.2017.08.053.
- LaPrade R.F., Tso A., Wentorf F.A. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads. *Am J Sports Med.* 2004;32(7):1695-1701. doi: 10.1177/0363546503262694.
- Rosas H.G. Unraveling the Posterolateral Corner of the Knee. *Radiographics.* 2016;36(6):1776-1791. doi: 10.1148/rg.2016160027.
- Domnick C., Frosch K.-H., Raschke M.J., Vogel N., Schulz M., von Glahn M. et al. Kinematics of Different Components of the Posterolateral Corner of the Knee in the Lateral Collateral Ligament-intact State: A Human Cadaveric Study. *Arthroscopy.* 2017;33(10):1821-1830.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.035.
- Тюрюпов М.С., Гайворонский И.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С. Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической задне-латеральной нестабильностью коленного сустава. *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2021; 40(1):71-78. doi: 10.17816/rmmar64488. Tyuryupov M.S., Gaivoronsky I.V., Kudyashev A.L., Bazarov I.S. [Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint]. *Vestnik Rossijskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Russian Military Medical Academy Reports]. 2021; 40(1):71-78. doi: 10.17816/rmmar64488.
- Nannaparaju M., Mortada S., Wiik A., Khan W., Alam M. Posterolateral corner injuries: Epidemiology, anatomy, biomechanics and diagnosis. *Injury.* 2018;49(6):1024-1031. doi: 10.1016/j.injury.2017.10.008.
- Sobrado M.F., Helito C.P., Melo L.D.P., Asperti A.M., Gobbi R.G., Angelini F.J. et al. Anatomical study of the posterolateral ligament complex of the knee: lcl and popliteus tendon. *Acta Ortop Bras.* 2021;29(5):249-252. doi: 10.1590/1413-785220212905241252.

12. Drenck T.C., Preiss A., Domnick C., Herbort M., Frings J., Akoto R. The Popliteus Bypass provides superior biomechanical properties compared to the Larson technique in the reconstruction of combined posterolateral corner and posterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(3):732-741. doi: 10.1007/s00167-020-05987-6.
13. Pękala P.A., Mann M.R., Pękala J.R., Tomaszewski K.A., LaPrade R.F. Evidence-Based Clinical Anatomy of the Popliteofibular Ligament and Its Importance in Orthopaedic Surgery: Cadaveric Versus Magnetic Resonance Imaging Meta-analysis and Radiological Study. *Am J Sports Med.* 2020;49(6):1659-1668. doi: 10.1177/0363546520950415.
14. Plaweski S., Belvisi B., Moreau-Gaudry A. Reconstruction of the Posterolateral Corner After Sequential Sectioning Restores Knee Kinematics. *Orthop J Sports Med.* 2015.12;3(2):232596711557056. doi: 10.1177/2325967115570560.
15. van der Wal W.A., Heesterbeek P.J., van Tienen T.G., Busch V.J., van Ochten J.H., Wymenga A.B. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(1):221-228. doi: 10.1007/s00167-014-3369-7.
16. Pasque C., Noyes F.R., Gibbons M., Levy M., Grood E. The role of the popliteofibular ligament and the tendon of popliteus in providing stability in the human knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(2):292-298. doi: 10.1302/0301-620x.85b2.12857.
17. Stannard J.P., Stannard J.T., Cook J.L. Repair or reconstruction in acute posterolateral instability of the knee: decision making and surgical technique introduction. *J Knee Surg.* 2015;28(6):450-454. doi: 10.1055/s-0035-1563403.
18. Kennedy M.I., Bernhardson A., Moatshe G., Buckley P.S., Engebretsen L., LaPrade R.F. Fibular collateral ligament/posterolateral corner injury: when to repair, reconstruct, or both. *Clin Sports Med.* 2019;38(2):261-274. doi: 10.1016/j.csm.2018.11.002.
19. Cantin O., Magnussen R.A., Corbi F., Servien E., Neyret P., Lustig S. The role of high tibial osteotomy in the treatment of knee laxity: a comprehensive review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015.23(10):3026-3037. doi: 10.1007/s00167-015-3752-z.
20. LaPrade R.F., Wentorf F.A., Fritts H., Gundry C., Hightower C.D. A prospective magnetic resonance imaging study of the incidence of posterolateral and multiple ligament injuries in acute knee injuries presenting with a hemarthrosis. *Arthroscopy.* 2007;23(12):1341-1347. doi: 10.1016/j.arthro.2007.07.024.
21. Frosch K.H., Akoto R., Heitmann M., Enderle E., Giannakos A., Preiss A. Arthroscopic reconstruction of the popliteus complex: Accuracy and reproducibility of a new surgical technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23:3114-3120. doi: 10.1007/s00167-014-3000-y.
22. Кузнецов И.А., Фомин Н.Ф., Шулепов Д.А., Салихов М.Р. Современные подходы к хирургическому лечению хронической задней нестабильности коленного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2015;1(75):95-105. Kuznetsov I.A., Fomin N.F., Shulepov D.A., Salikhov M.R. [The modern approaches to the treatment of chronic posterior instability of the knee (Review)]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia] 2015;1(75):95-105. (In Russian).
23. Kambhampati S.B.S., Vaishya R. Publication trends of PCL in the last 40 years on PubMed. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(Suppl. 3):S354-S361. doi: 10.1016/j.jcot.2019.10.007.
24. Шулепов Д.А., Салихов М.Р., Злобин О.В. Результаты одномоментной артроскопической реконструкции обеих крестообразных связок коленного сустава с использованием модифицированной методики формирования костных тоннелей. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2019;4:12-21. Shulepov D.A., Salikhov M.R., Zlobin O.V. [Mid-term results of multi-ligament posterior and anterior cruciate ligament reconstruction using a modified method of bone tunnels drilling]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2019;4:12-21. (In Russian).
25. Hughston J.C., Jacobson K.E. Chronic posterolateral rotatory instability of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(3):351-359.
26. Trillat A. Posterolateral instability. In: Schultz K.P., Strahl H., Stein W.H., editors. *Late reconstruction of injured ligaments of the knee.* New York: Springer Verlag; 1978. p. 99-105.
27. Lerat J.L., Dejour H., Trillat A. [Treatment problems in old and recent rupture of the lateral knee ligament]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64(3):231-241. (In French).
28. Bousquet G., Charmion L., Passot J.P., Girardin P., Relave M., Gazielly D. [Stabilization of the external condyle of the knee in chronic anterior laxity. Importance of the popliteal muscle]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1986;72(6):427-434. (In French).
29. Jaeger J.H., Balliet J.M., Schlatterer B., Hamdan M. [Surgical treatment of chronic postero-lateral instability of the knee. Techniques, indications, results]. *Acta Orthop Belg.* 1994;60(Suppl. 1):71-80. (In French).
30. Djian P. Posterolateral knee reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015;101(1):S159-S170. doi: 10.1016/j.otsr.2014.07.032.
31. Clancy W.G. LCL Reconstruction. In: Chapman M.W. (ed.). *Operative orthopaedics.* Philadelphia: Lippincott; 1988. p. 1651-1665.
32. Latimer H.A., Tibone J.E., Attrache N.S., McMahon P.J. Reconstruction of the lateral collateral ligament of the knee with patellar tendon allograft. Report of a new technique in combined ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1998;26(5):656-662. doi: 10.1177/03635465980260051001
33. Noyes F.R., Barber-Westin S.D. Posterolateral knee reconstruction with an anatomical bone-patellar tendon-bone reconstruction of the fibular collateral ligament. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):259-273. doi: 10.1177/0363546506293704.
34. Larson R.V. Isometry of the lateral collateral and popliteofibular ligaments and techniques for reconstruction using a free tendon graft. *Oper Tech Sports Med.* 2001;9(2):84-90.
35. Rios C.G., Leger R.R., Cote M.P., Yang C., Arciero R.A. Posterolateral corner reconstruction of the knee: evaluation of a technique with clinical outcomes and stress radiography. *Am J Sports Med.* 2010;38(8):1564-1574. doi: 10.1177/0363546510363462.
36. Ho E.P., Lam M.H., Chung M.M., Fong D.T., Law B.K., Yung P.S. et al. Comparison of 2 surgical techniques for reconstructing posterolateral corner of the knee: a cadaveric study evaluated by navigation system. *Arthroscopy.* 2011;27(1):89-96. doi: 10.1016/j.arthro.2010.06.006

37. Arciero R.A. Anatomic posterolateral corner knee reconstruction. *Arthroscopy*. 2005;21(9):1147. doi: 10.1016/j.arthro.2005.06.008.
38. Treme G.P., Salas C., Ortiz G., Gill G.K., Johnson P.J., Menzer H. et al. A Biomechanical comparison of the Arciero and LaPrade reconstruction for posterolateral corner knee injuries. *Orthop J Sports Med*. 2019;7(4): 2325967119838251. doi: 10.1177/2325967119838251.
39. Zhang H., Zhang J., Liu X., Shen J.W., Hong L., Wang X.S. et al. In vitro comparison of popliteus tendon and popliteofibular ligament reconstruction in an external rotation injury model of the knee: a cadaveric study evaluated by a navigation system. *Am J Sports Med*. 2013;41(9):2136-2142. doi: 10.1177/0363546513495640.
40. van Gennip S., van der Wal W.A., Heesterbeek P.J.C., Wymenga A.B., Busch V.J.J.F. Posterolateral corner reconstruction in combined injuries of the knee: Improved stability with Larson's fibular sling reconstruction and comparison with LaPrade anatomical reconstruction. *Knee*. 2020;27(1):124-131. doi: 10.1016/j.knee.2019.09.008.
41. Sharma A., Saha P., Bandyopadhyay U. Reconstruction of the Posterolateral Corner of the Knee Using LaPrade and Modified Larson Technique: A Prospective Study. *Indian J Orthop*. 2021;56(1):125-132. doi: 10.1007/s43465-021-00435-0.
42. Ng J.W., Ahmad A.R., Solayar G.N. Functional Outcomes Following Posterior Cruciate Ligament and Posterolateral Corner Reconstructions. A Three-year Experience in Seremban, Malaysia. *Malays Orthop J*. 2020;14(2):90-93. doi: 10.5704/MOJ.2007.017.
43. Song G., Zhang H., Zhang J., Li Y., Feng H. Anatomical popliteofibular ligament reconstruction of the knee joints: an all-arthroscopic technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(10):2925-2929. doi: 10.1007/s00167-015-3531-x.
44. Ahn J.H., Ha C.W. Posterior trans-septal portal for arthroscopic surgery of the knee joint. *Arthroscopy*. 2000;16(7):774-779. doi: 10.1053/jars.2000.7681.
45. Frings J., Kolb J.P., Drenck T.C., Krause M., Alm L., Akoto R., Frosch K.H. Anatomic reconstruction of the posterolateral corner: an all-arthroscopic technique. *Arthrosc Tech*. 2019;8(2):e153-e161. doi: 10.1016/j.eats.2018.10.010.
46. Liu P., Gong X., Zhang J., Ao Y. Anatomic, all-arthroscopic reconstruction of posterolateral corner of the knee: a cadaveric biomechanical study. *Arthroscopy*. 2020; 36(4):1121-1131. doi: 10.1016/j.arthro.2019.10.035.
47. Feng H., Hong L., Geng X.S., Zhang H., Wang X.S., Zhang J. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique. *Arthroscopy*. 2009;25(7):800-805. doi: 10.1016/j.arthro.2008.12.019.
48. Krause M., Akoto R., Drenck T.C., Frosch K.H., Preiss A. Posterolateral rotatory knee instability-MRI evaluation of anatomic landmarks for tibial drill tunnel placement in open and arthroscopic popliteus tendon reconstruction. *J Knee Surg*. 2019;32(7):667-672. doi: 10.1055/s-0038-1666832.
49. Frosch K.H., Akoto R., Drenck T., Heitmann M., Pahl C., Preiss A. Arthroscopic popliteus bypass graft for posterolateral instabilities of the knee: a new surgical technique. *Oper Orthop Traumatol*. 2016;28(3):193-203. doi: 10.1007/s00064-015-0432-6.
50. LaPrade R.F., Johansen S., Wentorf F.A., Engebretsen L., Esterberg J.L., Tso A. Analysis of an anatomical posterolateral knee reconstruction: an in vitro biomechanical study and development of a surgical technique. *Am J Sports Med*. 2004;32(6):1405-1414. doi: 10.1177/0363546503262687.
51. Хоминец В.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С., Гранкин А.С., Рикун О.В., Резванцев М.В. и др. Особенности хирургического лечения пациентов с повреждениями крестообразных связок и стабилизаторов задне-наружного угла коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):32-44. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-32-44.
52. Khominets V.V., Kudyashev A.L., Bazarov I.S., Grankin A.S., Rikun O.V., Rezvantsev M.V. et al. [Alternative Techniques of Ligament Reconstruction in Patients with Combined Cruciate and Posterolateral Corner Injuries of the Knee]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(4):32-44. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-32-44.
53. Fang K., Dai Z., Lin X. Effect of modified Laprade technique on posterolateral ligament injury of knee. *Eur J Med Res*. 2022;27(1):171. doi: 10.1186/s40001-022-00764-2.
54. Pache S., Sienna M., Larroque D., Talamás R., Aman Z.S., Vilensky E. et al. Anatomic Posterolateral Corner Reconstruction Using Semitendinosus and Gracilis Autografts: Surgical Technique. *Arthrosc Tech*. 2021;10(2):e487-e497. doi: 10.1016/j.eats.2020.10.033.
55. Головаха М.Л., Диденко И.В., Красноперов С.Н., Орлянский В. Результаты лечения комбинированных повреждений задней крестообразной связки и структур заднелатерального угла коленного сустава. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2018; 4(613):92-101. doi: 10.15674/0030-59872018492-101.
56. Golovakha M.L., Didenko I.V., Krasnoperov S.N., Orljanski W. [The results of treatment of combined injuries of the posterior cruciate ligament and structures of the posterior lateral corner of the knee joint]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 2018;4(613):92-101. doi: 10.15674/0030-59872018492-101. (In Russian).
57. Apisingi S., Nguyen T., Bull A.M., Unwin A., Deehan D.J., Amis A.A. A comparison of modified Larson and 'anatomic' posterolateral corner reconstructions in knees with combined PCL and posterolateral corner deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(3):305-312. doi: 10.1007/s00167-008-0696-6.
58. Hermanowicz K., Malinowski K., Góralczyk A., Guszczyn T., LaPrade R.F. Minimally Invasive, Arthroscopic-Assisted, Anatomic Posterolateral Corner Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2019;8(3):e251-e257. doi: 10.1016/j.eats.2018.10.021.
59. Kolb J. P., Frings J., Krause M., Hartel M., Frosch K.H. An All-Arthroscopic Technique for Complex Posterolateral Corner Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2019; 8(9):e999-e1006. doi: 10.1016/j.eats.2019.05.010.
60. Freychet B., Sonnery-Cottet B., Vieira T.D., Sanders T.L., Kennedy N.I., Krych A.J. et al. Arthroscopic Identification of the Knee Posterolateral Corner Structures and Anatomic Arthroscopic Posterolateral Corner Reconstruction: Technical Note - Part 1. *Arthrosc Tech*. 2020;9(12):e1977-e1983. doi: 10.1016/j.eats.2020.08.026.
61. Sajjadi M.M., Behroozi A., Matini S.A. A Modified LaPrade Technique in Posterolateral Corner Reconstruction of the Knee. *Arthrosc Tech*. 2022;11(3):e413-e417. doi: 10.1016/j.eats.2021.11.010.

60. Шулепов Д.А., Салихов М.Р., Злобин О.В. Метод артроскопического оперативного лечения пациентов с заднелатеральной ротационной нестабильностью коленного сустава. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(5). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30220>.

Shulepov D.A., Salihov M.R., Zlobin O.V. [Arthroscopic surgical treatment of patients with posterolateral knee instability]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovania* [Modern Problems of Science and Education. Surgery]. 2020;(5). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30220>.

Сведения об авторах

✉ Шулепов Дмитрий Александрович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-6297-0710>
e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Сорокин Евгений Петрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>
e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Коновальчук Никита Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>
e-mail: konovalchuk91@gmail.com

Пашкова Екатерина Анатольевна
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Демьянова Ксения Андреевна
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ksunyablack@yandex.ru

Authors' information

✉ Dmitrii A. Shulepov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-6297-0710>
e-mail: dr.shulepov@gmail.com

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@gmail.com

Ekaterina A. Pashkova
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Ksenia A. Demyanova
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ksunyablack@yandex.ru



Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы

М.В. Михайловский, А.Ю. Сергунин

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

Актуальность. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана на настоящий момент изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза в норме и при ювенильных кифозах как в до- и в послеоперационном периодах, а также связи этих изменений с позвоночно-тазовыми параметрами. Практически нет информации о корреляции состояния шейного лордоза с развитием проксимальных переходных кифозов.

Цель публикации — на основании анализа литературы определить особенности состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в до- и послеоперационном периодах.

Результаты. Данные литературы не позволяют четко очертить границы нормы при количественной оценке шейного лордоза. Единственное, в чем сходятся все исследователи, — шейный лордоз следует рассматривать дискретно, а именно — на уровнях C1–C2 и C2–C7. Наиболее часто используемыми параметрами шейно-грудного перехода являются наклон Th1 позвонка, наклон входа в грудную клетку (TIA) и положение сагиттальной вертикальной оси (SVA). Величина шейного лордоза при болезни Шойермана варьирует от 4° до 35°, т.е. увеличение грудного кифоза далеко не всегда сопровождается развитием компенсаторного шейного гиперлордоза. При грудных деформациях (вершина на уровне T10 и краниальнее) величина шейного лордоза значительно превышает таковую при грудно-поясничных деформациях (вершина на уровне T11 и каудальнее). В первом случае шейный лордоз (C2–C7) составляет 19,4–26,2°, во втором — 4,7–8,5°. Весьма немногочисленные литературные данные демонстрируют, что в аспекте динамики шейного лордоза пациенты с болезнью Шойермана — это не гомогенная группа, и единственная закономерность заключается в том, что в отдаленном послеоперационном периоде шейный лордоз незначительно увеличивается. Позвоночно-тазовые параметры у пациентов с болезнью Шойермана мало отличаются от нормальных показателей и практически не меняются после корригирующих вмешательств. Не удалось найти работ, в которых предпринята попытка увязать риск развития проксимального переходного кифоза с параметрами шейно-грудного перехода (Th1, TIA, SVA).

Заключение. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с тяжелыми формами болезни Шойермана, подлежащими оперативной коррекции, изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза, его динамики в послеоперационном периоде, связи с позвоночно-тазовыми параметрами, а также взаимозависимости параметров переходного шейно-грудного отдела с развитием проксимальных переходных кифозов. Необходимы новые исследования в этом направлении.

Ключевые слова: болезнь Шойермана, шейный отдел позвоночника, шейный лордоз, ювенильный кифоз, хирургическое лечение.

Михайловский М.В., Сергунин А.Ю. Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):123-134. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2040>.

✉ Михайловский Михаил Витальевич; e-mail: MMihailovsky@niito.ru

Рукопись получена: 26.12.2022. Рукопись одобрена: 26.01.2023. Статья опубликована онлайн: 09.03.2023.

© Михайловский М.В., Сергунин А.Ю., 2023



Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review

Mikhail V. Mikhaylovskiy, Alexander Yu. Sergunin

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Background. The state of the cervical spine in patients with Scheuermann's disease has still not been studied enough. This concerns the magnitude of cervical lordosis in the norm and in juvenile kyphosis in both pre- and postoperative periods, as well as the relationship of these changes with the spinopelvic parameters. There is almost no information on the correlation between the state of cervical lordosis and the development of proximal transitional kyphosis.

Aim of the study. To determine the features of the cervical spine in patients with Scheuermann's disease in the pre- and postoperative periods by analyzing the literature data.

Results. The literature data do not allow us to clearly define the limits of normal in the quantitative assessment of cervical lordosis. The only thing all researchers agree on is that the cervical lordosis should be considered discretely, namely at the C1-C2 and C2-C7 levels. The most commonly used parameters of the cervical-thoracic junction are T1 slope, thoracic inlet angle (TIA) and position of the sagittal vertical axis (SVA).

The magnitude of cervical lordosis in Scheuermann's disease varies from 4° to 35°, i.e., thoracic kyphosis increase is not always accompanied by the development of compensatory cervical hyperlordosis. In thoracic deformities (the apex is at the level of T10 and cranial), the magnitude of cervical lordosis is significantly greater than that in thoracolumbar deformities (the apex is at the level of T11 and caudal). In the first case, the cervical lordosis (C2-C7) is 19.4-26.2°, while in the second one — 4.7-8.5°.

Very few literature data demonstrate that in terms of cervical lordosis dynamics, patients with Scheuermann's disease do not represent a homogeneous group. The only pattern is that the cervical lordosis increases slightly in the long-term postoperative period. The spinopelvic parameters in patients with Scheuermann's disease differ little from the normal ones and almost do not change after corrective interventions. We could not find any publications attempting to relate the risk of PJK to cervical-thoracic junction parameters (T1, TIA, SVA).

Conclusion. The state of the cervical spine in patients with severe forms of Scheuermann's disease, subject to surgical correction, has not been studied enough. This concerns the magnitude of cervical lordosis, its dynamics in the postoperative period, its relationship with spinopelvic parameters, as well as the correlation between parameters of transitional cervical-thoracic spine and development of proximal transitional kyphoses. Further studies of this problem are needed.

Keywords: Scheuermann's disease, cervical spine, cervical lordosis, juvenile kyphosis, surgical treatment.

Cite as: Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu. [Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):123-134. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2040>.

✉ Mikhail V. Mikhaylovskiy; e-mail: MMihailovsky@niito.ru

Submitted: 26.12.2022. Accepted: 26.01.2023. Published Online: 09.03.2023.

© Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Деформацию позвоночника Н. Scheuermann в своей классической работе назвал «кифозом подмастерьев» (apprentice kyphosis) [1]. Ее клинические проявления и рентгеновское отображение были описаны в свое время самым детальным образом [2, 3]. Правда, все это относилось к грудному и поясничному отделам позвоночника, поскольку именно здесь формировались и прогрессировали кифотическая дуга со сколиотическим компонентом или без такового и компенсаторное сагиттальное противоискривление. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана исследователей как будто не интересовало. В первых обзорах по проблеме ювенильных кифозов шейный отдел позвоночника даже не упоминается [4, 5]. S. Voutsinas и G. MacEwen, изучавшие сагиттальный профиль позвоночного столба у молодых здоровых субъектов, рассматривали только грудной и поясничный отделы позвоночника и наклон крестца (sacral inclination) [6]. Интерес к состоянию шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана возник позднее, но пока в научной литературе больше вопросов, нежели ответов. Так, проблему величины шейного лордоза в норме нельзя считать окончательно решенной в силу достаточно противоречивых данных литературы [7, 8, 9]. Крайне ограничена информация, касающаяся изменений шейного лордоза у пациентов с болезнью Шойермана как в до-, так и в послеоперационном периодах [10, 11, 12], а также связи этих изменений с позвоночно-тазовыми параметрами [13, 14], грудным кифозом и поясничным лордозом [15]. Практически нет информации о связи состояния шейного лордоза с развитием проксимальных переходных кифозов у больных с болезнью Шойермана.

Цель публикации — на основании анализа литературы определить особенности состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в до- и послеоперационном периодах.

Рентгенографические параметры шейного отдела позвоночника

Зона шейно-грудного перехода, в которой стыкуются мобильный шейный и ригидный грудной отделы позвоночника аналогична пояснично-крестцовому отделу — стыку монолитного крестца и мобильного поясничного отдела позвоночника. Вполне логично, что любые отклонения от нормы в этой зоне сказываются на состоянии (форма, положение) вышележащих отделов позвоночного столба. Определен и широко используется целый набор рентгенограмметрических параметров. Польские исследователи P. Janusz с соавторами свели все известные показатели воедино и разбили их на четыре подгруппы [11]:

- Шейные параметры: шейная сагиттальная вертикальная ось (sagittal vertical axis — SVA), шейный лордоз (C2–C7); полный шейный лордоз (C1–C7); угол C1–C2, угол абсолютной ротации C2–C7 — между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам C2 и C7 позвонков; угол относительной ротации C2–C7 между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам двух соседних позвонков на пяти уровнях от C2–C3 до C6–C7.

- Параметры входа в грудную клетку: угол входа в грудную клетку (TIA — thoracic inlet angle); наклон Th1 позвонка (Th1 slope); наклон шеи — угол, формируемый линией, идущей от краниального конца грудины, и линией, соединяющей центр верхней замыкательной пластинки Th1 позвонка и верхний конец грудины.

- Краниальные параметры: угол C0–C2 (угол между линией McRae и нижней замыкательной пластинкой C2), угол C0 (угол между плоскостью Frankfort и линией McRae, смещение черепа — расстояние между линией отвеса, опущенной от C7 позвонка, и теоретическим центром гравитации головы на 8 мм фронтальнее ушного канала; краниальный наклон — угол между линией, проведенной из центра верхней замыкательной пластинки Th1 позвонка к зубу C2, и вертикалью из центра верхней замыкательной пластинки тела Th1 позвонка.

- Грудо-поясничные параметры: грудной кифоз (угол Кобба Th4–Th12), грудо-поясничный кифоз (угол Кобба Th11–L1), поясничный лордоз (угол Кобба L1–S1).

В этот список не внесены пояснично-тазовые параметры — индекс таза (PI), угол наклона таза (PT) и пояснично-крестцовый угол (SS). Но рядом исследователей они также использовались при оценке состояния шейного отдела позвоночника, в том числе при болезни Шойермана [13, 14, 16].

Шейный отдел позвоночника в норме

A. Borden с соавторами в 1960 г. сделали первую попытку дать количественную оценку шейного лордоза по рентгенограммам 180 человек, не предъявлявших жалоб на состояние шейного отдела позвоночника [17]. Судя по всему, метод Cobb (точнее, Lippmann), описанный в 1948 г. [18], авторам был неизвестен, и они использовали собственный. Первая прямая линия проводится от задневерхнего края зубовидного отростка C2 позвонка до задневерхнего угла тела C7 позвонка. Вторая линия проводится по задним замыкательным пластинкам тел C2–C6 позвонков и имеет, соответственно, вид полуовала. Третья линия — перпендикуляр к первой в месте ее наибольшего отстояния от второй, и ее длина в миллиметрах показывает глубину шейного лордоза. Средняя длина

этой линии в 98% случаев составила 11,8 мм, причем в 13 случаях лордоз был сглажен. В оставшихся трех случаях выявлен шейный кифоз. Через год та же группа авторов опубликовала похожие данные — глубина шейного лордоза составила 12,5 мм [19].

D. Gore с соавторами исследовали шейный лордоз у 200 человек, не предъявлявших каких-либо жалоб. Измерялся угол между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам C2 и C7 позвонков. В возрастной группе 20–25 лет его величина составила в среднем 15° у женщин и 16° у мужчин, в группе 30–35 лет — 16° и 21° соответственно [20].

J. Hardacker с соавторами обследовали 100 человек, разделенных на две равные группы. В группе 1 (средний возраст — 38,4 года) обследуемые не предъявляли жалоб, в группе 2 (38,6 года) они отмечали боли в поясничном отделе позвоночника. Общая величина шейного лордоза, измеренного по Cobb от C0 до C7, составила для общей группы в 100 человек 40°. Статистически значимой разницы между группами не выявлено. Большая часть лордоза отмечена на уровне C1–C2 (31,9°), и только 6° (15% от общего объема) — на уровне C4–C7 позвонков [8].

D. Harrison с соавторами сравнили информативность двух методов количественной оценки шейного лордоза — метода Cobb и дорсального тангенциального метода Harrison. Стандартный метод Cobb (C1–C7 и C2–C7) они сопоставили с измерением суммы углов, образуемых линиями, проведенными через дорсальные замыкательные пластинки C2–C7 позвонков. Оказалось, что при использовании метода Cobb угол C1–C7 составляет 54°, а угол C2–C7 — всего 17°. Метод Harrison позволил определить величину шейного лордоза — 26°. Поскольку угол между каудальной и дорсальной замыкательными пластинками тел шейных позвонков не равен 90°, величина лордоза на уровнях C2–C3, C4–C5 и C6–C7 оказывается заниженной. Оба метода авторы расценивают как достоверные, но тангенциальный метод, по их мнению, дает меньшую стандартную ошибку. Метод Cobb оценивает лордоз в целом и не дает представления о том, что происходит «внутри» него. Тангенциальный метод учитывает наклон каждого позвонка, что позволяет анализировать состояние шейного отдела позвоночника посегментно. Поэтому D.E. Harrison с соавторами расценивают свой метод как инженеринговый анализ (первая производная), имеющий преимущество по сравнению с методом Cobb [9].

K. Nojiri с соавторами обследовали группу из 313 здоровых людей (155 мужчин, 158 женщин) и выяснили, что угол C0–C2 составляет в среднем 14,5° (кифоз) у мужчин и 16° у женщин, угол

C1–C2 — 26,5° и 28,9°, а угол C2–C7 — 16,2° и 10,5° соответственно. Эти различия статистически достоверны и должны учитываться при планировании операции в области краниовертебрального перехода [7].

C. Kuntz с соавторами представили обзор данных литературы (результаты измерения шейного лордоза по трем публикациям) и сообщили усредненные значения трех параметров: C0–C2 — 14°, C1–C2 — 29°, C2–C7 — 17° [21].

S. Erkan с соавторами исследовали влияние сагиттального профиля шейного отдела позвоночника на грудной кифоз. Для этого они сформировали две группы пациентов: группа 1 — 68 человек, лечившихся по поводу патологии нижних конечностей, шейный лордоз сглажен; группа 2 — 160 человек с физиологическим шейным лордозом. В группе 1 величина лордоза (C2–C7) составила в среднем 2,4°, в группе 2 — 18,2° (использовался тангенциальный метод Harrison). Авторы подчеркивают отсутствие единого определения нормального шейного лордоза, поэтому они избрали величину $\pm 4^\circ$ как возможную ошибку измерения с 95% доверительным интервалом и определили, что физиологический шейный лордоз меньше -4° , а шейный кифоз больше $+4^\circ$. «Серая зона» между -4° и $+4^\circ$ определена как «потеря шейного лордоза» [22].

S.H. Lee с соавторами обследовали 77 здоровых волонтеров в возрасте 21–50 лет методом Cobb и выяснили, что угол C0–C2 составил 22,4°, а C2–C7 — 9,9° (соотношение 77:23) [16].

V. Blondel с соавторами, обследовав 55 здоровых волонтеров, выявили связь шейного лордоза (C2–C7) с возрастом. Для возрастных групп 20–39, 40–69 и 60 лет и старше величина лордоза составляла 9,4°; 6,6° и 22,0° соответственно [23].

L. Jiang с соавторами сравнили позвоночно-тазовые параметры у пациентов с болезнью Шоейрмана у здоровых подростков. В группе здоровых средняя величина шейного лордоза составила всего 2° [15].

Шейно-грудной переход в норме

Изучение этого вопроса, насколько мы можем судить, началось в первом десятилетии XXI в.

R. Loder не обнаружил корреляции между величинами шейного и грудного отделов позвоночника, но выявил ее между величиной шейного и поясничного лордоза и между шейным лордозом и разницей грудного и поясничного лордоза (угол Кобба грудного кифоза минус угол Кобба поясничного лордоза). R. Loder подчеркивал, что гибкие шейный и поясничный отделы позвоночника крепятся к ригидному грудному отделу. Если разница грудного и поясничного лордоза становится более кифотической, шейный лордоз усиливается для сохранения горизонтального взора [24].

P. Knott с соавторами были, вероятно, первыми, кто обратил внимание на информативность такого показателя, как наклон Th1 позвонка. Они подчеркнули важность этого параметра при оценке сагиттального баланса, т.к. он, по их данным, наиболее строго коррелирует с сагиттальной вертикальной осью (sagittal vertical axis — SVA). Авторы отметили, что нормальный наклон Th1 позвонка не определен (и ситуация до сих пор не изменилась), но обнаружили, что если наклон Th1 превышает 25°, то всех случаях SVA смещается вперед больше чем на 10 см, а при негативном сагиттальном балансе наклон Th1 обычно меньше 13°. При этом, если величина наклона Th1 находится в промежутке между 13° и 25°, это не является гарантией нормального сагиттального баланса [25].

J. Smith с соавторами, исследовавшие эффект транспедикулярной субтракционной остеотомии (pedicle subtraction osteotomy — PSO), выявили нормализацию сагиттального баланса (SVA, наклон C7–Th12) и корреляцию наклона Th1 позвонка с изменениями шейного отдела позвоночника. В том же году S.H. Lee с соавторами выявили наличие сильной корреляции между наклоном Th1 позвонка, величиной лордоза C2–C7, C0–C2 и углом входа в грудную клетку (thoracic inlet angle — TIA). Последний показатель строго связан с краниоцервикальным сагиттальным балансом. Чтобы сохранить наклон шеи под углом 44°, TIA увеличивает наклон Th1 и шейный лордоз и наоборот [26]. По мнению J.S. Smith с соавторами, TIA и наклон Th1 позвонка могут быть использованы как параметры предсказания физиологического контура шейного отдела позвоночника [27].

По данным P. Janusz с соавторами, при грудных ювенильных кифозах наклон Th1 позвонка больше, чем при грудно-поясничных. Это же относится к шейному лордозу и TIA. Основные изменения сагиттального контура шейного отдела позвоночника отмечены на уровнях C4–C5 и C5–C6 сегментов. На уровнях C0–C2 и C1–C2 изменения минимальны. Компенсация шейного отдела позвоночника происходит за счет субаксиальных отделов [11].

S.H. Lee с соавторами подчеркивают, что наклон Th1 позвонка строго коррелирует с TIA и величиной грудного кифоза, которая, в свою очередь, является ключевым фактором шейного баланса. Тазовые параметры и TIA определяют баланс шейного отдела позвоночника через наклон Th1 позвонка. Большой наклон Th1 позвонка требует увеличения шейного лордоза для поддержания баланса последнего [16].

L. Nasto с соавторами констатировали корреляцию между углом C2–C7 и наклоном Th1 позвон-

ка. До операции наклон Th1 коррелирует также с типом деформации, грудным кифозом и поясничным лордозом, после операции сохраняется корреляция наклона Th1 позвонка с величиной C2–C7 и с послеоперационными изменениями грудного кифоза. Наклон Th1 позвонка — самый важный параметр при определении послеоперационного сагиттального выстраивания шейного отдела позвоночника и коррелирует с грудным кифозом и поясничным лордозом. Послеоперационные изменения в шейном отделе позвоночника коррелируют с изменениями наклона Th1 позвонка [28].

Изменения шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана

В ранних классических работах H.W. Scheuermann и K.H. Sorensen состояние шейного отдела позвоночника у больных с ювенильными кифозами, как отмечено выше, вообще не обсуждалось [1, 2, 3]. Насколько мы можем судить, первое описание состояния шейного лордоза при болезни Шойермана принадлежит T. Lowe, который ограничился замечанием о том, что шейный лордоз усилен, а голова выдвинута вперед [4]. В таблице 1 отражены данные литературы о состоянии шейного лордоза, а также грудного кифоза и поясничного лордоза у пациентов с болезнью Шойермана.

Первую работу, посвященную состоянию шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана, опубликовал R. Loder в 2001 г. [24]. Он не нашел корреляции между шейным лордозом и грудным кифозом, корреляция обнаружена между шейным и поясничным лордозом, а также между шейным лордозом и т.н. остаточной сагиттальной разницей (угол Кобба грудного кифоза минус угол Кобба поясничного лордоза). При болезни Шойермана ригидный грудной отдел позвоночника находится между мобильными шейным и поясничным отделами. Если остаточная сагиттальная разница становится более кифотической, шейный лордоз усиливается для сохранения сагиттального взора.

По мнению R. Loder, отсутствие связи между величинами грудного кифоза и шейного лордоза при болезни Шойермана может объясняться двумя причинами:

- ригидность грудного отдела позвоночника меняет «поведение» шейного отдела;
- лордозированный грудной отдел позвоночника рассматривается как причина идиопатического сколиоза, а кифозированный грудной отдел позвоночника — как результат развития болезни Шойермана вне зависимости от этиологии.

Причина кифоза Шойермана отличается от причины идиопатического сколиоза подростков, хотя истинная причина обеих болезней неизвестна.

Параметры сагиттального контура позвоночного столба у пациентов с болезнью Шойермана

Авторы, год	Количество пациентов	Средний возраст, лет	М:Ж	Шейный лордоз			Грудной кифоз, град.	Поясничный лордоз, град.
				C2–C7, град.	C2–C7 при грудном кифозе, град.	C2–C7 при грудно-поясничном кифозе, град.		
Bezalel T. с соавторами, 2019 [10]	150	15,5 М 16,7 Ж	95:55	-23,9 М -21,5 Ж	–	–	60,7 М 57,6 Ж	63,5 М 11,2 Ж
Janusz P. с соавторами, 2019 [11]	86	16,3	52:34	–	-19,4	-8,5	58,4 Т 54 TL	53,1 Т 45,7 TL
Xu L. с соавторами, 2019 [12]	59	14,6	–	–	-21,4	-7,2	–	–
Ashraf A. с соавторами, 2014 [13]	18	16,7	13:5	35	–	–	76,0	77,0
Jiang L. с соавторами, 2014 [15]	55	14,2	42:13	13,3	26,2	4,7	45,6	56,3
Loder R.T., 2001 [24]	34	15,5	18:16	4±15 Cobb 9±14 PVBA	–	–	65,0	71,0
Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	35	25,0	26:9	33	–	–	83,0	60,0
Janusz P. с соавторами, 2015 [30]	71	16,3	41:30	–	19,8	8,9	62,5 Т 56,7 TL	68,1 Т 62,1 TL
Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	23	32,7	10:13	-15,6 А +11,6 В	–	–	74,6 А 59,4 В	72,8 А 65,8 В
Nasto L. с соавторами, 2016 [32]	64	18,9 Т 17,8 TL	53:11	–	-21,1	-6,1	81,6 Т 82,3 TL	69,9 Т 76,4 TL

PVBA — posterior vertebral body angle; (–) — отсутствие информации; Т — thoracic; TL — thoracolumbar; А — лордоз; В — кифоз.

L. Jiang с соавторами первыми исследовали сагиттальный контур позвоночника при болезни Шойермана в зависимости от локализации вершины кифоза. Оказалось, что величина всех сагиттальных изгибов позвоночника более выражена при грудных кифозах, нежели при грудно-поясничных. В первой группе выявлена достоверная связь грудного кифоза с шейным и поясничным лордозами. При грудно-поясничной локализации кифоза грудной кифоз и поясничный лордоз сглажены, между ними есть четкая взаимосвязь. Таким образом, разные типы деформаций вырабатывают разные компенсаторные механизмы [15].

F. Paternostre с соавторами, оперировавшие 23 пациентов с кифотическими деформациями (17 из них — с болезнью Шойермана), выявили нали-

чие двух типов формы шейного отдела позвоночника — лордотическую и кифотическую. Причину формирования диаметрально противоположных типов деформации авторы склонны увязывать с параметрами грудного и поясничного отделов позвоночника и наклоном таза, а также со степенью наклона переходного шейногрудного отдела [31].

Динамика состояния шейного отдела позвоночника после корригирующего вмешательства

Информация о состоянии шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в послеоперационном периоде весьма скудная. Нам известны только пять публикаций, посвященных этой проблеме (табл. 2).

Таблица 2

Динамика шейного лордоза после хирургической коррекции кифоза у пациентов с болезнью Шойермана

Авторы, год	Количество больных	Средний возраст, лет	М:Ж	Шейный лордоз				
				C2–C7, град.	C2–C7 при грудном кифозе, град.	C2–C7 при грудно-поясничном кифозе, град.	C2–C7 после операции, град.	C2–C7 (срок наблюдения), град.
Xu L. с соавторами, 2019 [12]	59	14,6	–	–	21,4	7,2	13,1 T 11,7 TL	14,9 T 13,8 TL (4 года)
Ashraf A. с соавторами, 2014 [13]	18	16,7	13:5	35	–	–	–	37 (2,8 года)
Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	35	25	26:9	33	–	–	19	25 (8 лет)
Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	23	32,7	10:13	-9,7	–	–	12,1	12,9 (5 лет)
Nasto L. с соавторами, 2016 [32]	64	18,9 T 17,8 TL	53:11	–	-21,1	-6,1	-12,5 T -10,1 TL	-15,7 T -12,1 TL (3,9–4,2 года)

(–) – отсутствие информации; T – thoracic; TL – thoracolumbar.

Наиболее ранним является сообщение Н. Mehdian с соавторами, которые отметили, что большинство пациентов жаловались на боли в шейном и поясничном отделах позвоночника в течение двух лет после операции, в дальнейшем эти симптомы исчезли. Сопоставление клинических и рентгенографических данных (до операции, сразу после нее и в конце периода наблюдения) показало, что изначально достигнутая коррекция в отдаленном послеоперационном периоде частично утрачивается. Это касается грудного кифоза (83,3–41,6–44,0°), шейного (33–19–25°) и поясничного (60–40–52°) лордозов. Авторы ограничились констатацией этого факта и не стали делать далеко идущих выводов [29].

А. Ashraf с соавторами не выявили сколько-нибудь заметных изменений шейного лордоза, хотя динамика грудного кифоза (76–56°) и поясничного лордоза (77–57°) расценена как существенная [13].

Ф. Paternostre с соавторами оперировали 23 пациентов с гиперкифозами, из них 17 – на почве болезни Шойермана. Группа была разбита на две части в соответствии с формой шейного отдела позвоночника – шейный лордоз (-15,6°) и шейный кифоз (+11,6°). Авторы выявили отчетливую корреляцию между шейным лордозом (C2–C7) с одной стороны и такими параметрами, как наклон Th-1 позвонка, кифоз Th1–Th4, Th4–Th12, лордоз L1–S1. Шейный лордоз в послеоперационном периоде изменился очень незначительно, если обе

подгруппы рассматривать совместно – увеличение на 2,4°, и далее почти без динамики. При этом величины грудного кифоза и поясничного лордоза претерпели значимые изменения – соответственно 71–37° и 71–55° [31].

В двух исследованиях результаты коррекции кифоза при болезни Шойермана рассматривались отдельно – применительно к грудной либо грудно-поясничной локализации вершины кифотической деформации. L. Nasto с соавторами выявили, что в группе грудных кифозов шейный лордоз существенно уменьшился (с 21,1 до 12,5°), а в дальнейшем несколько увеличился – до 15,7°. У больных с грудно-поясничной деформацией исходный шейный лордоз был сглажен до 6,1°, после операции увеличился до 10,1°, а в конце периода наблюдения – до 12,1° [32]. Практически аналогичные результаты констатировали L. Xu с соавторами: динамика шейного лордоза при грудной локализации кифоза 21,4–13,1–14,9°, при грудно-поясничной – 7,2–11,7–13,8° [12].

Влияние позвоночно-тазовых параметров на состояние шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана

Этой проблеме посвящено весьма ограниченное количество исследований последнего десятилетия.

М. Tonbul с соавторами не выявили корреляции между величиной PI до операции и послеоперационной потерей коррекции [33].

L. Jiang с соавторами отметили, что у пациентов с болезнью Шойермана показатели PI и PT меньше, чем у здоровых людей. При грудных кифозах показатели шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника больше, чем при грудно-поясничных [15]. При грудно-поясничных кифозах грудной и поясничные отделы позвоночника сглажены, есть корреляция между величиной поясничного лордоза и наклоном крестца.

A. Aschraf с соавторами констатировали, что все три позвоночно-тазовых показателя после операции не изменились [13].

M. Turowski с соавторами выявили, что у взрослых пациентов с болезнью Шойермана величина PI ниже, чем у здоровых, а корреляции между величинами PI и поясничного лордоза нет [14]. Годом позже тот же коллектив авторов сообщил, что пациенты с болезнью Шойермана до и после созревания скелета имеют одинаковые тазовые параметры, причем PI в обеих группах ниже нормы [34].

P. Cahill с соавторами сообщили, что у пациентов с болезнью Шойермана показатели тазовых параметров не отличаются от таковых у здоровых индивидов. Более того, величина грудного кифоза не коррелирует с величиной поясничного лордоза и положением таза [35].

L. Nasto с соавторами обследовали 37 пациентов с болезнью Шойермана до и после операции и выявили в 7 случаях проксимальный переходный кифоз (proximal junctional kyphosis — PJK). Дооперационный кифоз был одинаковым в группах больных с PJK и без него, PI до операции был выше у больных с PJK (52–43°), коррекция грудного кифоза и послеоперационная величина поясничного лордоза одинаковы в обеих группах. Больные с PJK имели больший дооперационный PI, после операции отмечен значительный дефицит поясничного лордоза. Поэтому авторы полагают, что коррекцию грудного кифоза надо планировать в соответствии с дооперационным показателем PI, чтобы избежать излишнего сглаживания поясничного лордоза [32].

F. Paternostre с соавторами отметили, что величина PI выше при шейном лордозе, а лордоз C0–C2 больше при шейном кифозе. Они выявили ряд зависимостей: кифоз Th1–Th12 и лордоз C2–C7, лордоз L1–S1 и PI, C2–C7 и наклон Th-1 позвонка, C2–C7 и кифоз Th1–Th4 [31].

Результаты исследования позвоночно-тазовых параметров у пациентов с болезнью Шойермана до и после оперативной коррекции кифоза демонстрируют минимальную их динамику в ближайшем и отдаленном послеоперационном периодах (табл. 3).

Таблица 3

Динамика позвоночно-тазовых параметров, наклона Th1 позвонка и сагиттальной вертикальной оси у пациентов с болезнью Шойермана до и после оперативного лечения

Параметр	Aschraf A. с соавторами, 2014 [13]	Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	Nasto L. с соавторами, 2016 [32]
Наклон Th1 позвонка — 1	–	–	34,9	39,1–27,4
Наклон Th1 позвонка — 2	–	–	27,9	32,4–25,9
Наклон Th1 позвонка — 3	–	–	32,2	34,3–23,4
SVA — 1	35	+ 8	16,5	15,9–25,6
SVA — 2	26	-3,9	15,6	4,5–21,1
SVA — 3	–	+2,8	21,3	21,5–22,1
SS — 1	37	36	38,5	33,4–29,0
SS — 2	37	33	37,4	–
SS — 3	–	39	35,8	–
PT — 1	12	13	10,1	5,9–7,2
PT — 2	15	16	11,6	–
PT — 3	–	9	12,3	–
PI — 1	46	49	48,6	39,6–34,0
PI — 2	47	48	48,9	–
PI — 3	–	40	48,1	–
Средний срок наблюдения, лет	2,8	8,0	5,0	3,9–4,2

1 — до операции; 2 — сразу после операции; 3 — в конце периода наблюдения; (–) — отсутствие информации.

Шейный отдел позвоночника и развитие проксимальных переходных кифозов при болезни Шойермана

Переходные кифозы (junctional kyphosis) — одно из наиболее часто встречающихся осложнений в хирургии деформаций позвоночника. Они бывают как проксимальными, так и дистальными, причем последние встречаются реже. К болезни Шойермана это положение относится в полной мере. Поиски причин развития проксимальных переходных кифозов продолжаются много лет, определено немалое количество факторов риска, среди которых — расположение верхнего инструментированного позвонка, невключение в блок краниального позвонка в дуге, степень коррекции кифотической деформации, отказ от использования крюков в краниальной части зоны инструментального спондилодеза и ряд других. Несмотря на это, единого мнения нет до сих пор, а количество констатируемых авторами публикаций осложнений не уменьшается, варьируя от 2 до 50% и более [36].

Юношеский кифоз — сложная, хотя практически одноплоскостная, деформация позвоночника, отражающаяся в той или иной степени на форме и функции всех его отделов — от таза до головы. Есть множество работ, посвященных влиянию базовых отделов позвоночника на развитие проксимальных переходных кифозов. Детальный обзор многочисленных взаимозависимостей между позвоночно-тазовыми параметрами, динамикой грудного кифоза, поясничного лордоза, величиной SVA и их влияния на развитие PJK был нами представлен в монографии «Болезнь Шойерманна» [36]. В этой книге Жан Дюбуссе дает свое определение PJK — «внезапное патологическое изменение сагиттального контура между двумя соседними позвонками, часто отмечаемое на верхней границе зоны инструментального спондилодеза».

Весьма немногочисленны исследования, авторы которых, изучая результаты хирургической коррекции кифозов на почве болезни Шойермана, оценивали состояние шейного отдела позвоночника до и после вмешательства и представили информацию о количестве развития PJK. По данным этих авторов, частота развития осложнений составляет 27,8; 45,5; 27,1% соответственно. Однако в этих работах, как и в других, посвященных динамике параметров шейногрудного перехода при болезни Шойермана, полностью отсутствует информация о попытках увязать данные рентгенограмметрии и иные показатели с частотой развития PJK.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы большое количество публикаций было посвящено параметрам грудно-поясничного и пояснично-крестцового отделов позво-

ночника. Были определены как глобальные, так и региональные параметры, а также принципы восстановления сагиттального контура. Однако лишь немногие работы были посвящены нормативам шейного отдела позвоночника и еще менее — влиянию сегментарного, регионального и глобального баланса на состояние шейного лордоза. Шейный отдел позвоночника весьма сложен, он не только поддерживает массу головы (которую Ж. Дюбуссе определяет как «краниальный позвонок» [36]), но и обеспечивает высокий уровень мобильности. Сложность любой системы повышает ее уязвимость и может стать причиной развития многочисленных патологических состояний. Кроме того, шейный отдел позвоночника влияет на выстраивание нижележащих отделов позвоночного столба, необходимое для поддержания возможности горизонтального взора [37].

Проведенный нами анализ данных литературы показал, что не на все вопросы, возникающие при исследовании состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана, можно получить однозначные и обоснованные ответы.

Так, приведенные данные не дают возможности четко очертить границы нормы при количественной оценке шейного лордоза. Представленные исследователями цифры весьма вариабельны. Отчасти это можно объяснить тем, что авторы использовали разные методики исследования спондилограмм. Единственное, в чем сходятся все исследователи, — шейный лордоз следует рассматривать дискретно, а именно на уровнях C1–C2 и C2–C7. Большая часть шейного лордоза приходится именно на верхний его отрезок (C1–C2) и составляет от 22° до 37°. На протяжении C2–C7 (или C4–C7 — здесь тоже нет единства) лордотическая деформация составляет от 2° до 26°. В этом сходство шейного лордоза с поясничным, где основная часть сагиттальной деформации приходится на сегменты L4–S1. Можно, вероятно, сделать вывод о том, что наиболее важными, а потому и наиболее часто используемыми параметрами, характеризующими состояние шейно-грудного перехода, являются наклон Th1 позвонка, наклон входа в грудную клетку и положение сагиттальной вертикальной оси.

Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана демонстрирует ту же картину отсутствия единообразия, что и у здоровых людей. Величина шейного лордоза варьирует от 4° до 35°, показывая, тем самым, что увеличение грудного кифоза при болезни Шойермана далеко не всегда сопровождается развитием компенсаторного шейного гиперлордоза. Скорее, можно говорить о реципрокном усилении поясничного лордоза (см. табл. 1). Как и при рассмотрении нормальных

параметров шейного отдела позвоночника, данные литературы позволяют выявить весьма уверенно одну важную закономерность. В тех случаях, когда условия позволяли разделить исследуемую группу пациентов в зависимости от локализации вершины кифоза, было отмечено, что при грудных деформациях (вершина на уровне T10 и краниальнее) величина шейного лордоза значительно превышает таковую при грудо-поясничных деформациях (вершина на уровне T11 и каудальнее). В первом случае шейный лордоз (C2–C7) составляет 19,4–26,2°, во втором — 4,7–8,5°.

Весьма немногочисленные данные литературы демонстрируют, что в аспекте динамики шейного лордоза пациенты с болезнью Шойермана — это не гомогенная группа, и единственная закономерность (если о таковой вообще можно говорить) заключается в том, что в отдаленном послеоперационном периоде шейный лордоз незначительно увеличивается. При этом данные некоторых авторов свидетельствуют о том, что позвоноч-

нотазовые параметры у пациентов с болезнью Шойермана мало отличаются от нормальных показателей и практически не меняются после корригирующих вмешательств [13, 14, 15, 31, 32, 33, 34, 35]. Нам не удалось найти работы, авторы которых предприняли попытку увязать риск развития РЖ с параметрами шейно-грудного перехода (наклон Th1, TIA, SVA), что вызывает удивление, учитывая актуальность проблемы переходных кифозов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с тяжелыми формами болезни Шойермана, подлежащими оперативной коррекции, изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза, его динамики в послеоперационном периоде, связи с позвоночно-тазовыми параметрами, а также взаимозависимости параметров переходного шейногрудного отдела с развитием проксимальных переходных кифозов. Необходимы новые исследования в этом направлении.

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.

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

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Scheuermann H.W. Kyphosis dorsalis juveniles. *Ugeskrift for Laeger*. 1920;82:385-393.
2. Scheuermann H. Rentgenologic studies of the origin and development of juvenile kyphosis, together with some investigations concerning the vertebral epiphyses in man and in animals. *Acta Orthop Scand*. 1934;5:161-220.
3. Sorensen K.H. Scheuermann's juvenile kyphosis: clinical appearances, radiology, etiology and prognosis. Enjar Copenhagen: Munkesgaard Forlag; 1964. p. 214-222
4. Lowe T. Scheuermann disease. *J Bone Joint Surg*. 1990;72-A:940-945
5. Wenger D.R., Frick S.L. Scheuermann kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(24):2630-2639. doi: 10.1097/00007632-199912150-00010.
6. Voutsinas S., MacEven G. Sagittal profiles of the spine. *Clin Orthop Rel Res*. 1986;(210):235-242.
7. Nojiri K., Matsumoto M., Chiba K., Maruiwa H., Nakamura M., Nishizawa T. et al. Relationship between alignment of upper and lower cervical spine in asymptomatic individuals. *J Neurosurg*. 2003;99 (1 Suppl):80-83. doi: 10.3171/spi.2003.99.1.0080.
8. Hardacker J.W., Shuford R.F., Capicotto P.N., Pryor P.W. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(13):1472-1480; discussion 1480. doi: 10.1097/00007632-199707010-00009.

9. Harrison D.E., Harrison D.D., Cailliet R., Troyanovich S.J., Janik T.J., Holland B. Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(16):2072-2078. doi: 10.1097/00007632-200008150-00011.
10. Bezalel T., Carmeli E., Kalichman L. Scheuermann's Disease: Radiographic Pathomorphology and Association with Clinical Features. *Asian Spine J*. 2019;13(1):86-95. doi: 10.31616/asj.2018.0025.
11. Janusz P., Tyrakowski M., Kotwicki T. Morphology of the Cervical Spine Alignment in Scheuermann's Disease. *Ortho Res Online J*. 2019;5(2):465-469. doi: 10.31031/OPROJ.2019.05.000607.
12. Xu L., Shi B., Qiu Y., Chen Z., Chen X., Li S. et al. How does the cervical spine respond to hyperkyphosis correction in Scheuermann's disease? *J Neurosurg Spine*. 2019;1-8. doi: 10.3171/2019.3.SPINE1916.
13. Ashraf A., Noelle Larson A., Polly D.W., Ferski G., Guidera K.J., Mielke C.H. Change in Sagittal Plane Alignment Following Surgery for Scheuermann's Kyphosis. *Spine Deform*. 2014;2(5):404-409. doi: 10.1016/j.jspd.2014.04.013.
14. Tyrakowski M., Mardjetko S., Siemionow K. Radiographic spinopelvic parameters in skeletally mature patients with Scheuermann disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(18):E1080-10855. doi: 10.1097/BRS.0000000000000460.
15. Jiang L., Qiu Y., Xu L., Liu Z., Wang Z., Sha S. et al. Sagittal spinopelvic alignment in adolescents associated with Scheuermann's kyphosis: a comparison with normal population. *Eur Spine J*. 2014;23(7):1420-1426. doi: 10.1007/s00586-014-3266-2.
16. Lee S.H., Son E.S., Seo E.M., Suk K.S., Kim K.T. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J*. 2015;15(4):705-712. doi: 10.1016/j.spinee.2013.06.059.
17. Borden A., Rechtman A., Gershon-Cohen J. The normal cervical lordosis. *Radiology*. 1960;74:806-809. doi: 10.1148/74.5.806.
18. Cobb J.R. Outline for the study of scoliosis. American Academy of Orthopaedic Surgeons. Instructional Course Lecture; 1948: 5: 621-675. Available from: [https://www.scrip.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=573326](https://www.scrip.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=573326).
19. Rechtman A., Borden A., Rechtman A., Gershon-Cohen J. The lordotic curve of the cervical spine. *Clin Orthop*. 1961;20:208-216.
20. Gore D.R., Sepic S.B., Gardner G.M. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11(6):521-524. doi: 10.1097/00007632-198607000-00003.
21. Kuntz C. 4th, Levin L.S., Ondra S.L., Shaffrey C.I., Morgan C.J. Neutral upright sagittal spinal alignment from the occiput to the pelvis in asymptomatic adults: a review and resynthesis of the literature. *J Neurosurg Spine*. 2007;6(2):104-112. doi: 10.3171/spi.2007.6.2.104.
22. Erkan S., Yercan H.S., Okcu G., Ozalp R.T. The influence of sagittal cervical profile, gender and age on the thoracic kyphosis. *Acta Orthop Belg*. 2010;76(5):675-680.
23. Blondel B., Schwab F., Ames C. et al. The crucial role of cervical alignment in regulating sagittal spino-pelvic alignment in human standing posture. Presented at the 19th International Meeting on Advanced Spinal Technologies, Istanbul, Turkey, July 18-21, 2012. Available from: <https://www.srs.org/UserFiles/file/meetings/imast2012/IM12-FINALPROGRAM.pdf>.
24. Loder R.T. The sagittal profile of the cervical and lumbosacral spine in Scheuermann thoracic kyphosis. *J Spinal Disord*. 2001;14(3):226-231. doi: 10.1097/00002517-200106000-00007.
25. Knott P.T., Mardjetko S.M., Tychy F. The use of the T1 sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine. *Spine J*. 2010;10(11):994-998. doi: 10.1016/j.spinee.2010.08.031.
26. Lee S.H., Kim K.T., Seo E.M., Suk K.S., Kwack Y.H., Son E.S. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(2):E41-47. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182396301.
27. Smith J.S., Shaffrey C.I., Lafage V., Blondel B., Schwab F., Hostin R. et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy. *J Neurosurg Spine*. 2012;17(4):300-307. doi: 10.3171/2012.6.SPINE1250.
28. Nasto L.A., Shalabi S.T., Perez-Romera A.B., Muquit S., Ghasemi A.R., Mehdiian H. Analysis of cervical sagittal alignment change following correction of thoracic and thoracolumbar Scheuermann's kyphosis. *Eur Spine J*. 2017;26(8):2187-2197. doi: 10.1007/s00586-017-5069-8.
29. Mehdiian H., Arealis G., Elsayed S. The clinical implications of radiological changes in sagittal parameters of the cervical and lumbar spine following correction of Scheuermann's kyphosis. Scoliosis Research Society. 48th Annual Meeting and Course; Lion, Franc. 2013. Final Program. p. 262. Available from: <https://www.srs.org/UserFiles/file/meetings/am13/am13-HalfDay-v11.pdf>
30. Janusz P., Tyrakowski M., Kotwicki T., Siemionow K. Cervical Sagittal Alignment in Scheuermann Disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(23):E1226-1232. doi: 10.1097/BRS.0000000000001129.
31. Paternostre F., Charles Y.P., Sauleau E.A., Steib J.P. Cervical sagittal alignment in adult hyperkyphosis treated by posterior instrumentation and in situ bending. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(1):53-59. doi: 10.1016/j.otsr.2016.10.003.
32. Nasto L.A., Perez-Romera A.B., Shalabi S.T., Quraishi N.A., Mehdiian H. Correlation between preoperative spinopelvic alignment and risk of proximal junctional kyphosis after posterior-only surgical correction of Scheuermann kyphosis. *Spine J*. 2016;16(4 Suppl):S26-33. doi: 10.1016/j.spinee.2015.12.100.
33. Tonbul M., Orhan O., Yılmaz M.R., Adaş M., Yurdođlu H.C., Altan E. Is there any correlation between the preoperative parameters and correction loss in patients operated for hyperkyphosis? *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2010;44(4):300-305. doi: 10.3944/AOTT.2010.2391.
34. Tyrakowski M., Janusz P., Mardjetko S., Kotwicki T., Siemionow K. Comparison of radiographic sagittal spinopelvic alignment between skeletally immature and skeletally mature individuals with Scheuermann's disease. *Eur Spine J*. 2015;24(6):1237-1243. doi: 10.1007/s00586-014-3595-1.

35. Cahill P.J., Steiner C.D., Dakwar E., Trobisch P.D.; Harms Study Group; Lonner B.S. et al. Sagittal Spinopelvic Parameters in Scheuermann's Kyphosis: A Preliminary Study. *Spine Deform.* 2015;3(3):267-271. doi: 10.1016/j.jspd.2014.11.001.
36. Михайловский М.В., Дюбуссе Ж.Ф. Болезнь Шойерманна. Новосибирск: Академиздат; 2022. 266 с.
- Mikhailovsky M.V., Dubusse J.F. [Scheuermann's disease]. Novosibirsk: Academizdat; 2022. 266 p. (In Russian).
37. Scheer J.K., Tang J.A., Smith J.S., Acosta F.L. Jr., Protosaltis T.S., Blondel B. et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine.* 2013;19(2):141-159. doi: 10.3171/2013.4.SPINE12838.

Сведения об авторах

✉ Михайловский Михаил Витальевич – д-р мед. наук, профессор

Адрес: Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17

<http://orcid.org/0000-0002-4847-100X>

e-mail: MMikhailovsky@niito.ru

Сергунин Александр Юрьевич

<http://orcid.org/0000-0001-6555-2007>

e-mail: Saport2010@ngs.ru

Authors' information

✉ Mikhail V. Mikhaylovskiy — Dr. Sci. (Med.), Professor

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia

<http://orcid.org/0000-0002-4847-100X>

e-mail: MMikhailovsky@niito.ru

Alexander Yu. Sergunin

<http://orcid.org/0000-0001-6555-2007>

e-mail: Saport2010@ngs.ru



Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review

Andrei M. Shershnev, Sergei Yu. Dokolin, Vladislava I. Kuzmina, Matvei O. Kutuzov, Elizaveta V. Yarets

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

Background. Irreparable anterior-superior rotator cuff tears can cause significant shoulder dysfunction due to the failure of normal biomechanics of the joint, because of the loss of compressive effect of the rotator cuff on the humeral head. Muscle-tendon transfers are an alternative to standard surgical treatment options: debridement of injured tendons, arthroscopic anchor suture, and reverse shoulder arthroplasty. Currently, several options of muscle-tendon transfers are described in the foreign literature, and there is an active discussion over the results of the already proposed techniques, and their improvements, while these techniques are practically not covered in the domestic literature.

The aim – to describe modern surgical technique options of the muscle-tendon transfers for the treatment of patients with anterior-superior rotator cuff tears based on a review of foreign literature sources.

Methods. The search for publications from 1988 to 2022 was carried out in the PubMed/MEDLINE and Google Scholar databases.

Results. Nowadays, the most common muscle-tendon transfers options for patients with anterior-superior rotator cuff tears are the sternocostal portion of the of pectoralis major tendon transfer and the latissimus dorsi tendon transfer. A review of foreign literature showed that muscle-tendon transfers are a well-described alternative to standard methods of treating profile patients with a predictable result.

Conclusion. Currently, there is no consensus on clear indications for certain types of muscle-tendon transfers in case of anterior-superior rotator cuff tears, there is a lack of data on long-term results. This determines the need of study of the long-term clinical results of use of these methods and develop an algorithm for choosing the tactics of surgical treatment of relevant patients.

Keywords: rotator cuff tear, muscle-tendon transfers, shoulder arthroscopy.

Cite as: Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V. Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):135-142. (In Russ). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2017>.

✉ *Andrei M. Shershnev*; e-mail: andreysersh@gmail.com

Submitted: 28.10.2022. Accepted: 30.11.2022. Published Online: 02.02.2023.

© Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V., 2023

Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы

А.М. Шершнева, С.Ю. Доколин, В.И. Кузьмина, М.О. Кутузов, Е.В. Ярец

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

Актуальность. Невосстановимые передневерхние разрывы вращательной манжеты могут значительно ухудшить функцию плечевого сустава из-за нарушения нормальной биомеханики сустава в связи с утратой компрессирующего действия вращательной манжеты на головку плечевой кости. Мышечно-сухожильные трансферы являются альтернативой стандартным вариантам хирургического лечения: дебридменту поврежденных сухожилий, артроскопическому якорному шву и реверсивному эндопротезированию плечевого сустава. В зарубежной литературе описано несколько вариантов мышечно-сухожильных трансферов для лечения этой патологии и ведется активное обсуждение результатов уже предложенных техник, а также их усовершенствование, в то время как в отечественной литературе данные методики практически не освещены.


Цель обзора — на основе анализа публикаций оценить современные хирургические техники мышечно-сухожильных трансферов при лечении пациентов с передневерхними разрывами вращательной манжеты плечевого сустава.


Материал и методы. Поиск публикаций осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE и Google Scholar с 1988 по 2022 г.

Результаты. В настоящее время наибольшее распространение получили мышечно-сухожильные трансферы грудинно-реберной порции сухожилия большой грудной мышцы и сухожилия широчайшей мышцы спины, которые являются альтернативой стандартным методам лечения с предсказуемым результатом.

Заключение. В настоящее время нет единого мнения о четких показаниях к тем или иным вариантам мышечно-сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава, недостаточно данных об отдаленных результатах. Это определяет необходимость изучения отдаленных клинических результатов применения данных методов и разработки алгоритма выбора тактики хирургического лечения профильных пациентов.

Ключевые слова: разрыв вращательной манжеты, мышечно-сухожильные трансферы, артроскопия плечевого сустава.

 Шершнева А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В. Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):135-142. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2017>.

 Шершнева Андрей Максимович; e-mail: andreyshersh@gmail.com

Рукопись получена: 28.10.2022. Рукопись одобрена: 30.11.2022. Статья опубликована онлайн: 02.02.2023.

© Шершнева А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В., 2023

BACKGROUND

Shoulder rotator cuff (RC) tears can have many configurations, which are classified according to the extent of damage, the involved tendons and the possibility of their repair [1, 2]. Injuries of the tendon of the subscapularis muscle may have no clinical manifestations, causing delayed treatment, resulting in retraction and fatty degeneration of the muscle belly and making the rupture irreparable [1].

The damage to the tendon of the subscapularis muscle is often associated with the damage to the tendon of the supraspinatus muscle - these injuries are called anterosuperior. In these injuries, the compressive effect of RC on the humeral head (HH) is compromised, resulting in anterosuperior translation of HH, causing pain and dysfunction of the shoulder joint [3].

Surgical treatment of patients with massive RC tears is challenging, as the high incidence of recurrent tears, ranging from 18 to 94%, the lack of engraftment after repair and the possible irreparable character of the tear lead to poor clinical outcomes of surgical treatment [4]. Surgical treatment methods used for massive irreparable RC tears include debridement of damaged tendons, partial repair, muscle-tendon transfers (MTT), reconstruction of the upper shoulder capsule, implantation of subacromial balloon spacer and reverse shoulder arthroplasty [2, 5]. MTT is an alternative for young and active patients with irreparable RC tears. In case of anterosuperior RC tears, the transfer of the tendon of the pectoralis major muscle, the transfer of the tendon of the pectoralis minor muscle and the transfer of the tendon of the latissimus dorsi muscle are used [2, 6, 7, 8].

Aim of the study – to evaluate the current variants of muscle-tendon transfers in case of anterosuperior shoulder rotator cuff tears, basing on the analysis of the foreign literature.

METHODS

Publications from 1988 to 2022 were searched in the PubMed/MEDLINE and Google Scholar databases. We used the following keywords and phrases: arthroscopy, rotator cuff, rotator cuff tear, anterosuperior rotator cuff tear, massive rotator cuff tear, irreparable rotator cuff tear,

subscapularis tendon, transfer, tendon transfer, latissimus dorsi transfer, pectoralis major transfer, pectoralis minor transfer. Forty-eight most relevant sources were selected for the analysis.

RESULTS

Surgical treatment options for anterosuperior shoulder rotator cuff tears

Surgical treatment of massive RC tears can have different objectives depending on the patient's needs, so there are different treatment techniques.

Subacromial decompression, debridement of damaged tendons and tenotomy or tenodesis of the long head of the biceps brachii are indicated in patients with low functional demands in whom the pain is the main complaint and whose shoulder function is sufficient for their daily activities [9]. Interposition techniques such as implantation of subacromial balloon spacer [10] and upper capsule reconstruction [11] aim to relieve pain and improve function restoring the biomechanics of the shoulder joint by placing the humeral head in the center of the glenoid cavity of the scapula.

Complete or partial arthroscopic suture anchor repair of RC can improve shoulder joint function and pain control [12]. The efficacy of biological factors in the treatment of patients with massive irreparable RC tears has not yet been proven [13, 14]. Use of stem cells and tendon augmentation are aimed at increasing the resistance of repaired tendons to damage and their ability to heal [15, 16].

Transposition of the tendon of the long head of the biceps brachii has been recently introduced. It is a promising alternative to the reconstruction of the upper shoulder capsule according to clinical and biomechanical studies. However, this technique is limited in patients who have already undergone a spontaneous tenotomy, so that the tendon is not available [17, 18].

The use of muscle-tendon transfers makes it possible to restore the near-normal biomechanics of the shoulder joint, reduce the pain syndrome and decelerate the progression of arthropathy, which explains the interest in these treatment methods, especially in young patients

with high functional demands. However, these interventions are difficult and require high level of surgeon's expertise, which explains very high incidence of complications in the postoperative period, including tendon tissue tears at the site of refixation (up to 38%), neurological and vascular complications [7, 19, 20].

There are five basic rules for successful muscle-tendon transfers listed in the literature. The transferring muscle must:

- have the same line of tension (force vector) as the muscle it replaces;
- have the same tension as the muscle it replaces;
- have the same excursion as the muscle it replaces;
- substitute only one function;
- have normal muscle strength [21].

Indications for muscle-tendon transfers are irreparable anterosuperior and anterior RC tears in young and active patients without osteoarthritis of the shoulder joint. Contraindications are stage III shoulder osteoarthritis, pronounced contracture of the shoulder joint, injury of the axillary nerve and brachial plexus, deltoid muscle dysfunction, infection of the surgical site, inability to follow the postoperative protocol, posteroinferior RC tears associated with the injury of the subscapularis muscle [20, 21, 22, 23, 24].

Transfer of the tendon of the pectoralis major muscle

The pectoralis major muscle adducts, flexes and rotates the upper extremity inward. It consists of two heads: clavicular and sternocostal. The clavicular head originates from the medial part of the clavicle, and the sternocostal head originates from the upper part of the sternum and from the second to fourth rib. Two heads converge near their attachment point. The sternocostal head of the muscle passes posteriorly and attaches proximally, while the clavicular head passes more superficially and attaches along the lateral edge of the bicipital sulcus [22]. The main source of blood supply is the pectoral branch of the thoracoacromial artery. Lateral and medial pectoral nerves innervate the muscle. They enter the muscle at an average distance of 12.5 and 11.9 cm from the tendon attachment site, respectively [22]. The pectoralis major muscle can be considered a good option for performing a muscle-tendon transfer

in case of anterosuperior RC tear, because it has adequate mobility potential and similar function to that of the tendon of the subscapularis muscle. However, from the biomechanical point of view, the pectoralis major muscle has a different vector comparing to that of the subscapularis due to its location in front of the chest wall, while the subscapularis is to the back [23].

In the literature, the transfer of the tendon of the pectoralis major muscle is considered the most popular intervention from the group of muscle-tendon transfers for the treatment of patients of the studied profile [21, 24, 25, 26, 27]. This technique was first suggested by C. Gerber in 1996, after that many variants of its performance were described. In some cases, the tendon of the sternocostal portion of the pectoralis major muscle is used, in others - that of the clavicular portion, in the rest - the entire tendon. Variants of positioning the transferred tendon anteriorly and posteriorly from the combined tendon of the coracobrachial muscle and the tendon of the short head of the biceps brachii muscle are under discussion [28, 29, 30, 31, 32].

It is more biomechanically advantageous to place the transferred tendon of the pectoralis major muscle posterior to the combined tendon because this position brings the traction vector closer to the vector of the subscapularis muscle. However, this position is more dangerous in terms of anatomy due to the risk of injury to the musculocutaneous nerve [1, 25, 33]. It should be noted that, according to a systematic review, only in two out of 195 cases, the surgeries were associated with neurological complications [33].

B. Elhassan et al. described in their study, published in 2008, the technique of transposition of the tendon of the sternocostal portion of the pectoralis major muscle under its clavicular portion. This technique provides the approximation of the traction vector to that of the subscapularis muscle without the risk of damaging the musculocutaneous nerve [26]. Today, this technique is the most common in surgical practice.

Regardless of the used transfer technique of the tendon of the pectoralis major muscle, significant pain reduction occurs and good results are achieved according to the patient's subjective assessment scales. However, unsatisfactory functional results, particularly the limitation of internal rotation, are observed in the long term [23, 24, 34, 35, 36].

Complications of performing the tendon transfer of the pectoralis major muscle include axillary deep vein thrombosis, residual pain at the attachment site of the pectoralis major muscle, anterior subluxation of the head of the humerus and musculocutaneous and axillary nerve dysfunction. The complication rate is about 10% [33, 34, 35, 36].

Transfer of the tendon of the pectoralis minor muscle

The pectoralis minor muscle usually originates from the third to fifth rib and attaches to the coracoid process. It stabilizes the shoulder and lowers, rotates down and inward the scapula or tilts it forward [37].

In 1997, M.A. Wirth and C.A. Rockwood Jr. were the first to describe the transfer of the pectoralis minor muscle to the lesser tubercle [38], but the results of this technique were published along with other methods without further stratification [6].

In 2013, P. Paladini et al. published the results of 27 transpositions of the tendon of the pectoralis minor muscle to the lesser tubercle along with a small cortical portion of the coracoid process to treat patients with irreparable anterosuperior RC tears. Two years after the surgery, there was no neurological damage, and the Constant Score improved significantly, by an average of 41 points ($p < 0.001$), although the muscle strength score did not increase significantly. Overall, 78% of patients returned to their daily activities. It is worth noting that the mean extent of loss in external rotation was only 11° , and only 22% of patients still had positive belly-press test [39].

In 2017, M. Cartaya et al. described arthroscopic transfer of this tendon with promising short-term results. However, the authors used this method to treat patients with Lafosse grade III subscapularis muscle injury, while grade IV and V were considered as contraindications for this procedure [40]. According to this study, the pectoralis minor muscle, due to its anatomical position and function, is a good candidate for internal rotation repair, as it has:

- better force vector compared to the pectoralis major muscle;
- adequate tendon excursion, which, in contrast to the pectoralis major muscle, is more similar to that of the subscapularis muscle [41];

- no excessive muscle tension after the performed transfer;
- minimal impact and damage to the surrounding tissues.

Despite the fact that the good short-term clinical and functional results have been reported in published studies, there are currently no reports confirming these results in the long term. In this regard, the transfer of the tendon of the pectoralis minor muscle remains an understudied and uncommon variant for muscle-tendon transfers in case of anterosuperior RC tears.

Transfer of the tendon of the latissimus dorsi muscle

The latissimus dorsi is a large fan-shaped muscle, which originates from the iliac crest, the thoracolumbar fascia and the spinous processes of the lower thoracic and lumbar vertebrae. It is attached medial to the pectoralis major muscle along the crest of the lesser tubercle of the humerus and lateral and proximal to the teres major muscle on the humerus. Its neurovascular supply comes from the thoracodorsal artery and thoracodorsal nerve [42, 43]. An anatomical study conducted by A.D. Pearle et al. in 2006 showed that the size of the safe corridor for mobilization of the latissimus dorsi muscle was 13 cm, as the thoracodorsal neurovascular bundle enters the latissimus dorsi at this level. This study also determined the relationship between the transferred tendon and the posterior branch of the axillary nerve, that once again points out the importance of an adequate formation of the posterior safe corridor for the transferred tendon [43]. The axillary and radial nerves are closest to the attachment point of the tendon of the latissimus dorsi when the arm is flexed, and farthest when the arm is rotated inward. This fact is especially important when harvesting the tendon from the point of attachment to the humerus [42, 43].

The transfer of the tendon of the latissimus dorsi is a common variant of muscle-tendon transfers for surgical correction of the studied pathology. The technique of the transfer of the tendon of the latissimus dorsi together with the teres major was originally described by J.B. L'Episcopo in 1934 and was used to correct active external rotation disorder in patients with Erb-Duchenne palsy [44]. Then, in 1988, C. Gerber et al. applied and described the trans-

position of the tendon of the latissimus dorsi as a method to restore active external rotation in patients with irreparable posterolateral rotator cuff tears [45]. Due to the development of arthroscopic surgery of the shoulder joint E. Gervasi et al. described an arthroscopic-assisted tendon transposition of the latissimus dorsi muscle (ATTLDM) in 2007 [46]. Later, this technique received several modifications, and in 2015 B. Elhassan described the technique of anterior arthroscopic-assisted transposition of the tendon of the latissimus dorsi for the treatment of patients with anterolateral RC injuries [47]. In terms of biomechanics, this intervention is more preferable than the tendon transfer of the pectoralis minor muscle because the traction vector of the latissimus dorsi coincides to a greater extent with that of the subscapularis muscle [21, 24, 48]. Published anatomical study proved the safety of the tendon transfer of the latissimus dorsi in regard to the neurovascular structures located at the surgical site [47]. The data have been published on the high incidence of postoperative tears of the thin and short (less than 2 mm thick and with an average length of 6 cm) tendon of the latissimus dorsi from the point of attachment on the humerus along and in the place of the tendon-muscle transition (from 5.5% to 38%), which is associated with the features of the tendon and improper choice of the point of attachment, as this may lead to the guillotine effect or the killer turn effect [49]. According to different authors, in the average follow-up period, the patients after the transfer of the tendon of the latissimus dorsi report a significant pain decrease, an improvement of the shoulder joint function, an excellent subjective assessment of intervention as well as an increase in internal rotation in comparison with the transfer of the tendon of the pectoralis minor muscle [20, 25, 27, 28, 48, 49]. Despite the fact that nowadays the literature does not contain many data on the long-term results of arthroscopic-assisted tendon transfer of the latissimus dorsi, this method seems to be quite promising.

CONCLUSION

The data obtained from the literature analysis indicate that the application of muscle-tendon transfers in case of anterolateral rotator cuff injuries is rather promising. The most frequently used and studied are the transfer of the pectoralis major muscle and the transfer of the tendon of the latissimus dorsi muscle. Despite the fact that the studied literature could not fully differentiate the indications for various surgical options, the promising results of application of these techniques point out the necessity of their further study and implementation into the national surgical practice. More detailed assessment of mid-term and long-term clinical results of application of these surgical techniques and the development of patient treatment algorithms are required.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Resch H., Povacz P., Ritter E., Matschi W. Transfer of the pectoralis major muscle for the treatment of irreparable rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(3):372-382. doi: 10.2106/00004623-200003000-00008.
2. Omid R., Lee B. Tendon transfers for irreparable rotator cuff tears. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(8):492-501. doi: 10.5435/JAAOS-21-08-492.
3. Kany J., Guinand R., Croutzet P., Valenti P., Werthel J.D., Grimberg J. Arthroscopic-assisted latissimus dorsi transfer for subscapularis deficiency. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016;26(3):329-334. doi: 10.1007/s00590-016-1753-3.

4. Yamamoto A., Takagishi K., Osawa T., Yanagawa T., Nakajima D., Shitara H. et al. Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(1):116-120. doi: 10.1016/j.jse.2009.04.006.
5. Cvetanovich G.L., Waterman B.R., Verma N.N., Romeo A.A. Management of the Irreparable Rotator Cuff Tear. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(24):909-917. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00199.
6. Checchia C., Domos P., Grimberg J., Kany J. Current Options in Tendon Transfers for Irreparable Rotator Cuff Tears. *JBJS Rev.* 2019;7(2):e6. doi: 10.2106/JBJS.RVW.18.00044.
7. Cartucho A. Tendon transfers for massive rotator cuff tears. *EFORT Open Rev.* 2022;7(6):404-413. doi: 10.1530/EOR-22-0023.
8. Adam J.R., Nanjayan S.K.T., Johnson M., Rangan A. Tendon transfers for irreparable rotator cuff tears. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;17:254-260. doi: 10.1016/j.jcot.2021.03.021.
9. Walch G., Edwards T.B., Boulahia A., Nové-Josserand L., Neyton L., Szabo I. Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(3):238-246. doi: 10.1016/j.jse.2004.07.008.
10. Senekovic V., Poberaj B., Kovacic L., Mikek M., Adar E., Dekel A. Prospective clinical study of a novel biodegradable sub-acromial spacer in treatment of massive irreparable rotator cuff tears. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23(3):311-316. doi: 10.1007/s00590-012-0981-4.
11. Mihata T., Lee T.Q., Watanabe C., Fukunishi K., Ohue M., Tsujimura T. et al. Clinical results of arthroscopic superior capsule reconstruction for irreparable rotator cuff tears. *Arthroscopy.* 2013;29(3):459-470. doi: 10.1016/j.arthro.2012.10.022.
12. Shon M.S., Koh K.H., Lim T.K., Kim W.J., Kim K.C., Yoo J.C. Arthroscopic Partial Repair of Irreparable Rotator Cuff Tears: Preoperative Factors Associated With Outcome Deterioration Over 2 Years. *Am J Sports Med.* 2015;43(8):1965-1975. doi: 10.1177/0363546515585122.
13. Randelli P., Arrigoni P., Ragone V., Aliprandi A., Cabitza P. Platelet rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a prospective RCT study, 2-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011;20(4):518-528. doi: 10.1016/j.jse.2011.02.008.
14. Castricini R., Longo U.G., De Benedetto M., Panfoli N., Pirani P., Zini R. et al. Platelet-rich plasma augmentation for arthroscopic rotator cuff repair: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2011;39(2):258-265. doi: 10.1177/0363546510390780.
15. Ahmad Z., Henson F., Wardale J., Noorani A., Tytherleigh-Strong G., Rushton N. Review article: Regenerative techniques for repair of rotator cuff tears. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2013;21(2):226-231. doi: 10.1177/230949901302100223.
16. Isaac C., Gharaibeh B., Witt M., Wright V.J., Huard J. Biologic approaches to enhance rotator cuff healing after injury. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012;21(2):181-190. doi: 10.1016/j.jse.2011.10.004.
17. Berthold D.P., Muench L.N., Dyrna F., Scheiderer B., Obopilwe E., Cote M.P. et al. Comparison of Different Fixation Techniques of the Long Head of the Biceps Tendon in Superior Capsule Reconstruction for Irreparable Posterolateral Rotator Cuff Tears: A Dynamic Biomechanical Evaluation. *Am J Sports Med.* 2021;49(2):305-313. doi: 10.1177/0363546520981559.
18. Kocaoglu B., Firatli G., Ulku T.K. Partial Rotator Cuff Repair With Superior Capsular Reconstruction Using the Biceps Tendon Is as Effective as Superior Capsular Reconstruction Using a Tensor Fasciae Latae Autograft in the Treatment of Irreparable Massive Rotator Cuff Tears. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(6):2325967120922526. doi: 10.1177/2325967120922526.
19. Reinares F., Calvo A., Reyes J.T., Moreno J.L., Paccot D. Arthroscopy-Assisted Latissimus Dorsi Transfer for Irreparable Subscapularis Tears. *Arthrosc Tech.* 2020;10(1):49-e53. doi: 10.1016/j.eats.2020.09.008.
20. Kany J., Grimberg J., Amaravathi R.S., Sekaran P., Scorpie D., Werthel J.D. Arthroscopically-assisted latissimus dorsi transfer for irreparable rotator cuff insufficiency: modes of failure and clinical correlation. *Arthroscopy.* 2018;34(4):1139-1150. doi: 10.1016/j.arthro.2017.10.052.
21. Kany J. Tendon transfers in rotator-cuff surgery. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(1S):S43-S51. doi: 10.1016/j.jse.2020.06.002.
22. Klepps S.J., Goldfarb C., Flatow E., Galatz L.M., Yamaguchi K. Anatomic evaluation of the subcoracoid pectoralis major transfer in human cadavers. *J Shoulder Elb Surg.* 2001;10(5):453-459. doi: 10.1067/mse.2001.117125.
23. Ernstbrunner L., Wieser K., Catanzaro S., Agten C.A., Fornaciari P., Bauer D.E. et al. Long-term outcomes of pectoralis major transfer for the treatment of irreparable subscapularis tears: results after a mean follow-up of 20 years. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(23):2091-2100. doi: 10.2106/JBJS.19.00172.
24. Burnier M., Lafosse T. Pectoralis Major and Anterior Latissimus Dorsi Transfer for Subscapularis Tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020;13(6):725-733. doi: 10.1007/s12178-020-09674-4.
25. Clark N.J., Elhassan B.T. The Role of Tendon Transfers for Irreparable Rotator Cuff Tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(1):141-149. doi: 10.1007/s12178-018-9468-1.
26. Elhassan B.T., Ozbaydar M., Massimini D., Diller D., Higgins L., Warner J.J.P. Transfer of pectoralis major for the treatment of irreparable tears of subscapularis: DOES IT WORK? *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(8):1059-1065. doi: 10.1302/0301-620X.90B8.20659.
27. Elhassan B.T., Wagner E.R., Kany J. Latissimus dorsi transfer for irreparable subscapularis tear. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(10):2128-2134. doi: 10.1016/j.jse.2020.02.019.
28. Luo Z., Lin J., Sun Y., Zhu K., Wang C., Chen J. Outcome Comparison of Latissimus Dorsi Transfer and Pectoralis Major Transfer for Irreparable Subscapularis Tendon Tear: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2022;50(7):2032-2041. doi: 10.1177/03635465211018216.
29. Gerber C., Hersche O., Farron A. Isolated rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(7):1015-1023. doi: 10.2106/00004623-199607000-00005.

30. Klepps S.J., Goldfarb C., Flatow E., Galatz L.M., Yamaguchi K. Anatomic evaluation of the subacromial pectoralis major transfer in human cadavers. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10:453-459. doi: 10.1067/mse.2001.117125.
31. Wirth M.A., Rockwood C.A. Operative treatment of irreparable rupture of the subscapularis. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(5):722-731. doi: 10.2106/00004623-199705000-00012.
32. Konrad G.G., Sudkamp N.P., Kreuz P.C., Jolly J.T., McMahon P.J., Debski R.E. Pectoralis major tendon transfers above or underneath the conjoint tendon in subscapularis-deficient shoulders. An in vitro biomechanical analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(11):2477-2484. doi: 10.2106/JBJS.F.00811.
33. Shin J.J., Saccomanno M.F., Cole B.J., Romeo A.A., Nicholson G.P., Verma N.N. Pectoralis major transfer for treatment of irreparable subscapularis tear: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1951-1960. doi: 10.1007/s00167-014-3229-5.
34. Gavriilidis I., Kircher J., Magosch P., Lichtenberg S., Habermeyer P. Pectoralis major transfer for the treatment of irreparable anterosuperior rotator cuff tears. *Int Orthop.* 2010;34(5):689-694. doi: 10.1007/s00264-009-0799-9.
35. Moroder P., Schulz E., Mitterer M., Plachel F., Resch H., Lederer S. Long-term outcome after pectoralis major transfer for irreparable anterosuperior rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(3):239-245. doi: 10.2106/JBJS.16.00485.
36. Jost B., Gerber C. Pectoralis major transfer for subscapularis insufficiency. *Tech Shoulder Elbow Surg.* 2004;5(3):157-164. doi: 10.1097/01.bte.0000135966.61724.1f.
37. Lambert S. Shoulder girdle and arm. In: Standring S. (ed) *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice.* 41st edn. London: Elsevier; 2015. p. 797-836.
38. Wirth M.A., Rockwood C.A. Jr. Operative treatment of irreparable rupture of the subscapularis. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(5):722-731. doi: 10.2106/00004623-199705000-00012.
39. Paladini P., Campi F., Merolla G., Pellegrini A., Porcellini G. Pectoralis minor tendon transfer for irreparable anterosuperior cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(6):e1-5. doi: 10.1016/j.jse.2012.12.030.
40. Cartaya M., Werthel J.D., Valenti P. Arthroscopic-Assisted Pectoralis Minor Transfer for Irreparable Tears of the Upper Two-thirds of the Subscapularis Tendon: Surgical Technique. *Arthrosc Tech.* 2017;6(5):e1501-e1505. doi: 10.1016/j.eats.2017.06.010.
41. Herzberg G., Urien J.P., Dimnet J. Potential excursion and relative tension of muscles in the shoulder girdle: Relevance to tendon transfer. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999;8:430-437. doi: 10.1016/s1058-2746(99)90072-1.
42. Buijze G.A., Keereweer S., Jennings G., Vorster W., Debeer J. Musculotendinous transfer as a treatment option for irreparable posterosuperior rotator cuff tears: teres major or latissimus dorsi? *Clin Anat.* 2007;20(8):919-923. doi: 10.1002/ca.20547.
43. Pearle A.D., Kelly B.T., Voos J.E., Chehab E.L., Warren R.F. Surgical technique and anatomic study of latissimus dorsi and teres major transfers. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(7):1524-1531. doi: 10.2106/JBJS.E.00426.
44. L'Episcopo J. Tendon transplantation on obstetrical paralysis. *Am J Surg.* 1934;25(1):122-125.
45. Gerber C., Vinh T.S., Hertel R., Hess C.W. Latissimus dorsi transfer for the treatment of massive tears of the rotator cuff. A preliminary report. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(232):51-61.
46. Gervasi E., Causero A., Parodi P.C., Raimondo D., Tancredi G. Arthroscopic latissimus dorsi transfer. *Arthroscopy.* 2007;23(11):1243.e1-4. doi: 10.1016/j.arthro.2006.12.021.
47. Elhassan B.T. Feasibility of latissimus and teres major transfer to reconstruct irreparable subscapularis tendon tear: an anatomic study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(4):e102-103. doi: 10.1016/j.jse.2014.12.035.
48. Kany J., Grimberg J., Amaravathi R.S., Sekaran P., Scorpie D., Werthel J.D. Arthroscopically-assisted latissimus dorsi transfer for irreparable rotator cuff insufficiency: modes of failure and clinical correlation. *Arthroscopy.* 2018;34(4):1139-1150. doi: 10.1016/j.arthro.2017.10.052.

Authors' information

✉ Andrei M. Shershnev

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

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>

e-mail: andreysersh@gmail.com

Sergei Yu. Dokolin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>

e-mail: sdokolin@gmail.com

Vladislava I. Kuzmina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>

e-mail: tasha_777@bk.ru

Matvei O. Kutuzov

<https://orcid.org/0000-0001-8746-5414>

e-mail: kutuzovsky1995@gmail.com

Elizaveta V. Yarets

<https://orcid.org/0000-0002-3000-2344>

e-mail: yaretclica@mail.ru

Персоналии
УДК 61(092)
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>



СЕРГЕЙ СТЕПАНОВИЧ ТКАЧЕНКО К 100-летию со дня рождения

18 июля 2023 года исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося травматолога-ортопеда, ученого, педагога, организатора военного здравоохранения, доктора медицинских наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР, члена-корреспондента Академии медицинских наук СССР, генерал-майора медицинской службы Сергея Степановича Ткаченко.

Ключевые слова: травматология и ортопедия, история медицины.

Personalities
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>



SERGEI S. TKACHENKO To the 100th Anniversary of the Birth

July 18, 2023 marks the 100th anniversary of the birth of an outstanding orthopedic traumatologist, scientist, teacher, organizer of military healthcare, Doctor of Medical Sciences, professor, laureate of the USSR State Prize, corresponding member of the Academy of Medical Sciences of the USSR, Major General of the medical service Sergei Stepanovich Tkachenko.

Keywords: traumatology and orthopedics, history of medicine.

Сергей Степанович Ткаченко родился 18 июля 1923 г. в г. Ростове-на-Дону. После окончания средней школы в самом начале Великой Отечественной войны он добровольно вступил в ряды Красной Армии и был направлен на учебу в Куйбышевскую военно-медицинскую академию, а в 1943 г. переведен в Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова. После окончания академии проходил службу на кафедре ортопедии, где занимал должности врача-рентгенолога, старшего ординатора, преподавателя, старшего преподавателя, заместителя начальника кафедры, а с 1969 г. — начальника кафедры травматологии и ортопедии. В 1953 г. Сергей Степанович защитил кандидатскую диссертацию на тему «Внутрикостная анестезия при операциях на конечностях», а в 1963 г. — докторскую диссертацию «Костная гомопластика».

В 1960 г. С.С. Ткаченко было присвоено ученое звание доцента, в 1964 г. — профессора. В 1979 г. С.С. Ткаченко присвоено звание генерал-майора медицинской службы.

Благодаря его усилиям в 1970 г. на основании директивы начальника ЦВМУ МО СССР были созданы травматологические отделения в окружных госпиталях. Эта дата считается годом основания травматологической службы Вооруженных сил СССР. В 1973 г. С.С. Ткаченко был назначен главным травматологом МО СССР. По инициативе С.С. Ткаченко в 1973 г. на 1-м факультете ВМедА была организована плановая подготовка военных травматологов-ортопедов со сроком обучения 2 года. В 1974 г. возглавляемая профессором С.С. Ткаченко кафедра травматологии и ортопедии получила наименование «военная».

📖 Хоминец В.В. Сергей Степанович Ткаченко. К 100-летию со дня рождения. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):143-146. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>.

Cite as: Khominets V.V. Sergei S. Tkachenko. To the 100th Anniversary of the Birth. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):143-146. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>.

✉ Хоминец Владимир Васильевич / Vladimir V. Khominets; e-mail: vkhominets@yandex.ru

Рукопись получена: 21.02.2023. Статья опубликована: 14.03.2023.
Submitted: 21.02.2023. Published: 14.03.2023.

© Хоминец В.В., 2023
© Khominets V.V., 2023



Именно в должности начальника кафедры раскрылся организаторский, научный и педагогический потенциал Сергея Степановича Ткаченко. Под его руководством кафедра уделяла пристальное внимание организации травматологической службы в армии, разработке организационных основ профилактики травматизма в войсках, внедрению в практику современных методов лечения боевых повреждений, оснащению отделений и подготовке кадров военных травматологов-ортопедов. Регулярно проводились сборы главных травматологов округов и флотов, на которых обсуждали организационные и клинические проблемы оказания помощи пострадавшим от травм, а также вопросы лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Для медицинской службы ВС СССР были изданы различные методические пособия и инструкции.

Десятилетний период боевых действий в Афганистане (1979–1989) стал непростым испытанием как для личного состава кафедры, так и для всей травматологической службы ВС СССР. С первых дней войны в Окружной госпиталь ТуркВО в Ташкенте, в Кабульский армейский госпиталь и Центральный госпиталь Афганской армии Сергеем Степановичем были направлены преподаватели кафедры в качестве консультантов или начальников травматологических отделений. Помимо лечения раненых военнослужащих, сотрудниками кафедры был выполнен большой объем научно-исследовательской работы, предло-

жены и внедрены новейшие методы лечения боевой травмы, в частности огнестрельных переломов костей и ранений суставов, апробированы новые виды медицинской техники. На основании постоянного и скрупулезного анализа организации оказания травматологической помощи в этот период были изданы «Методические указания по этапному лечению раненных в конечности». Пристальное внимание С.С. Ткаченко уделял организации медицинской реабилитации раненых. При его активном участии на базе Сакского военного санатория был создан центр восстановительного лечения с операционным блоком, в котором помощь получили более 8 тыс. военнослужащих, получивших боевую хирургическую травму в Афганистане.

Диапазон научной деятельности Сергея Степановича весьма широк. Его исследования, посвященные внутрикостной анестезии, костной пластике, комбинированным поражениям, оптимизации репаративной регенерации костной ткани, разработке методов лечения переломов костей и их осложнений, патологии позвоночника и тазобедренного сустава, не утратили своей актуальности до сих пор.

Одна из первых научных работ С.С. Ткаченко в соавторстве с проф. И.Л. Крупко и проф. А.В. Воронцовым была направлена на теоретическую разработку и внедрение в практику метода внутрикостной анестезии. Особое место в исследованиях С.С. Ткаченко занимает проблема остеосинтеза. Им в 1980-х гг. были сформулированы основные принципы внутреннего остеосинтеза, а также предложено большое количество оригинальных металлоконструкций. С.С. Ткаченко в соавторстве с проф. В.М. Демьяновым разработали новую пластину для остеосинтеза, в которой за счет особой овальной формы отверстий с заданным направлением была реализована возможность динамической компрессии в зоне перелома. Данный принцип широко используется во многих современных имплантатах для остеосинтеза. В клинике военной травматологии и ортопедии активно внедрялся метод Илизарова, а также широко использовали конструкции для чрескостного остеосинтеза собственной разработки, в т.ч. аппарат, предложенный самим С.С. Ткаченко.

Опередившими свое время считают фундаментальные научные труды проф. С.С. Ткаченко по биомеханике и электрофизиологии костной ткани, выполненные в соавторстве с проф. В.В. Руцким и посвященные электростимуляции остеорепарации.

В сфере научных интересов проф. С.С. Ткаченко на протяжении всей карьеры неизменно оставалась проблема лечения раненых с боевой хирургической травмой конечностей. С 1976 по 1991 г. сотрудниками кафедры под руководством Сергея

Степановича были успешно проведены научные исследования, посвященные терминальной баллистике, лечению пострадавших с повреждениями высокоскоростными ранящими снарядами длинных костей и крупных суставов конечностей, оказанию им помощи на этапах медицинской эвакуации. Несомненно, одним из наиболее значимых результатов данных исследований стало обоснование и внедрение в практику военной медицины метода стабилизации переломов аппаратами внешней фиксации в процессе оказания помощи раненым в конечности.

В 1971 г. по инициативе С.С. Ткаченко в клинике военной травматологии и ортопедии было организовано отделение костной гнойной хирургии. Это направление традиционно считается одним из наиболее сложных и трудоемких в травматологии и ортопедии. В результате выполненных научных работ обоснована система комплексного лечения пациентов с остеомиелитом костей конечностей, предполагающая, помимо традиционных местных воздействий на гнойную костно-мышечную рану, коррекцию иммунного и нутриционного статуса. Хирургические аспекты исследований включали разработку способов пластики остеомиелитических полостей биологическими и синтетическими материалами, методик реконструктивных операций при дефектах костей конечностей. Предложены физические методы обработки гнойных ран, такие как терапия отрицательным давлением (вакуумирование), ультразвуковая обработка, инфракрасная лазеротерапия, доказана высокая эффективность применения оксигенотерапии. Создание специализированного отделения и проведенные исследования значительно улучшили результаты лечения пациентов с огнестрельным остеомиелитом, включая раненых из зоны боевых действий в Афганистане.

Бесспорно, заслуживают внимания исследования С.С. Ткаченко, посвященные костной гомопластике для замещения значительных дефектов длинных костей конечностей и проксимального суставного конца бедренной кости.

В вопросе замещения суставных концов костей при посттравматических и деформирующих артрозах приоритет был отдан эндопротезированию. Первые операции профессором С.С. Ткаченко были выполнены с использованием связанного цельнометаллического протеза тазобедренного сустава, предложенного К.М. Сивашом. В последующем для тотального эндопротезирования тазобедренного сустава применялись двухкомпонентные протезы отечественной разработки.

Обладая развитым перспективным мышлением, С.С. Ткаченко одним из первых в Ленинграде оценил широкие перспективы эндоскопических

методик при лечении патологии крупных суставов и активно способствовал внедрению артроскопии коленного сустава в повседневную практику клиники военной травматологии и ортопедии.

С.С. Ткаченко разработал оригинальные способы хирургического лечения дегенеративной и посттравматической нестабильности плечевого и коленного суставов. Относительно простая в техническом отношении операция по трансферу (перемещению) сухожилия длинной головки *m. biceps* в расщеп сухожилия подлопаточной мышцы с целью укрепления переднего отдела капсулы плечевого сустава долгое время оставалась золотым стандартом лечения передней нестабильности и привычного вывиха плеча не только в лечебных учреждениях Министерства обороны.

Важнейшим разделом, без которого невозможно представить современную медицину, является реконструктивная и пластическая хирургия. У истоков его становления в нашей стране находились профессора С.С. Ткаченко и А.Е. Белоусов. При клинике военной травматологии и ортопедии для проведения фундаментальных исследований и тренировки специальных хирургических навыков была организована микрохирургическая лаборатория. В арсенал хирургических вмешательств успешно вошли новаторские операции по реплантации пальцев, кистей рук, пересадки комплексов тканей и др.

Трудно переоценить тот весомый вклад, который внес С.С. Ткаченко в развитие вертебурологии. Сергей Степанович изобрел оригинальную металлоконструкцию — стяжку «специальную», или стяжку Ткаченко. Он первым в СССР предложил устанавливать крюки этой металлоконструкции за пластинчатую часть дужки в эпидуральное пространство. Задняя внутренняя фиксация позвоночника стяжкой С.С. Ткаченко давала возможность оперирующему хирургу рано активизировать пациента, ставить его на ноги и разрешать ходить уже на следующий день после операции. Для своего времени данный принцип фиксации позвоночника был поистине революционным, а в наши дни реализован при использовании самых современных вертебральных «крючковых» систем. Не менее важным достижением является внедрение в повседневную практику двухэтапного метода лечения «взрывных» оскольчатых переломов тел позвонков, который объединил возможности задней фиксации позвоночника и вентрального спондилодеза, обеспечивающего полноценное восстановление передней опорной вертебральной колонны. Разработанный в соавторстве с Н.М. Ястребковым дистрактор, имеющий, в отличие от оригинальной конструкции Харрингтона с храповым механизмом, резьбовую рабочую часть, позволил осуществлять более плавную кор-

рекцию сколиотических деформаций позвоночника и избегать нарушений кровоснабжения спинного мозга.

Сергей Степанович является автором и соавтором более 500 научных работ, в т.ч. 22 монографий и учебников. Некоторые работы С.С. Ткаченко, напечатанные в отечественных журналах, были представлены в виде рефератов в известных англоязычных периодических изданиях.

Профессор С.С. Ткаченко был активным изобретателем и рационализатором. Им было получено 47 авторских свидетельств на изобретения и внедрено более 170 рационализаторских предложений. За многолетний плодотворный труд в области изобретательства и рационализации профессор С.С. Ткаченко в 1989 г. был удостоен почетного звания «Заслуженный изобретатель РСФСР».

Помимо научной работы, С.С. Ткаченко уделял большое внимание учебному процессу. На академических курсах усовершенствования медицинского состава, помимо групп, изучавших общие вопросы военной травматологии и ортопедии, были основаны тематические циклы обучения. Также проходили специальную подготовку группы главных травматологов округов и флотов, преподавателей кафедр травматологии, ортопедии с курсом военно-полевой хирургии высших медицинских учебных заведений страны, врачей военных санаториев по восстановительному лечению последствий повреждений и заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Профессор С.С. Ткаченко является основателем научной школы военных травматологов-ортопедов. Под его руководством защищено 12 докторских и 40 кандидатских диссертаций. С.С. Ткаченко воспитал целую плеяду выдающихся травматологов-ортопедов, среди них Р.М. Тихилов (д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН), А.Е. Белоусов (д.м.н., профессор, лауреат Государственной пре-

мии СССР), В.С. Дедушкин (д.м.н., профессор), В.М. Шаповалов (д.м.н., профессор), А.И. Грицанов (д.м.н., профессор), А.К. Дулаев (д.м.н., профессор) и многие другие.

За время своей многолетней и плодотворной работы Сергей Степанович был удостоен большого числа наград и почетных званий. В 1976 г. он был награжден медалью Н.И. Пирогова АМН СССР и почетным знаком «За заслуги в области высшего образования СССР», избран действительным членом Международной ассоциации травматологов и ортопедов (SICOT). В 1977 г. за экспериментальное обоснование, клиническую разработку и внедрение в практику метода пересадок крупных аллотрансплантатов он был удостоен Государственной премии СССР. Профессор С.С. Ткаченко был членом Научного совета по травматологии и ортопедии при президиуме РАМН и Научного совета по биомеханике РАН, членом президиума Общества травматологов-ортопедов СССР. В журнале «Ортопедия, травматология и протезирование» возглавлял редакционную коллегию, а в журналах «Анналы травматологии и ортопедии», «Травматология и ортопедия России» входил в ее состав. В декабре 1986 г. С.С. Ткаченко был избран членом-корреспондентом Академии медицинских наук СССР.

За 47 лет безупречной службы в Вооруженных силах СССР генерал-майор медицинской службы С.С. Ткаченко награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Знак Почета», медалями «За боевые заслуги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и многими ведомственными медалями.

В 1989 г. С.С. Ткаченко был уволен в отставку, но продолжал трудиться на родной кафедре в должности профессора. Умер Сергей Степанович 26 июля 1997 г. в Санкт-Петербурге, проработав на кафедре 49 лет. Похоронен на академической площадке Богословского кладбища.

Хоминец Владимир Васильевич

д-р мед. наук, профессор
начальник кафедры и клиники военной травматологии и ортопедии
Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова