

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



# ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY  
AND ORTHOPEDICS  
OF RUSSIA

2024 • Т. 30 • № 4

---

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

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

# Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 30, N 4, 2024

QUARTERLY SCIENTIFIC AND PRACTICAL PEER-REVIEWED JOURNAL

Journal founded in 1993

## FOUNDERS

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

## PUBLISHER

Eco-Vector  
Address: 3A, Aptekarskiy lane, office 1N,  
St. Petersburg, 191186, Russia  
e-mail: [info@eco-vector.com](mailto: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](mailto:journal@rniito.org)  
<https://journal.rniito.org>  
Phone: +7(812)670-86-84

## INDEXING

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

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

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



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

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

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

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

## Editor-in-Chief

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

## Deputy Editor-in-Chief

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

## Executive secretary

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

## EDITORIAL BOARD

*Ildar F. Akhtyamov* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kazan State Medical University, Kazan, Russia)

*Aleksey G. Baidurashvili* – Dr. Sci. (Med.), Professor (St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia)

*Igor G. Belenkiy* – Dr. Sci. (Med.) (Dzhanelidze St. Petersburg Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia)

*Mikhail V. Belov* – Cand. Sci. (Med.) (Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)

*Svetlana A. Bozhkova* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

*Dmitry Yu. Borzunov* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia)

*Vadim E. Dubrov* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

*Aleksander K. Dulaev* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Pavlov University, St. Petersburg, Russia)

*Georgiy S. Golubev* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia)

*Luigi Zagra* – MD, Professor (Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)

*Nikolai N. Kornilov* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

*Andrey V. Korolev* – Dr. Sci. (Med.), Professor (European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)

*Andrey A. Korytkin* – Cand. Sci. (Med.) (Tsviyev 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 (Clinical Hospital RAS, St. Petersburg, Russia)

*Sergey O. Ryabykh* – Dr. Sci. (Med.) (Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia)

*Leonid N. Solomin* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

*Marc Thomsen* – MD, Professor (Mittelbaden Clinics Baden-Baden Balg, Baden-Baden, Germany)

*Vladimir V. Khominets* – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)

*Robert Hube* – MD, Professor (Center of Arthroplasty, Munich, Germany)

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



# Травматология и ортопедия России

Том 30, Выпуск 4, 2024

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1993 г.

## УЧРЕДИТЕЛИ

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

## ИЗДАТЕЛЬ

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

## РЕДАКЦИЯ

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

## ИНДЕКСАЦИЯ

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

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

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



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

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

Подписано в печать 06.12.2024.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Объем 24 печ. л.

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

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

## Главный редактор

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

## Заместитель главного редактора

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

## Ответственный секретарь

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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



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

## CONTENTS

## CLINICAL STUDIES

<b>Lyubimova L.V., Pavlova S.I., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Pchelova N.N., Emelianov V.Yu.</b> The Potential Utility of Synovial C-Reactive Protein, Interleukin-6, and Presepsin in Diagnostics of Periprosthetic Joint Infection .....	5
<b>Afanasyev A.V., Bozhkova S.A., Artyukh V.A.</b> Predictors for Recurrence of Chronic Osteomyelitis Following Long Bones Cavity Defect Replacement with Synthetic Materials.....	14
<b>Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K.</b> Causes of Revision Hip Arthroplasty After Hemiarthroplasty for Femoral Neck Fracture .....	25
<b>Al-Shaer W.M., Al-Yami A.H., Al-Sayed M.A., Al-Zaidan A.M., Al-Sufyani E.R., Khalifa A.A., Al-Thaqafi R.M.M., Al-Hamyani A.H., Al-Subaie M.M.</b> Early Results of Primary Total Hip Arthroplasty Performed in Young Adults at a Regional Saudi-Arabian Orthopedics Center: A Prospective Observational Study .....	38
<b>Maiorov B.A., Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Gadoev K.K., Sergeeva M.A.</b> Different Modifications of Minimally Invasive Osteosynthesis in Pilon Fractures: Comparative Study Results.....	47
<b>Trachuk P.A., Trachuk A.P., Bogopolskiy O.E.</b> Changes in the Donor Site Following Bone-Patellar Tendon-Bone Graft Harvesting with Open or Closed Defects .....	60
<b>Santhamoorthy T., Xavier A.A., Chellamuthu L., Kaliaperumal A., Dubey D.K.</b> Bone-Patellar Tendon-Bone vs Hamstring Tendon Autograft for Anatomical Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Outcomes at a Mean Follow-Up of 8 Years .....	72
<b>Gerasimov S.A., Morozova E.A., Naida D.A., Kolmakov D.O., Zykin A.A., Khramtsova E.V.</b> Primary Repair vs Arthroscopic Reconstruction for Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: A Comparative Study.....	82
<b>Veber E.V., Zavyalov A.P., Avdeev A.I., Zhogina M.A., Smirnov S.S.</b> Outpatient Visits and Treatment Methods of Patients with Hand and Wrist Injuries in Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics .....	92

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

<b>Golnik V.N., Fedorova N.V., Larichkin A.Yu., Boyko S.V., Panchenko A.A., Kosinov A.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V.</b> Impaction Bone Grafting for Acetabular Bone Defects Replacement in Revision Hip Arthroplasty: Biomechanical Aspects.....	101
CASE REPORTS	
<b>Murylev V.Yu., Alekseev S.S., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Golubkin D.O., Muzychenkov A.V.</b> Computer-Assisted Total Bilateral Knee Arthroplasty for a Patient with Severe Hyperextension in Residual Poliomyelitis: A Case Report .....	114
<b>Abdelaal A.M., Khalifa A.A.</b> Inferior Medial Genicular Artery Pseudoaneurysm After Primary Total Knee Arthroplasty: A Case Report.....	124
<b>Kartavenko K.A., Zorin V.I., Lukyanov S.A.</b> Post-Traumatic Patellar Tendon Ossification in Children: A Case Series .....	129
<b>Bakır M., Rumeli Ş.</b> Simultaneous Bilateral Avascular Necrosis of the Humerus and Femur in Long COVID-19: A Case Report .....	140
REVIEWS	
<b>Zakirova A.R., Torgashin A.N., Rodionova S.S.</b> Use of Multipotent Mesenchymal Stromal Cells as Part of Bone Marrow Concentrate in the Complex Treatment of Aseptic Necrosis of the Femoral Head: A Systematic Review.....	146
<b>Zorin V.I., Vissarionov S.V., Makarov A.Yu., Rybinskikh T.S., Rodionova K.N.</b> Outcomes of Oncologic Arthroplasty in Children and Adolescents with Malignant Limb Tumors: A Systematic Review .....	157
<b>Shchudlo N.A., Kuttygul Sh.K., Mironov A.R.</b> Scapholunate Advanced Collapse of the Wrist: A Review .....	168
<b>Sheraliev T.U., Samokhin A.G., Tashtanov B.R., Korytkin A.A., Pavlov V.V.</b> The Potential of Phage Therapy in the Treatment of Periprosthetic Infection Caused by Multidrug-Resistant Pathogens: A Review .....	180

## СОДЕРЖАНИЕ

## КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<b>Любимова Л.В., Павлова С.И., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Пчелова Н.Н., Емельянов В.Ю.</b> Возможность использования синовиальных С-реактивного белка, интерлейкина-6 и пресепсина в диагностике перипротезной инфекции .....	5
<b>Афанасьев А.В., Божкова С.А., Артюх В.А.</b> Предикторы рецидива хронического остеомиелита при заполнении полостных дефектов длинных костей синтетическими материалами .....	14
<b>Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К.</b> Причины ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава после гемиаартропластики по поводу перелома шейки бедренной кости .....	25
<b>Аль-Шаер В.М., Аль-Ями А.Х., Аль-Саид М.А., Аль-Заидан А.М., Аль-Суфани И.Р., Халифа А.А., Аль-Такафи Р.М.М., Аль-Хамиани А.Х., Аль-Зубай М.М.</b> Ранние результаты первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у молодых пациентов в региональном ортопедическом центре Саудовской Аравии: проспективное наблюдательное исследование.....	38
<b>Майоров Б.А., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Гадоев К.К., Сергеева М.А.</b> Сравнительный анализ результатов применения различных модификаций малоинвазивного остеосинтеза при переломах пилона .....	47
<b>Трачук П.А., Трачук А.П., Богопольский О.Е.</b> Изменения в донорской зоне после забора трансплантата из связки надколенника с оставлением или закрытием дефектов .....	60
<b>Сантамурти Т., Ксавье А.А., Челламуту Л., Калиаперумал А., Дубей Д.К.</b> Сравнительные результаты анатомической реконструкции ПКС аутотрансплантатом ВТВ и аутотрансплантатом из подколенных сухожилий: средний срок наблюдения восемь лет.....	72
<b>Герасимов С.А., Морозова Е.А., Найда Д.А., Колмаков Д.О., Зыкин А.А., Храмцова Е.В.</b> Реинсерция или аутопластика передней крестообразной связки при ее проксимальных разрывах: сравнительное исследование.....	82
<b>Вебер Е.В., Завьялов А.П., Авдеев А.И., Жогина М.А., Смирнов С.С.</b> Структура обращаемости и способов лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена.....	92

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<b>Гольник В.Н., Федорова Н.В., Ларичкин А.Ю., Бойко С.В., Панченко А.А., Косинов А.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В.</b> Замещение дефектов вертлужной впадины методом импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: биомеханические аспекты .....	101
СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ	
<b>Мурyleв В.Ю., Алексеев С.С., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Голубкин Д.О., Музыченков А.В.</b> Двустороннее тотальное эндопротезирование коленных суставов с выраженной гиперэкстензией в резидуальном периоде полиомиелита с применением компьютерной навигации: клинический случай .....	114
<b>Абделаал А.М., Халифа А.А.</b> Ложная аневризма медиальной нижней коленной артерии после эндопротезирования коленного сустава: клинический случай .....	124
<b>Картавенко К.А., Зорин В.И., Лукьянов С.А.</b> Посттравматическая оссификация связки надколенника у детей: серия клинических случаев .....	129
<b>Бакыр М., Румели Ш.</b> Двусторонний аваскулярный некроз головок плечевых и бедренных костей как проявление постковидного синдрома: клинический случай .....	140
ОБЗОРЫ	
<b>Закирова А.Р., Торгашин А.Н., Родионова С.С.</b> Использование мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга в комплексном лечении асептического некроза головки бедренной кости: систематический обзор литературы.....	146
<b>Зорин В.И., Виссарионов С.В., Макаров А.Ю., Рыбинских Т.С., Родионова К.Н.</b> Исходы онкоэндопротезирования у детей и подростков при злокачественных новообразованиях конечностей: систематический обзор литературы .....	157
<b>Щудло Н.А., Куттыгул Ш.К., Миронов А.Р.</b> Ладьевидно-полулунный коллапс запястья: обзор литературы .....	168
<b>Шералиев Т.У., Самохин А.Г., Таштанов Б.Р., Корыткин А.А., Павлов В.В.</b> Возможности фаготерапии при лечении перипротезной инфекции, вызванной полирезистентными возбудителями: обзор литературы.....	180



## The Potential Use of Synovial C-Reactive Protein, Interleukin-6, and Presepsin in Diagnosing Periprosthetic Joint Infection

Lyudmila V. Lyubimova<sup>1</sup>, Svetlana I. Pavlova<sup>1,2</sup>, Nikolay S. Nikolaev<sup>1,2</sup>, Evgeniy A. Lyubimov<sup>1</sup>, Nadezhda N. Pchelova<sup>1</sup>, Vladimir Yu. Emelianov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary), Cheboksary, Russia

<sup>2</sup> Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

### Abstract

**Background.** Diagnosing infectious complications in joint replacement surgery remains a significant challenge, particularly when microbiological analysis of biological material fails to reveal pathogen growth.

**The aim of the study** was to determine threshold values for C-reactive protein, interleukin-6, and presepsin levels, and to assess their diagnostic value in detecting periprosthetic joint infection.

**Methods.** A prospective cohort single-center blinded study was conducted involving cases of revision arthroplasty for periprosthetic joint infection (PJI) and aseptic prosthetic loosening. The study included 66 patients divided into two groups: Group 1 (n = 17), with confirmed PJI using the 2018 ICM criteria, and Group 2 (n = 49), with aseptic prosthetic loosening. Synovial fluid samples were subjected to bacteriological and cytological analysis, measuring levels of C-reactive protein (CRP), presepsin, and interleukin-6 (IL-6). ROC analysis, sensitivity, specificity, accuracy, and threshold values were determined for laboratory data.

**Results.** The highest diagnostic accuracy in distinguishing between PJI and aseptic loosening was observed in the leukocyte count in synovial fluid (AUC 0.928; 95% CI: 0.837-0.977, p<0.0001). Elevated synovial CRP levels were associated with infection, with an AUC of 0.776 (95% CI: 0.656-0.870, p = 0.0004), and IL-6 had an AUC of 0.712 (95% CI: 0.583-0.820; p = 0.0048). Presepsin levels, however, showed no significant difference between groups (AUC 0.582; 95% CI: 0.453-0.703; p = 0.3344). Threshold values were set at 5.6 mg/l for CRP, 1212.0 pg/ml for presepsin, and 988.5 pg/mL for IL-6. Sensitivity, specificity, and accuracy for PJI diagnosis were determined for CRP at 62.5%, 85.7%, and 80.0%; for IL-6 at 87.5%, 63.0%, and 69.4%; and for presepsin at 43.8%, 79.6%, and 70.8%, respectively.

**Conclusion.** In cases where synovial leukocyte counts are at borderline levels, the additional assessment of synovial fluid cellular composition and simple, cost-effective markers such as synovial CRP and IL-6 may be recommended to confirm PJI.

**Keywords:** periprosthetic joint infection, aseptic prosthetic loosening, revision arthroplasty, synovial markers, C-reactive protein, interleukin-6, presepsin.

**Cite as:** Lyubimova L.V., Pavlova S.I., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Pchelova N.N., Emelianov V.U. The Potential Use of Synovial C-Reactive Protein, Interleukin-6, and Presepsin in Diagnosing Periprosthetic Joint Infection *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):5-13. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17578>.

✉ Lyudmila V. Lyubimova; e-mail: borisova-80@mail.ru

Submitted: 08.07.2024. Accepted: 06.08.2024. Published Online: 05.11.2024.

© Lyubimova L.V., Pavlova S.I., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Pchelova N.N., Emelianov V.Yu., 2024



## Возможность использования синовиальных С-реактивного белка, интерлейкина-6 и пресепсина в диагностике перипротезной инфекции

Л.В. Любимова<sup>1</sup>, С.И. Павлова<sup>1,2</sup>, Н.С. Николаев<sup>1,2</sup>, Е.А. Любимов<sup>1</sup>,  
Н.Н. Пчелова<sup>1</sup>, В.Ю. Емельянов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары), г. Чебоксары, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Диагностика инфекционных осложнений при протезировании суставов остается актуальной задачей, особенно в случаях отсутствия роста возбудителей при микробиологическом исследовании биоматериала.

**Целью исследования** стало определение пороговых значений уровня С-реактивного белка, интерлейкина-6 и пресепсина и их диагностической значимости для выявления перипротезной инфекции.

**Материал и методы.** Проведено проспективное когортное одноцентровое слепое исследование случаев ревизионной артропластики крупных суставов по поводу ППИ и асептической нестабильности эндопротеза. В исследование вошли 66 пациентов, которые были разделены на группы: группа I ( $n = 17$ ) — случаи подтвержденной ППИ согласно критериям ICM (2018), группа II ( $n = 49$ ) — случаи асептической нестабильности эндопротеза. Были выполнены бактериологическое и цитологическое исследования образцов синовиальной жидкости с определением уровней С-реактивного белка (СРБ), пресепсина и интерлейкина-6 (ИЛ-6). Для лабораторных данных проводился ROC-анализ, определение чувствительности, специфичности, точности и пороговых значений.

**Результаты.** Наибольшей достоверностью для диагностики ППИ и асептической нестабильности эндопротеза обладали показатели количества лейкоцитов в синовиальной жидкости (AUC 0,928; ДИ 95%: 0,837–0,977,  $p < 0,0001$ ). При инфекции также имелось повышение синовиального СРБ с AUC 0,776 (ДИ 95%: 0,656–0,870,  $p = 0,0004$ ) и ИЛ-6 с AUC 0,712 (ДИ 95%: 0,583–0,820;  $p = 0,0048$ ). В то же время уровень пресепсина не различался между группами (AUC 0,582; ДИ 95%: 0,453–0,703;  $p = 0,3344$ ). Пороговые значения составили для СРБ 5,6 мг/л, пресепсина — 1212,0 пг/мл, интерлейкина-6 — 988,5 пг/мл. Чувствительность, специфичность и точность для диагностики ППИ определены для СРБ на уровне 62,5%, 85,7% и 80,0%; для интерлейкина-6 — 87,5%, 63,0% и 69,4%; для пресепсина 43,8%, 79,6% и 70,8% соответственно.

**Заключение.** При пограничных значениях уровня синовиальных лейкоцитов для подтверждения ППИ в дополнение к оценке клеточного состава синовиальной жидкости можно рекомендовать использование таких простых и недорогих исследований, как синовиальные СРБ и ИЛ-6.

**Ключевые слова:** перипротезная инфекция, асептическая нестабильность эндопротеза, ревизионное эндопротезирование, синовиальные маркеры, С-реактивный белок, интерлейкин-6, пресепсин.

**Для цитирования:** Любимова Л.В., Павлова С.И., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Пчелова Н.Н., Емельянов В.Ю. Возможность использования синовиальных С-реактивного белка, интерлейкина-6 и пресепсина в диагностике перипротезной инфекции. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):5-13. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17578>.

Любимова Людмила Валентиновна; e-mail: borisova-80@mail.ru

Рукопись получена: 08.07.2024. Рукопись одобрена: 06.08.2024. Статья опубликована онлайн: 05.11.2024.

© Любимова Л.В., Павлова С.И., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Пчелова Н.Н., Емельянов В.Ю., 2024

## INTRODUCTION

Infectious complications in joint replacement are among the primary issues in orthopedic surgery. Timely diagnosis of periprosthetic joint infection (PJI), based on clinical, histological, bacteriological, and cytological criteria, significantly influences treatment outcomes [1, 2]. However, identifying the infectious nature of the pathology in prosthetic joints remains a complex challenge that several international task teams are attempting to address [3, 4, 5, 6]. One of the biggest challenges in diagnosing periprosthetic joint infection (PJI) is the lack of microbial growth in biological samples and/or borderline levels of serum and synovial inflammatory biomarkers [7].

A prospective cohort study by M. Fernandez-Sampedro et al. demonstrated that 25% of patients with PJI were misdiagnosed with aseptic prosthetic loosening within the first year after primary arthroplasty [8]. Microbiological and histological examinations of intraoperative biopsies of periprosthetic tissues are reliable methods for diagnosing PJI [9, 10]. However, confirming the presence of infection preoperatively is essential to determine the optimal approach to revision surgery. Synovial fluid inflammation markers can serve as additional diagnostic tools for PJI. Foreign researchers have demonstrated the potential diagnostic value of CD14, TREM-1, TLR2, C-reactive protein (CRP), leukocyte esterase, interleukin-6 (IL-6), interleukin-1b,  $\alpha$ -defensin, and interleukin-17 in synovial fluid [11, 12, 13].

The extensive experience of the federal center for traumatology and orthopedics in Cheboksary has shown that the rate of “unexpected infections” in patients initially diagnosed with aseptic loosening of the prosthesis reaches 2.08% [14]. Therefore, our study aimed to evaluate the potential use of additional synovial biomarkers, accessible in laboratory settings, for diagnosing PJI.

*The aim of the study* is to determine the threshold levels of C-reactive protein,

interleukin-6, and presepsin and their diagnostic value in detecting periprosthetic infection.

## METHODS

A prospective cohort single-center blinded study was conducted on cases of revision arthroplasty for major joints addressing PJI and aseptic prosthetic loosening. The study took place at the Federal Center for Traumatology, Orthopedics, and Arthroplasty of the Ministry of Health of Russia (Cheboksary) in 2023, hereafter referred to as the Center. During the study, clinical laboratory staff remained unaware of the group assignment for each patient.

*Inclusion criteria:* patients after hip, knee, or shoulder arthroplasty exhibiting signs of aseptic loosening or PJI; a period of over one year since the primary arthroplasty; preoperative synovial fluid aspiration performed in the Center’s outpatient clinic.

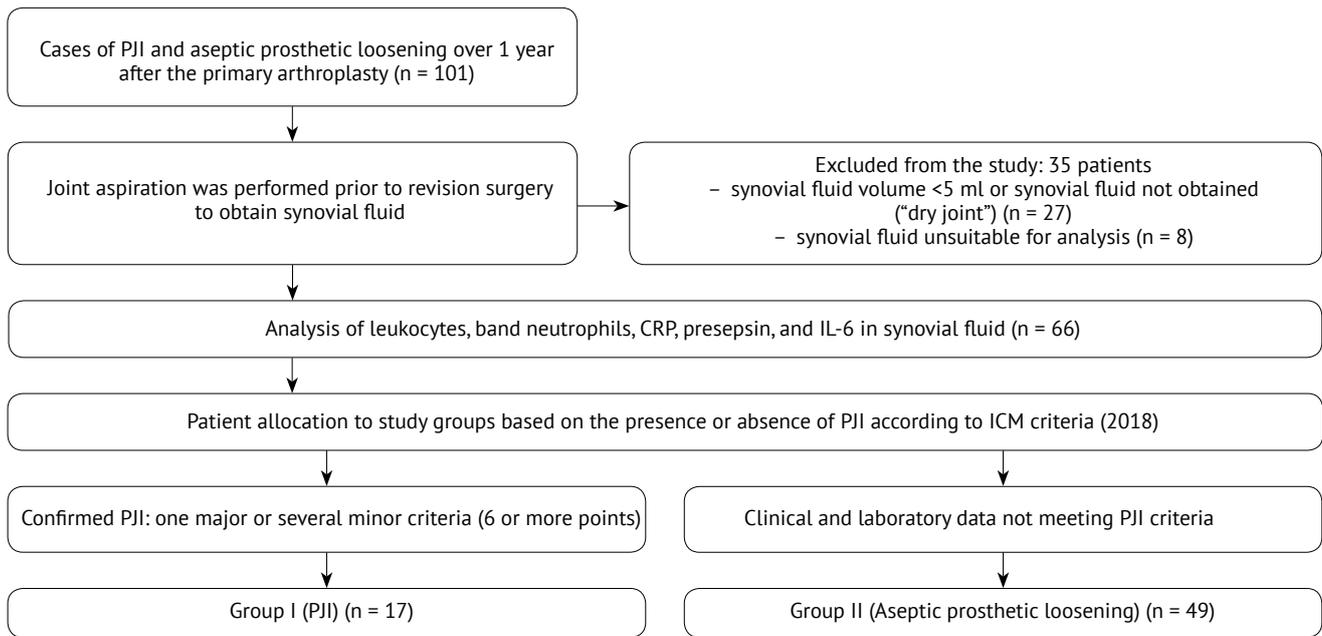
*Exclusion criteria:* patients under 18 years of age; synovial fluid volume of less than 5 ml; no synovial fluid obtained (“dry joint”) or samples unsuitable for analysis due to impurities insoluble by hyaluronidase, such as metal or cement particles, fibrin, or purulent clots.

Synovial fluid was collected preoperatively from 101 patients. However, samples from 8 patients were unsuitable for analysis, and in 27 cases, less than 5 ml of fluid was obtained. Consequently, the study group comprised 66 patients.

Based on the presence of PJI diagnostic criteria (ICM, 2018), the patients were divided into two groups [4]. Group I (n = 17) included patients with confirmed PJI (presence of one major criterion or several minor criteria totaling 6 or more points); Group II (n = 49) consisted of patients with aseptic prosthetic loosening (Figure 1).

All patients underwent revision surgery: Group I received a spacer, while Group II underwent the reimplantation of the prosthesis. The groups were comparable in the terms of gender, age, and prosthesis localization (Table 1).

Bacteriological and cytological analyses were conducted on synovial fluid samples, assessing CRP, presepsin, and IL-6 levels.



**Figure 1.** Study design flowchart

*Table 1*

**Characteristics of the study groups**

Parameter	Group I (n = 17)	Group II (n = 49)	p
Age, y.o	64.1±10.8	63.4±11.9	0.7821
Gender	male	19 (38.8%)	1.0000
	female	10 (58.8%)	
Prosthesis localization			
Knee	12 (70.6%)	29 (59.2%)	0.5634
Hip	4 (23.5%)	19 (38.8%)	0.3772
Shoulder	1 (5.9%)	1 (2.0%)	0.4517

For synovial biomarkers, the biological material was centrifuged (Hettich MIKRO 200) at 3000 rpm for 5 minutes. CRP levels were measured on the day of sample delivery using automated biochemical analyzers SAPPHERE 400 and Furuno CA-270 Electric, with the CRP FS kit (DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Germany) through an immunoturbidimetric method. IL-6 was measured from the supernatant, which was aliquoted and stored at -35°C until analysis using the Bio-Rad iMark immunoassay analyzer and the Interleukin-6-IFA-BEST kit (Vector-Best, Russia). Presepsin levels were measured via an immunochemiluminescent method using the PATHFAST™ analyzer and the PATHFAST Presepsin kit (PHC Corporation, Japan).

Bacteriological examination involved intraoperative biopsy specimens (at least 3 samples), joint fluid (if available), and rinses from removed metal components (following ultrasonic processing), with cultivation extending up to 14 days.

**Statistical analysis**

The statistical analysis of the obtained data was conducted using the Microsoft Excel 2007 Analysis ToolPak, GraphPad, and Prism 8.3.0 software. Categorical data (e.g., gender, prosthesis localization, presence or absence of infection) were described using nominal codes for unranked categories. The distribution of the quantitative variables was assessed for normality

using the Shapiro-Wilk test. For the description of normally distributed data, the mean and standard deviation were used; for data not following a normal distribution, the median and interquartile range were reported as Me [Q1–Q3], and in both cases, a 95% confidence interval (CI) was applied. Group differences were evaluated using the Mann-Whitney U test and Fisher’s exact test. For each diagnostic test, ROC analysis was conducted with calculation of the area under the curve (AUC) to determine accuracy, sensitivity, and specificity, with a 95% Clopper-Pearson CI using MedCalc 13.2.2 software (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium). Positive predictive value, negative predictive value, and accuracy were expressed as percentages. Threshold values were calculated using the Youden index (J).

**RESULTS**

In the study cohort, women predominated (60.6%). The average age was 63.6 years (95% CI: 54.0-65.0). Knee joint pathology was the prevalent condition, observed in 62.1% of cases. In 100% of PJI cases (n = 17), identical positive

microbiological culture growth was observed in at least two of the analyzed samples (Figure 2).

No bacterial growth was detected in any of the analyzed biological samples in the aseptic loosening group.

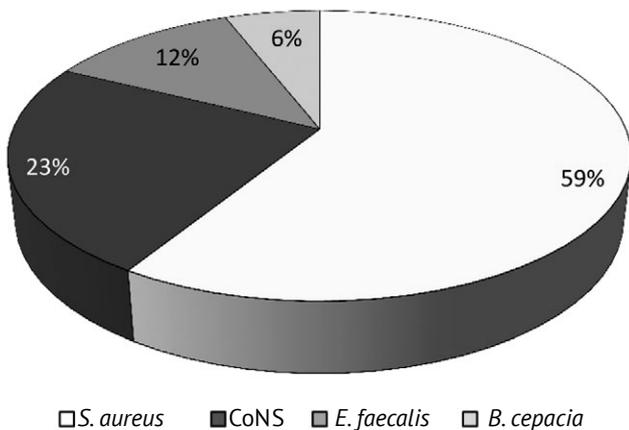
Among the isolated pathogens, gram-positive microorganisms were predominant, particularly *S. aureus* (10% of which were methicillin-resistant strains).

All measured indicators were higher in the PJI group, with statistically significant differences in leukocytes, band neutrophils, and CRP levels (p<0.05) (Table 2).

Figure 3 shows the ROC curves for evaluating the significance of synovial markers (leukocytes, band neutrophils, CRP, presepsin, and IL-6) in diagnosing PJI. The AUC for the sensitivity and specificity ROC curves ranges from 0 to 1, indicating the correlation of the marker with the presence of PJI. The closer the AUC value is to one, the higher the informativeness of the integrative marker is.

Synovial fluid cellular composition indicators (leukocytes and band neutrophils) demonstrated the highest discriminative ability between the PJI and aseptic loosening groups, with AUCs of 0.928 (95% CI: 0.837-0.977; p<0.0001) and 0.876 (95% CI: 0.772-0.945; p<0.0001), respectively. Among the synovial inflammation markers studied, CRP had the highest discriminatory power with an AUC of 0.776 (95% CI: 0.656-0.870; p = 0.0004) and IL-6 at 0.712 (95% CI: 0.583-0.820; p = 0.0048). Presepsin did not show significant differences between the study groups (AUC 0.582; 95% CI: 0.453-0.703; p = 0.3344).

Threshold values for CRP, presepsin, and IL-6 were obtained, along with sensitivity, specificity, and negative predictive value (Table 3).



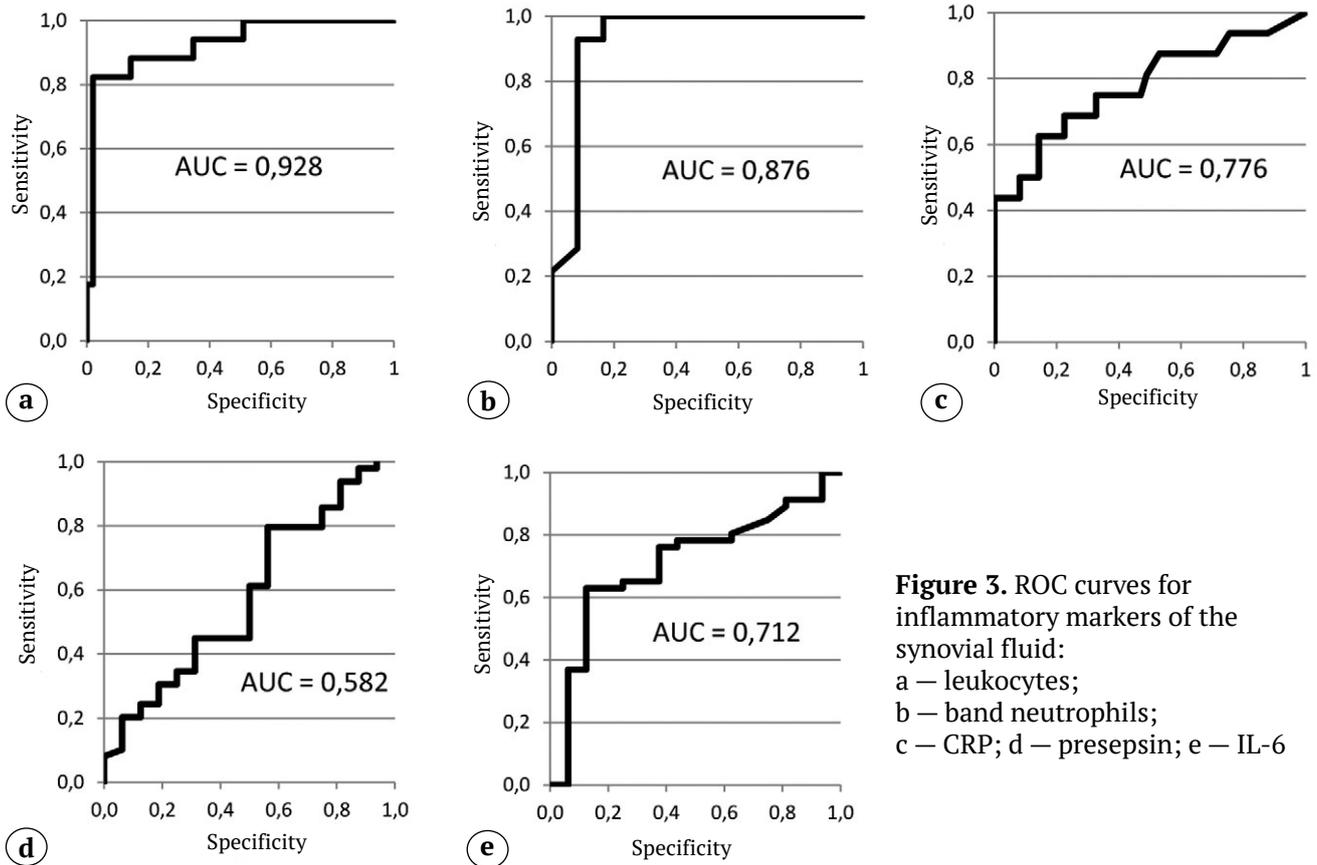
**Figure 2.** The species spectrum of causative agents of PJI cases

*Table 2*

**Laboratory results of synovial inflammatory markers, Me [Q1-Q3]**

Parameter	PJI group (n = 17)	Aseptic loosening group (n = 49)	p*
Leukocytes, cells/μl	27312.0 [7000.0-44069.0]	210.0 [100.0-498.5]	<0.0001
Band neutrophils, %	92.5 [88.0-95.3]	40.5 [17.8-61.5]	<0.0001
CRP, mg/l	7.2 [1.2-66.6]	0.6 [0.3-3.9]	0.0007
Presepsin, pg/ml	850.0 [471.3-1541.0]	772.0 [318.0-1115.0]	0.3312
IL-6, pg/ml	1050.0 [991.5-1052.0]	819.0 [476.5-1045.0]	0.0112

p\* – significance level, Mann-Whitney U test.



**Figure 3.** ROC curves for inflammatory markers of the synovial fluid:  
a – leukocytes;  
b – band neutrophils;  
c – CRP; d – presepsin; e – IL-6

Table 3

**ROC Analysis of inflammatory marker parameters in synovial fluid**

Statistical parameters	Leukocytes	Band neutrophils	CRP	Presepsin	IL-6
Threshold values	6250 cells/µl	76%	5.6 mg/l	1212 pg/ml	988.5 pg/ml
AUC (95% CI)	0.928 (0.837-0.977)	0.876 (0.772-0.945)	0.776 (0.656-0.870)	0.582 (0.453-0.703)	0.712 (0.583-0.820)
Sensitivity, % (95% CI)	82.35 (56.57-96.20)	81.32 (55.47-95.10)	62.50 (35.43-84.80)	43.75 (19.75-70.12)	87.50 (61.65-98.45)
Specificity, % (95% CI)	97.96 (89.15-99.95)	95.92 (86.02-99.50)	85.71 (72.76-94.06)	79.59 (65.66-89.76)	63.04 (46.5-76.23)
Positive predictive value, %	93.33	87.50	58.82	41.18	45.16
Negative predictive value, %	94.12	94.00	87.50	81.25	93.55
Accuracy, %	93.94	95.92	80.00	70.77	69.35

**DISCUSSION**

Cultural methods for diagnosing infection are undoubtedly significant for determining the treatment strategy for patients with issues related to prosthetic joints. In real practice, according to our recent study, the proportion of negative microbiological test results in patients with a diagnosed infection can reach 29.1% cases [7]. Diagnosing PJI is challenging, as clinical symptoms often resemble those of aseptic

loosening, presenting as nonspecific pain. To prevent unnecessary surgical interventions in cases of false-positive PJI diagnosis, accurate preoperative diagnostics is crucial. Furthermore, the inability to diagnose PJI before revision surgery may lead to a single-stage revision without appropriate treatment, which is likely to result in recurrent infection. The number of studies attempting to determine the best combination of laboratory tests for predicting

PJI proves the need for improved diagnostics. Analyzing the data from international literature, we noted the potential of inflammatory synovial markers for diagnosing PJI in addition to established algorithms.

According to the study by L. Qin and colleagues, synovial IL-6 had the highest prognostic value, with a threshold of 1855.36 pg/ml, sensitivity of 94.59%, and specificity of 92.86%. When combined with serum IL-6, it increased the diagnostic accuracy for PJI to 96.77% [15]. However, we could not confirm these findings. Nonetheless, synovial IL-6 showed good results, with a threshold of 988.5 pg/ml, providing the highest negative predictive value (93.6%) compared to synovial CRP and presepsin.

The role of presepsin in diagnosing PJI was evaluated by M.L. Delva et al., who concluded that synovial presepsin could serve as a potential biomarker for PJI. Despite demonstrating an AUC of 0.41, further studies are needed to correlate it with other laboratory data [16]. In their prospective study, A. Busch et al. determined a threshold value for synovial fluid presepsin above 0.06 ng/ml, with sensitivity of 29% and specificity of 51% for diagnosing PJI, concluding that presepsin is not suitable for excluding or diagnosing PJI [17]. In our study, synovial presepsin performed poorly among the synovial markers tested, failing to show significant differences between the study groups.

Another important biomarker for PJI, according to the study published by J.L. Miamidian et al., is synovial CRP, with an optimal threshold value of 4.45 mg/l for PJI, demonstrating a sensitivity of 86.1% and specificity of 87.1% [18]. In our small prospective cohort of patients who underwent revision arthroplasty, the use of synovial CRP proved to be a more accurate marker for identifying PJI than the levels of synovial IL-6 or presepsin. In 2018, the American Society for Musculoskeletal Infection proposed a diagnostic algorithm for PJI, where one of the minor criteria was the level of synovial CRP with a threshold of 6.9 ng/ml [4]. We obtained lower threshold values for CRP (5.6 ng/ml) and confirmed its supportive role in the diagnosis of PJI.

The conducted study confirmed the results of other researchers that among all synovial biomarkers, leukocytes and band neutrophils exhibit the highest accuracy, sensitivity, and specificity [19]. However, there is still no

consensus on the threshold values for these tests, with reported figures varying from 1100 to 4200 cells/ $\mu$ l [20, 21, 22]. We obtained threshold values for leukocytes (6250 cells/ $\mu$ l) and band neutrophils (76%), which differ from the previously suggested thresholds by other authors [20, 21, 22]. Moreover, there is no uniformity in the threshold values for the leukocyte composition of synovial fluid, as reflected in the diagnostic algorithm for PJI proposed by the European Bone and Joint Infection Society (EBJIS, 2021), which suggests a leukocyte range of 1500-3000 cells/ $\mu$ l as a criterion for probable infection [6]. In such uncertain cases, expanding diagnostics with simple and inexpensive synovial markers such as CRP and IL-6 can be utilized to confirm or exclude PJI.

### Limitations of the study

The limitation of the study was the small sample size due to the exclusion of cases where synovial fluid samples were either not obtained or were unsuitable for analysis. We did not use disposable sterile membrane filters to remove foreign impurities, although this method could potentially be applied to purify synovial aspirates. When selecting a filter, it is important to consider the composition of the membrane elements — they should not reduce the activity of synovial proteins. Given that the small sample size in the prospective study resulted in no cases of suspected PJI, the diagnostic threshold proposed by us was calculated based on data from patients with confirmed PJI. To confirm the diagnostic significance of the obtained threshold values for CRP and IL-6, further research is necessary in a group of patients with suspected PJI at the preoperative stage.

### CONCLUSIONS

The analysis of synovial fluid prior to revision arthroplasty is a critical component of the differential diagnosis between PJI and aseptic prosthetic loosening. Assessment of the cellular composition (specifically synovial leukocyte count and band neutrophils) is the most accurate and widely accessible diagnostic method for PJI. In cases where synovial leukocyte counts are at borderline levels, additional use of simple and cost-effective tests, such as synovial C-reactive protein and synovial interleukin-6, can be recommended to confirm PJI.

## DISCLAIMERS

**Author contribution**

*Lyubimova L.V.* — scientific supervision, study concept, data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Pavlova S.I.* — scientific supervision, editing the manuscript.

*Nikolaev N.S.* — study concept and design.

*Lyubimov E.A.* — data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Pchelova N.N.* — data acquisition, data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Emelianov V.Yu.* — data acquisition, statistical data processing, editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

## REFERENCES

- Gehrke T., Alijanipour P., Parvizi J. The management of an infected total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2015;97-B(10 Suppl A):20-29. doi: 10.1302/0301-620X.97B10.36475.
- Tsang S.T.J., Gwynne P.J., Gallagher M.P., Simpson A.H.R.W. The biofilm eradication activity of acetic acid in the management of periprosthetic joint infection. *Bone Joint Res.* 2018;7(8):517-523. doi: 10.1302/2046-3758.78.BJR-2018-0045.R1.
- Romanò C.L., Khawashki H.A., Benzakour T., Bozhkova S., Del Sel H., Hafez M. et al. The W.A.I.O.T. Definition of High-Grade and Low-Grade Peri-Prosthetic Joint Infection. *J Clin Med.* 2019;8(5):650. doi: 10.3390/jcm8050650.
- Parvizi J., Tan T.L., Goswami K., Higuera C., Della Valle C., Chen A.F. et al. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty.* 2018;33(5):1309-1314.e2. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.078.
- Della Valle C., Parvizi J., Bauer T.W., DiCesare P.E., Evans R.P., Segreti J. et al. American Academy of Orthopaedic Surgeons clinical practice guideline on: the diagnosis of periprosthetic joint infections of the hip and knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(14):1355-1357. doi: 10.2106/JBJS.9314ebo.
- McNally M., Sousa R., Wouthuyzen-Bakker M., Chen A.F., Soriano A., Vogely H.C. et al. The EBJIS definition of periprosthetic joint infection. *Bone Joint J.* 2021;103-B(1):18-25. doi: 10.1302/0301-620X.103B1.BJJ-2020-1381.R1.
- Lyubimova L.V., Bozhkova S.A., Pchelova N.N., Preobrazhenskaya E.V., Lyubimov E.A. The role of culture-negative infection among infectious complications after total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii.* 2023;29(4):402-409. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-402-409.
- Fernandez-Sampedro M., Salas-Venero C., Fariñas-Álvarez C., Sumillera M., Pérez-Carro L., Fakkas-Fernandez M. et al. 26 Postoperative diagnosis and outcome in patients with revision arthroplasty for aseptic loosening. *BMC Infect Dis.* 2015;15:232. doi: 10.1186/s12879-015-0976-y.
- Osmon D.R., Berbari E.F., Berendt A.R., Lew D., Zimmerli W., Steckelberg J.M. et al. Diagnosis and management of prosthetic joint infection: clinical practice guidelines by the Infectious Diseases Society of America. *Clin Infect Dis.* 2013;56(1):e1-e25. doi: 10.1093/cid/cis803.
- Panteleev A.N., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Kazemirsky A.V., Anisimova L.O., Guzyukina S.A. et al. Emergency histological examination in diagnosis of periprosthetic joint infection in revision total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii.* 2023;29(2):180-189. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-2-180-189.
- Marazzi M.G., Randelli F., Brioschi M., Drago L., Romanò C.L., Banfi G. et al. Presepsin: A potential biomarker of PJI? A comparative analysis with known and new infection biomarkers. *Int J Immunopathol Pharmacol.* 2018;31:394632017749356. doi: 10.1177/0394632017749356.
- Saleh A., Ramanathan D., Siqueira M.B.P., Klika A.K., Barsoum W.K., Rueda C.A.H. The Diagnostic Utility of Synovial Fluid Markers in Periprosthetic Joint Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25(11):763-772. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00548.
- Lee Y.S., Koo K.H., Kim H.J., Tian S., Kim T.Y., Maltenfort M.G. et al. Synovial Fluid Biomarkers for the Diagnosis of Periprosthetic Joint Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(24):2077-2084. doi: 10.2106/JBJS.17.00123.
- Nikolaev N.S., Pchelova N.N., Preobrazhenskaya E.V., Nazarova V.V., Dobrovolskaya N.Y. "Unexpected" Infections in Revision Arthroplasty for Aseptic Loosening. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(3):56-70. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-56-70.
- Qin L., Li X., Wang J., Gong X., Hu N., Huang W. Improved diagnosis of chronic hip and knee prosthetic joint infection using combined serum and synovial IL-6 tests. *Bone Joint Res.* 2020;9(9):587-592. doi: 10.1302/2046-3758.99.BJR-2020-0095.R1.
- Delva M.L., Samuel L.T., Acuña A.J., Kamath A.F. Presepsin as a diagnostic biomarker of periprosthetic joint infection: a review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(4):695-700. doi: 10.1007/s00590-022-03232-z.

17. Busch A., Jäger M., Engler H., Wassenaar D., Bielefeld C., Wegner A. Diagnostic Accuracy of Synovial Neopterin, TNF- $\alpha$  and Presepsin in Periprosthetic Joint Infection: A Prospective Study. *Z Orthop Unfall*. 2022;160(3): 299-306. (In English). doi: 10.1055/a-1303-5105.
18. Miamiadian J.L., Toler K., McLaren A., Deirmengian C. Synovial Fluid C-reactive Protein Clinical Decision Limit and Diagnostic Accuracy for Periprosthetic Joint Infection. *Cureus*. 2024;16(1):e52749. doi: 10.7759/cureus.52749.
19. Diniz S.E., Ribau A., Vinha A., Oliveira J.C., Abreu M.A., Sousa R. Simple and inexpensive synovial fluid biomarkers for the diagnosis of prosthetic joint infection according to the new EBJIS definition. *J Bone Jt Infect*. 2023;8(2):109-118. doi: 10.5194/jbji-8-109-2023.
20. Ottink K.D., Strahm C., Muller-Kobold A., Sendi P., Wouthuyzen-Bakker M. Factors to Consider When Assessing the Diagnostic Accuracy of Synovial Leukocyte Count in Periprosthetic Joint Infection. *J Bone Jt Infect*. 2019;4(4):167-173. doi: 10.7150/jbji.34854.
21. Zahar A., Lausmann C., Cavalheiro C., Dhamangaonkar A.C., Bonanzinga T., Gehrke T. et al. How Reliable Is the Cell Count Analysis in the Diagnosis of Prosthetic Joint Infection? *J Arthroplasty*. 2018;33(10):3257-3262. doi: 10.1016/j.arth.2018.05.018.
22. Sousa R., Serrano P., Gomes Dias J., Oliveira J.C., Oliveira A. Improving the accuracy of synovial fluid analysis in the diagnosis of prosthetic joint infection with simple and inexpensive biomarkers: C-reactive protein and adenosine deaminase. *Bone Joint J*. 2017;99-B(3):351-357. doi: 10.1302/0301-620X.99B3.BJJ-2016-0684.R1.

---

## Authors' information

✉ Lyudmila V. Lyubimova

Address: 33, Fedor Gladkov st., Cheboksary, 428020, Chuvash Republic, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>

e-mail: borisova-80@mail.ru

Svetlana I. Pavlova — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9976-7866>

e-mail: flavonoid@yandex.ru

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

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

e-mail: nikolaev@orthoscheb.ru

Evgeniy A. Lyubimov

<https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>

e-mail: elyubimov@mail.ru

Nadezhda N. Pchelova

<https://orcid.org/0000-0001-9507-9118>

e-mail: nadyapchelova@mail.ru

Vladimir Yu. Emelianov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1720-1741>

e-mail: vemelianov@mail.ru

## Predictors for Recurrence of Chronic Osteomyelitis Following Long Bones Cavity Defect Replacement with Synthetic Materials

Alexander V. Afanasyev, Svetlana A. Bozhkova, Vasily A. Artyukh

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

### Abstract

**Background.** To date, there is a lack of studies in modern scientific literature that would highlight the factors affecting the development of recurrent infection after surgical treatment of chronic osteomyelitis.

**The aims of the study:** 1) to identify significant risk factors for infection recurrence in one- and two-stage cavity defect replacement with synthetic materials in patients with chronic osteomyelitis; 2) based on the findings, to develop a surgical treatment algorithm for this patient population.

**Methods.** The study enrolled 131 patients with chronic osteomyelitis of long bones. Based on the treatment outcome, the patients were divided into two groups: Group 1 (n = 90) – successful suppression of the infection; Group 2 (n = 41) – recurrent osteomyelitis after one- or during two-stage treatment. Differences between the groups were assessed to identify the factors that affect the recurrence risk. We conducted a multifactorial analysis using classification trees to develop a scale for Comprehensive Osteomyelitis Recurrence Risk Assessment (CORRA).

**Results.** The following factors affecting the treatment outcome were assessed: localization ( $r = 0.205$ ,  $p = 0.019$ ); duration of osteomyelitis ( $r = 0.23$ ,  $p = 0.007$ ); presence of debridement operations in the medical history ( $r = 0.264$ ,  $p = 0.002$ ); volume of the bone defect ( $r = 0.175$ ,  $p = 0.045$ ); anatomical type ( $r = 0.15$ ,  $p = 0.086$ ) and physiological class ( $r = 0.188$ ,  $p = 0.004$ ) according to the Cierny-Mader classification; nature of the pathogen ( $r = 0.123$ ,  $p = 0.162$ ). We determined the risk degree for osteomyelitis recurrence, as well as threshold values for quantitative indicators and the total score on the CORRA. In patients with a score greater than 5 on the CORRA during one-stage treatment, the risk of osteomyelitis recurrence increased 8.1 times compared to patients with a score of 5 or fewer (OR = 8.143; CI 1.008–65.882). In two-stage treatment, patients with a score greater than 5 on the CORRA had a 4.1 times increased risk of osteomyelitis recurrence compared to patients with 5 points or fewer (OR = 4.059, CI 0.461–35.714). Based on the CORRA scale, we developed an algorithm for choosing a treatment strategy for these patients.

**Conclusions.** Significant risk factors for recurrence of infection are: localization, duration of osteomyelitis, presence of debridement operations in the medical history, volume of the bone defect, nature of the pathogen, anatomical type and physiological class according to the Cierny-Mader classification. The developed scale for comprehensive osteomyelitis recurrence risk assessment based on the factors can help to predict the infection recurrence and choose correct surgical treatment approach.

**Keywords:** osteomyelitis of long bones, risk factors for recurrence, cavity bone defect.

**Cite as:** Afanasyev A.V., Bozhkova S.A., Artyukh V.A. Predictors for Recurrence of Chronic Osteomyelitis Following Long Bones Cavity Defect Replacement with Synthetic Materials. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):14–25. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17591>.

✉ Alexander V. Afanasyev; e-mail: [afanasyev1307@mail.ru](mailto:afanasyev1307@mail.ru)

Submitted: 29.07.2024. Accepted: 04.10.2024. Published Online: 07.11.2024.

© Afanasyev A.V., Bozhkova S.A., Artyukh V.A., 2024



Научная статья  
УДК 616.71-018.46-002.2-089:615.46  
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17591>

## Предикторы рецидива хронического остеомиелита при заполнении полостных дефектов длинных костей синтетическими материалами

А.В. Афанасьев, С.А. Божкова, В.А. Артюх

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

### Реферат

**Актуальность.** В современной научной литературе до сих пор мало публикаций, в которых освещены факторы, влияющие на развитие рецидива инфекции после хирургического лечения хронического остеомиелита.

**Цели исследования** — определить значимые факторы риска развития рецидива инфекции при одно- и двухэтапном замещении полостного дефекта синтетическими материалами у пациентов с хроническим остеомиелитом и на основании полученных данных разработать алгоритм хирургического лечения профильных пациентов.

**Материал и методы.** В исследование включен 131 пациент с хроническим остеомиелитом длинных костей конечностей. В зависимости от результата лечения больные разделены на две группы: группа 1 ( $n = 90$ ) — с успешным купированием инфекционного процесса; группа 2 ( $n = 41$ ) — с развитием рецидива остеомиелита после одноэтапного или в ходе двухэтапного лечения. Оценивали различия между группами для выявления факторов, влияющих на развитие рецидива. Проводили многофакторный анализ методом классификационных деревьев для формирования шкалы комплексной оценки риска развития остеомиелита (КОРРО).

**Результаты.** В КОРРО были включены факторы, влияющие на результат лечения: локализация ( $r = 0,205$ ;  $p = 0,019$ ); длительность остеомиелита ( $r = 0,23$ ;  $p = 0,007$ ); наличие saniрующих операций в анамнезе ( $r = 0,264$ ;  $p = 0,002$ ); объем костного дефекта ( $r = 0,175$ ;  $p = 0,045$ ); физиологический класс по классификации Cierny–Mader ( $r = 0,188$ ;  $p = 0,004$ ); анатомический тип остеомиелита по Cierny–Mader ( $r = 0,15$ ;  $p = 0,086$ ); характер возбудителя ( $r = 0,123$ ;  $p = 0,162$ ). Установлена степень риска развития рецидива остеомиелита, а также пороговые значения для количественных показателей и суммарного балла по КОРРО. У пациентов с показателем более 5 баллов по КОРРО при одноэтапном лечении риск развития рецидива остеомиелита возрастал в 8,1 раза в сравнении с пациентами, имеющими показатель 5 баллов и менее (ОР 8,143; ДИ 1,008–65,882). При двухэтапном лечении пациентов с показателем более 5 баллов риск развития рецидива остеомиелита возрастал в 4,1 раза в сравнении с больными с показателем 5 баллов и менее по КОРРО (ОР 4,059; ДИ 0,461–35,714). На основании КОРРО разработан алгоритм выбора тактики лечения профильных пациентов.

**Заключение.** К значимым факторам риска развития рецидива инфекции относятся локализация, длительность остеомиелита, наличие saniрующих операций в анамнезе, объем костного дефекта, характер возбудителя, физиологический класс и анатомический тип остеомиелита по классификации Cierny–Mader. Разработанная на основании этих факторов шкала комплексной оценки риска рецидива остеомиелита позволяет спрогнозировать развитие рецидива инфекции и выбрать рациональную тактику хирургического лечения.

**Ключевые слова:** остеомиелит длинных костей, факторы риска рецидива, полостной костный дефект.

**Для цитирования:** Афанасьев А.В., Божкова С.А., Артюх В.А. Предикторы рецидива хронического остеомиелита при заполнении полостных дефектов длинных костей синтетическими материалами. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):14–24. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17591>.

Афанасьев Александр Витальевич; e-mail: [afanasyev1307@mail.ru](mailto:afanasyev1307@mail.ru)

Рукопись получена: 29.07.2024. Рукопись одобрена: 04.10.2024. Статья опубликована онлайн: 07.11.2024.

© Афанасьев А.В., Божкова С.А., Артюх В.А., 2024

## INTRODUCTION

The number of orthopedic surgical interventions on bones and joints increases annually, with infectious complications developing in 1-17% of cases postoperatively [1]. The presence of comorbidities in patients, such as diabetes, obesity, atherosclerosis, alcoholism, and smoking, increases the risk of infection at the surgical site following osteosynthesis [2, 3, 4]. Approximately half of the cases of osteomyelitis of long bones involve the tibia, 30% involve the femur, and the remaining 20% are accounted for by the fibula, humerus, ulna, and radius [5, 6, 7, 8]. The treatment of osteomyelitis is associated with a significant number of unsatisfactory outcomes, with the rate of disability reaching 50-90% [9, 10, 11].

The threat to life due to infection generalization, disability, limb shortening, malignancy, compromised weight-bearing capacity, and impaired function of the affected limb in patients with osteomyelitis highlight the significant social and economic impact of this disease [12, 13]. Additionally, treating musculoskeletal infections requires substantial financial resources from the healthcare system [14, 15]. Surgical treatment of chronic osteomyelitis results in recurrence in 20-30% of cases and leads to limb amputation in 0.13-16.75% of cases [16, 17, 18, 19].

Limb-sparing surgical treatment is based on the following principles: radical debridement, adequate soft-tissue wound closure, restoration of bone tissue defects and stabilization of the limb segment, systemic and local antibiotic therapy, limb reconstruction, and rehabilitation. Following radical debridement of the osteomyelitis focus, bone defects are formed, which must be filled to restore the bone's weight-bearing capacity and control inflammation [20]. There are one- and two-stage methods for bone defect replacement. In one-stage treatment, the bone defect is filled with biological or synthetic bone graft material simultaneously with the radical debridement of the osteomyelitis [21, 22]. In the two-stage treatment method, an antimicrobial spacer based on polymethylmethacrylate is placed at the first stage [23]. At the second stage, the infection having been managed, the bone cement is replaced with a biodegradable material.

In surgical interventions involving the filling of residual bone cavities, several issues remain unresolved concerning the methods and materials for bone grafting, as well as the factors influencing treatment outcomes.

The limited number of studies and the low level of evidence regarding the effectiveness of studied osteomyelitis treatment methods contribute to the lack of clear guidelines for managing these patients. Thus, the question of choosing an optimal method for filling bone cavities in patients with chronic osteomyelitis remains open.

*The aims of the study* are to identify significant risk factors for infection recurrence in one- and two-stage cavity defect replacement with synthetic materials in patients with chronic osteomyelitis and, based on the findings, to develop a surgical treatment algorithm for this patient population.

## METHODS

The study was based on unpublished materials from the thesis of A.V. Afanasyev\*.

The retrospective study included 131 patients treated for chronic osteomyelitis in the Department of Purulent Osteology from 2009 to 2018.

All patients who underwent one- or two-stage osteomyelitis treatment and met the following criteria were included:

- presence of chronic osteomyelitis of long bones of types III and IV, physiological classes A and B (according to the Cierny-Mader classification);
- filling of the bone cavity defect with an antimicrobial spacer in the form of beads (in the first stage for two-stage treatment), calcium sulfate with tobramycin (Osteoset T), or  $\beta$ -tricalcium phosphate with hydroxyapatite (ReproBone) and an antibiotic (in one-stage treatment or in the second stage of two-stage treatment);
- satisfactory condition of the soft tissues, allowing for adequate closure of the surgical wound without soft tissue grafting;
- ability to undergo prolonged (at least 6-8 weeks), including oral antibiotic therapy;
- absence of signs of chronic osteomyelitis exacerbation: clinical (infiltration, significant edema and hyperemia of the soft tissues, local

\* Afanasyev, A.V. Differentiated approach to the choice of treatment tactics for patients with chronic osteomyelitis with cavity defects of long tubular bones: Thesis ... Cand. Med. Sci. – St. Petersburg, 2022. – 184 p.

hyperthermia, infectious inflammation of the subcutaneous tissue, fasciitis, fluid accumulation in the soft tissues) and/or systemic inflammatory response syndrome;

- absence of untreated foci of infection in other locations (e.g., trophic ulcers, genitourinary infections, oral cavity infections, and others).

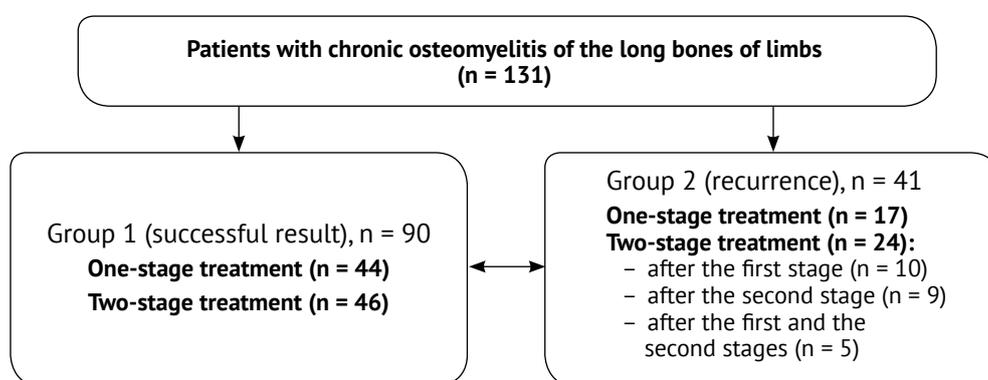
All patients underwent surgical debridement of the infection site, performing a “fenestrated” osteotriphication for thorough debridement of the osteomyelitis focus down to healthy bone (positive “pinpoint bleeding” sign). This was followed by extensive wound irrigation with antiseptic solutions (3% hydrogen peroxide,

0.05% chlorhexidine, 0.1-0.2% Lavasept) and saline solution. Subsequently, the bone defect was filled with synthetic materials using the one- or two-stage method.

To identify significant risk factors for osteomyelitis recurrence, patients were divided into two groups (Figure 1):

Group 1 (n = 90) – patients with chronic osteomyelitis of long bones in whom infection was managed as a result of one- or two-stage treatment;

Group 2 (n = 41) – patients who experienced osteomyelitis recurrence after one-stage treatment or during two-stage treatment (after the first or second stage).



**Figure 1.** Study design flowchart

Infection was considered managed in the absence of signs of inflammation for at least one year postoperatively (e.g., elevated body temperature, swelling, hyperemia, significant pain syndrome, prolonged discharge from the surgical wound (more than 10 days), leukocytosis, and fistula formation). In the overall sample, the mean follow-up period was 43 months.

Osteomyelitis recurrence was identified in 17 (28%) of 61 patients after one-stage treatment, in 15 (21%) of 70 patients after the first stage, and in 14 (20%) of 70 patients after the second stage of two-stage treatment.

An electronic database was created, including possible risk factors for the infectious complications: age, sex, localization of the lesion, pathogenesis and etiology of osteomyelitis, leukocyte count and level of C-reactive protein (CRP), duration of surgery and volume of blood loss, size of the bone defect, presence and number of previous debridement operations, duration of osteomyelitis, and anatomical type and physiological class according to the Cierny-Mader classification.

## Statistical analysis

Statistical analysis of the obtained results was performed using GraphPad Prism 6.0 software. The age of patients was presented as mean values with 95% confidence intervals (CI 95%), while other quantitative variables were presented as medians with 25-75% interquartile ranges [IQR 25-75%]. At the first stage, differences between groups were assessed to identify factors significantly influencing the risk of recurrence using the Mann-Whitney U test for quantitative data. Additionally, the relationship between phenomena was examined using Spearman's rank correlation coefficient (r). Qualitative data were presented as counts of events, and Fisher's exact test was used to evaluate the significance of differences between groups. Differences were considered statistically significant at  $p < 0.05$ . At the second stage, after the preliminary selection of significant risk factors for recurrence, multifactorial analysis was conducted using classification trees to determine the importance of factors and their

threshold values for developing a scale for Comprehensive Osteomyelitis Recurrence Risk Assessment (CORRA). The relative risk (RR) was used to assess the risk of osteomyelitis recurrence based on the total score from the CORRA.

**RESULTS**

The distribution of patients by age, gender, localization, duration, and pathogenesis of osteomyelitis was comparable between the groups (Table 1). However, in Group 2, there was a significantly higher proportion of patients with a history of debridement operations and a higher median volume of the bone defect compared to Group 1.

No significant differences in the etiology of osteomyelitis were found between the groups, with staphylococci being the predominant pathogens (Table 2).

We did not find a correlation between the recurrence of infection in these patients and their age ( $r = -0.0054; p = 0.95$ ), sex ( $r = -0.0197; p = 0.823$ ), pathogenesis of osteomyelitis ( $r = -0.0627; p = 0.477$ ), leukocyte count ( $r = 0.0485; p = 0.582$ ), and CRP level ( $r = 0.0741; p = 0.423$ ) prior to surgery, which led to the exclusion of these variables from further analysis.

For the development of the CORRA, factors that had a direct statistically significant relationship with the development of

recurrence were included: localization ( $r = 0.205; p = 0.019$ ); duration of osteomyelitis ( $r = 0.23; p = 0.007$ ); presence of debridement operations in the medical history ( $r = 0.264; p = 0.002$ ); volume of the bone defect ( $r = 0.175; p = 0.045$ ); and physiological class according to the Cierny-Mader classification ( $r = 0.188; p = 0.004$ ). The study established that a larger proportion of osteomyelitis recurrences occurred in patients with type IV anatomical classification (according to Cierny-Mader) – 50% (8 out of 16) – as well as in those with Gram-negative and MRSA pathogens – in 42.9% (12 out of 28) of cases. Based on the above, the anatomical type of osteomyelitis according to the Cierny-Mader classification ( $r = 0.15; p = 0.086$ ) and the nature of the pathogen ( $r = 0.123; p = 0.162$ ) were also included in the CORRA.

Based on the obtained data, multifactorial statistical analysis allowed for the determination of the risk degree for osteomyelitis recurrence, as well as threshold values for quantitative indicators and the total score on the CORRA (Table 3).

It was established that a total score from 0 to 5 on the CORRA categorizes a patient as low risk for osteomyelitis recurrence, while a score exceeding 5 indicates a high risk of recurrence, as confirmed by the treatment outcomes of the patients included in the study (Table 4).

*Table 1*

**Characteristics of patients in the study groups**

Parameter		Group 1 (n = 90)	Group 2 (n = 41)	p
Age, y.o., Me [IQR 25-75%]		43 [31-55]	41 [33-50]	0.90
Male, n (%)		54 (60)	24 (59)	1.00
Female, n (%)		36 (40)	17 (41)	
Localization, n (%):	thigh	21 (23.3)	16 (39)	0.09
	upper arm	12 (13.3)	1 (2)	0.06
	lower leg	57 (63.3)	24 (59)	0.07
Pathogenesis of osteomyelitis, n (%):	posttraumatic	26 (29)	14 (34)	0.50
	hematogenous	21 (23)	6 (15)	0.35
	postoperative	43 (48)	21 (51)	0.85
Debridement operations, n (%):		69 (77)	38 (93)	0.03
Anatomical type:				0.09
3, n (%)		82 (91)	33 (80)	
4, n (%)		8 (9)	8 (20)	
Physiological class, n (%):	A	9 (10)	–	–
	B	81 (90)	41 (100)	0.06
Osteomyelitis duration, years, Me [IQR 25-75%]		2 [1-5]	4 [1-14]	0.06
Volume of bone defect, ml, Me [IQR 25-75%]		10 [7-8]	15 [8-30]	0.04

Table 2

**Etiology of infection in the study groups, n (%)**

Etiology of infection	Group 1 (n = 90)	Group 2 (n = 41)	p
<i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i> and other coagulase-negative staphylococci	74 (82)	29 (71)	0.17
MRS*-related	9 (10)	8 (19)	0.16
Gram(-)-related **	7 (8)	4 (10)	0.74
Total	90 (100)	41 (100)	

\* – MRS – methicillin-resistant strains.

\*\* – including *fam. Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Table 3

**Scoring of the Comprehensive Osteomyelitis Recurrence Risk Assessment scale (CORRA\*)**

Factor	Score		
	0	1	2
Proportion of patients with osteomyelitis recurrence			
Localization	Upper arm 7.7% (1 out of 13)	Lower leg 29.6% (24 out of 81)	Thigh 43.2% (16 out of 37)
Osteomyelitis duration	<5 years 24.7% (23 out of 93)	>5 years 47.4% (18 out of 38)	–
Number of debridement operations	0 8.7% (2 out of 23)	1 28% (14 out of 50)	>1 43.1% (25 out of 58)
Volume of bone defect, cm <sup>3</sup>	<5 10% (2 out of 20)	5-19 28.6% (20 out of 70)	≥20 46.3% (19 out of 41)
Anatomical type	3 28.7% (33 out of 115)	4 50% (8 out of 16)	–
Physiological class	A 0% (0 out of 9)	B 33.6% (41 out of 122)	–
Pathogen	Gram(+), except MRSA and MRSE, 28.2% (29 out of 103)	Gram(-) 36.4% (4 out of 11) MRSA/MRSE 47.1% (8 out of 17)	–

\* To determine the total CORRA score, it is necessary to add up all the scores obtained.

Table 4

**Frequency of osteomyelitis recurrence in patients using β-tricalcium phosphate with hydroxyapatite depending on the sum of CORRA scores**

Outcome	One-stage treatment (n = 26)		Two-stage treatment (n = 40)	
	0-5 points	>5 points	0-5 points	>5 points
No recurrence	18 (94.7%)	4 (57.1%)	22 (95.7%)	14 (82.4%)
Recurrence	1 (5.3%)	3 (42.9%)	1 (4.3%)	3 (17.6%)
Total	19 (100%)	7 (100%)	23 (100%)	17 (100%)

Additionally, a statistically significant moderate positive correlation was found between the total CORRA score and the development of osteomyelitis recurrence ( $r = 0.35$ ;  $p = 0.00389$ ).

To exclude the influence of the bone grafting material on the treatment outcome, the CORRA was tested in patients using only  $\beta$ -tricalcium phosphate with hydroxyapatite impregnated with antibiotic during one- and two-stage filling of the bone defect. The average CORRA score for these patients undergoing one-stage treatment was 4 [IQR 4-5], which did not significantly differ from the corresponding value in the two-stage treatment group, which was 5 [IQR 4-7] ( $p = 0.11$ ). However, the recurrence rate in patients with a score greater than 5 was statistically significantly higher than in patients with 0-5 points on the CORRA ( $p = 0.016$ ). Thus, a total score greater than 5 on the CORRA increases the risk of recurrence after one- and two-stage treatment of osteomyelitis by 5.25 times (OR = 5.25; CI 1.149-23.997).

It was also found that in patients with a score greater than 5 on the CORRA during one-stage treatment, the risk of osteomyelitis recurrence increased 8.1 times compared to patients with a score of 5 or fewer (OR = 8.143; CI 1.008-65.882). The recurrence rate during one-stage treatment was 42.9% for patients with a total score greater than 5 and 5.3% for those with 5 points or fewer on the CORRA ( $p = 0.019$ ). In two-stage treatment, patients with a score greater than 5 on the CORRA had a 4.1 times increased risk of osteomyelitis recurrence compared to patients with 5 points or fewer (OR = 4.059, CI 0.461-35.714). The recurrence rates during two-stage treatment were 17.6% and 4.3% among patients with a total score greater than 5 and 5 points or fewer on the CORRA, respectively ( $p = 0.019$ ) ( $p = 0.166$ ).

Thus, for patients with a score of  $\leq 5$  on the CORRA, a one-stage procedure may be the operation of choice. For those with a total score greater than 5 on the CORRA, it is advisable to opt for a two-stage treatment method due to the lower risk of osteomyelitis recurrence.

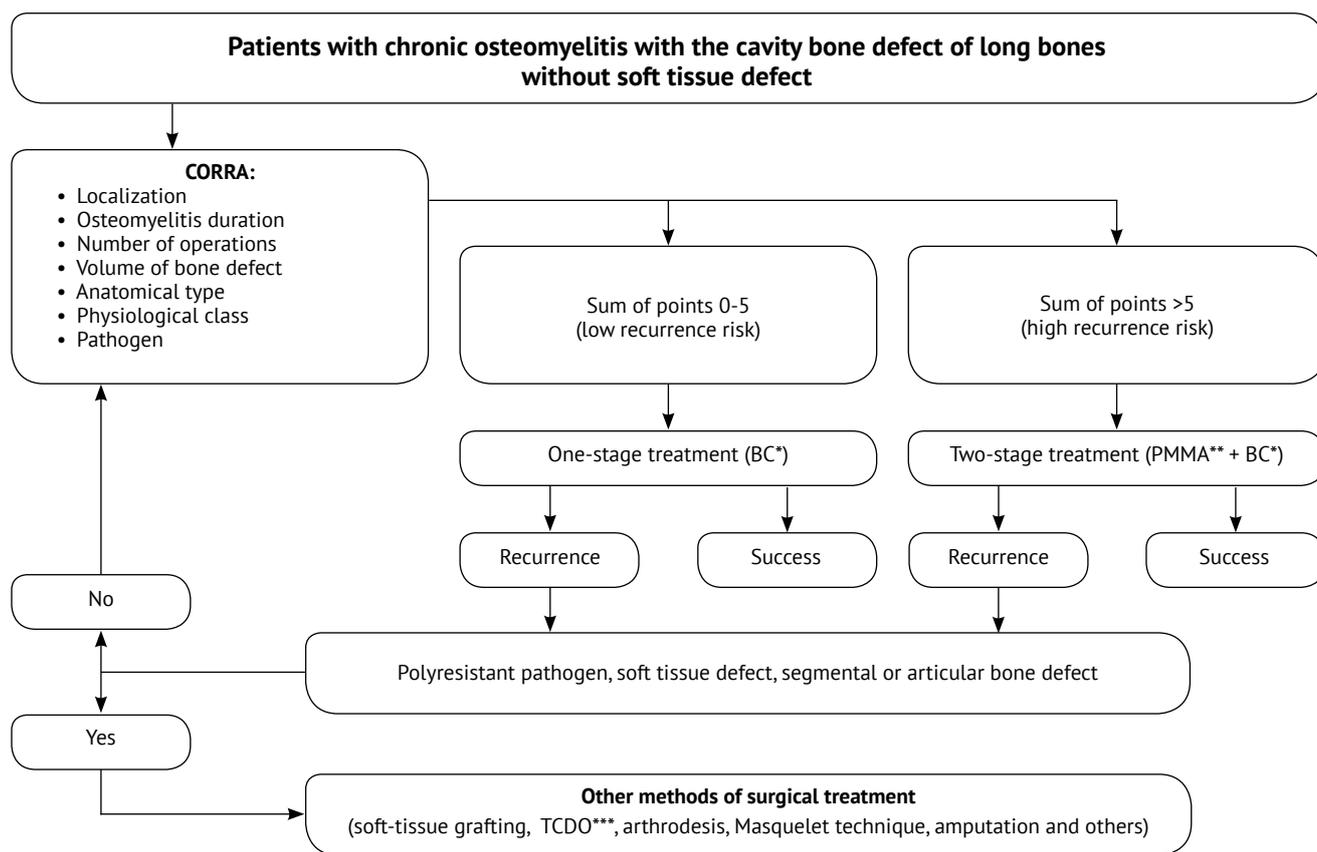
Based on the results obtained from the conducted research and practical experience in

treating patients, we formulated an algorithm for choosing a treatment strategy (Figure 2). The total score on the CORRA is calculated based on the patient's medical history and the results of clinical and laboratory examinations.

With a total score of 0 to 5, one-stage surgical treatment using a biocomposite osteo-replacement material is feasible. The choice of antibiotic depends on the results of microbiological testing; in the absence of such data, it is recommended to use broad-spectrum agents, such as fosfomycin or a combination of vancomycin with a drug active against Gram-negative pathogens.

For scores greater than 5 on the CORRA, two-stage treatment is preferred, using an antimicrobial spacer in the first stage and a biocomposite osteo-replacement material in the second stage.

In the event of an infection recurrence, it is necessary to assess the nature of the pathogen, the condition of the soft tissues, and the possible type of bone defect following the debridement. If a polymicrobial resistant pathogen is identified, preventing adequate local and systemic antibiotic therapy, the next step is to perform the muscle grafting of the bone defect. In cases of segmental or joint defects, reconstructive plastic operations are indicated to restore the bone defect or perform arthrodesis, often using external fixators (the Ilizarov technique) [24] or, less frequently, internal fixators (locking intramedullary osteosynthesis with antimicrobial cement coating, Masquelet technique) [25]. For soft tissue defects, soft tissue plastic surgery with a non-free or free flap is recommended [26, 27]. If a cavity bone defect in chronic osteomyelitis is associated with a soft tissue defect, the CORRA score is used to decide between one- or two-stage reconstruction in combination with skin-fascia or muscle grafting, or if possible, treatment may be performed using only a muscle flap. If the affected limb lacks the potential for functional recovery through reconstructive plastic surgeries, amputation should be considered as possible surgical treatment for the patient.



BC\* – biocomposite material; PMMA\*\* – polymethylmethacrylate; TCDO\*\*\* – transosseous compression-distraction osteosynthesis

**Figure 2.** Treatment algorithm for patients with chronic osteomyelitis of long bones

**DISCUSSION**

In our study, we did not find any correlation between the recurrence of osteomyelitis and age, gender, the pathogenesis of osteomyelitis, or laboratory indicators of inflammation (leukocytes and CRP), which aligns with findings from the scientific literature. The lack of influence of laboratory data (ESR, leukocyte count, CRP), gender, and age of the patient on the recurrence of infection when studying risk factors for the development of recurrent chronic osteomyelitis has also been noted in the works of A. Yalikul et al. in their analysis of the treatment of 149 patients [28] and K.N. Subramanyam et al., who analyzed the treatment outcomes of 147 patients with this condition [29].

Back in 1985, E.R. Wald identified that the primary risk factor for the development of chronic bone infections is the lack of thorough sanitation or delayed treatment of acute osteomyelitis [30]. In our study, we formulated CORRA based on

the risk factors for the recurrence of chronic osteomyelitis established during the first stage of statistical analysis, including localization, duration of osteomyelitis, number of debridement operations in the medical history, volume of bone defect, type of pathogen, physiological class, and anatomical type according to the Cierny-Mader classification.

The significance of the pathogen, the number of previous debridement operations, comorbidities, and bone defect in the development of recurrent infection has been noted in the works of other authors [28, 31, 32, 33, 34].

H. Wu et al. noted in their analysis of the treatment outcomes of 341 patients with chronic osteomyelitis that segmental bone defects, gram-negative infections, and smoking are risk factors for recurrence [31]. A. Yalikul et al. determined that in the treatment of patients with chronic posttraumatic osteomyelitis of the tibia using the Ilizarov method, the main

risk factors for recurrent infection are the pathogen *Pseudomonas aeruginosa*, soft tissue defects with bone exposure, and the number of previous operations (more than three) [28], which corresponds with the results of our study. These authors also classified the presence of a soft tissue defect as a risk factor for infection recurrence. However, patients with this condition were not included in our study.

In the treatment of 424 patients with chronic osteomyelitis of the long bones of the extremities using the Masquelet technique, X. Wang et al. found that the recurrence rate of infection in posttraumatic osteomyelitis was significantly higher than in hematogenous osteomyelitis [32]. However, our study did not reveal a significant impact of this factor on treatment outcomes.

X. Wang et al. also identified the number of repeated operations exceeding three, localization of the process in the tibia, and the presence of *Pseudomonas aeruginosa* as risk factors for the recurrence of osteomyelitis. A notable difference from our results is that the involvement of the femur carries a higher risk of recurrence compared to the involvement of the tibia. This may be related to the fact that X. Wang et al. included patients with soft tissue defects in a single general group, while chronic osteomyelitis of the lower leg is more frequently associated with soft tissue defects than other localizations. Additionally, X. Wang et al. evaluated treatment outcomes in patients with segmental bone defects, which may have influenced the discrepancies with our findings.

N.S. Shah et al. reported a 51% recurrence rate of infection in a two-stage treatment of 257 patients with posttraumatic osteomyelitis. They identified diabetes mellitus, intravenous drug use, and open fractures of the tibia as risk factors for unsatisfactory treatment outcomes [33]. According to the Cierny-Mader classification, diabetes mellitus and intravenous drug use correspond to physiological class B, which is also a risk factor in our study. P.M. Preobrazhensky et al. established that chronic iron-deficiency anemia, kidney disease, obesity, and cardiovascular pathology significantly influence the development of recurrent periprosthetic infections [34]. This aligns with the results of our study, as these

conditions fall under physiological class B according to the Cierny-Mader classification. A multifactorial analysis using classification trees enabled P.M. Preobrazhensky et al. to develop a comorbidity score to determine the risk of recurrent periprosthetic infection, while in our study, this analysis assisted in creating CORRA for chronic osteomyelitis of long bones.

### Limitations of the study

The limitation of our study is its retrospective nature and the inclusion of a small number of observations, which was determined by strict inclusion criteria, as well as the use of two different biocomposite materials for filling cavity defects. This necessitates further validation of the proposed method for scoring using CORRA and the formulated algorithm for the choice of treatment tactics within the framework of a prospective study.

### CONCLUSIONS

Significant risk factors for the recurrence of infection in patients with chronic osteomyelitis have been identified (localization, duration of osteomyelitis, presence of debridement operation in the medical history, volume of the bone defect, nature of the pathogen, physiological class, and anatomical type of osteomyelitis according to the Cierny-Mader classification), which facilitated the creation of a scale for Comprehensive Osteomyelitis Recurrence Risk Assessment (CORRA). The application of CORRA may assist in predicting the potential development of infection recurrence in relevant patients and in selecting a rational surgical treatment strategy in each specific case according to the formulated algorithm, which requires further research.

### DISCLAIMERS

#### Author contribution

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

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## REFERENCES

1. Brause B.D., Mandell G.L., Bennett J.E., Dolin R. Infections with prostheses in bones and joints. In: *Principles and Practice of Infectious Diseases*. 7<sup>th</sup> ed. Churchill Livingstone: Elsevier; 2010. Vol. 1. Part II. Section K. P. 1469.
2. Parkkinen M., Madanat R., Lindahl J., Mäkinen T.J. Risk factors for deep infection following plate fixation of proximal tibial fractures. *J Bone Jt. Surg. Am.* 2016;98(15):1292-1297. doi: 10.2106/JBJS.15.00894.
3. Bonneville P. Operative treatment of early infection after internal fixation of limb fractures (exclusive of severe open fractures). *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(1S):67-73. doi: 10.1016/j.otsr.2016.06.019.
4. Kremers H.M., Nwojo M.E., Ransom J.E., Wood-Wentz C.M., Melton L.J. 3<sup>rd</sup>, Huddleston P.M. 3<sup>rd</sup>. Trends in the epidemiology of osteomyelitis: a population-based study, 1969 to 2009. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(10):837-845. doi: 10.2106/JBJS.N.01350.
5. Klyushin N.M., Ababkov Yu.V., Burnashov S.I., Mikhailov A.G., Shlyakhov V.I. Osteomyelitis. Clinical recommendations. 2016. Available from: [https://medi.ru/klinicheskie-rekomendatsii/osteomielit\\_14120/#part\\_13](https://medi.ru/klinicheskie-rekomendatsii/osteomielit_14120/#part_13). (In Russian).
6. Zelyanin A.S., Fillipov V.V., Suvorov N.A. The correction of knee joint defects using free revascularized autografts in the patients presenting with chronic epimetaphyseal osteomyelitis. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine.* 2012;(1):82-88. (In Russian).
7. Ovdenko A.G. External osteosynthesis in gunshot fractures. Saint-Petersburg; 2011. 286 p. (In Russian).
8. Birt M.C., Anderson D.W., Toby E.B., Wang J. Osteomyelitis: Recent advances in pathophysiology and therapeutic strategies. *J Orthop.* 2016;14(1):45-52. doi: 10.1016/j.jor.2016.10.004.
9. Derkachev V.S., Alekseev S.A., Bordakov V.N., Elin I.A., Derkachev D.V. On the issue of complex treatment of chronic posttraumatic osteomyelitis. *Traumatology and orthopedics.* 2015;(3-4):43-44. (In Russian).
10. Rimashevskiy D., Akhtyamov I., Fedulichev P., Zaalán W., Ustazov K., Basith A. et al. Pathogenetic features of chronic osteomyelitis treatment. *Genij Ortopedii.* 2021;27(5):628-635. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-5-628-635.
11. Rumyantsev D.O., Airapetov G.A., Vorotnikov A.A. The current state of the problem of soft tissue defects replacement in the lower extremities in conditions of chronic osteomyelitis. *Innovative Medicine of Kuban.* 2022;(1):69-76. (In Russian). doi: 10.35401/2500-0268-2022-25-1-69-76.
12. Hung C.H., Ko J.Y., Liao P.S., Yeh C.W., Hsu C.C., Lin M.C. et al. Epidemiology of fatal/non-fatal suicide among patients with chronic osteomyelitis (COM): a nationwide population-based study. *J Int Med Res.* 2020;48(6):300060520919238. doi: 10.1177/0300060520919238.
13. Shastov A., Stupina T., Migalkin N. Malignancy in chronic osteomyelitis of the femur: a case report. *Genij Ortopedii.* 2023;29(1):92-98. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-1-92-98.
14. Jiang N., Wu H.T., Lin Q.R., Hu Y.J., Yu B. Health Care Costs of Post-traumatic Osteomyelitis in China: Current Situation and Influencing Factors. *J Surg Res.* 2020;247:356-363. doi: 10.1016/j.jss.2019.10.008.
15. Lu S., Wang L., Luo W., Wang G., Zhu Z., Liu Y. et al. Analysis of the epidemiological status, microbiology, treatment methods and financial burden of hematogenous osteomyelitis based on 259 patients in Northwest China. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;13:1097147. doi: 10.3389/fendo.2022.1097147.
16. Conterno L.O., da Silva Filho C.R. Antibiotics for treating chronic osteomyelitis in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;(3):CD004439.
17. Jiang N., Ma Y.F., Jiang Y., Zhao X.Q., Xie G.P., Hu Y.J. et al. Clinical Characteristics and Treatment of Extremity Chronic Osteomyelitis in Southern China. *Medicine (Baltimore).* 2015;94(42):e1874. doi: 10.1097/MD.0000000000001874.
18. Tulner S.A.F., Schaap G.R., Strackee S.D., Besselaar P.P., Luitse J.S., Marti R.K. Long-term results of multiple-stage treatment for post-traumatic osteomyelitis of the tibia. *J Trauma.* 2004;56(3):633-642. doi: 10.1097/01.ta.0000112327.50235.0a.
19. Sudnitsyn A.S., Kliushin N.M., Stupina T.A., Diachkova G.V. Analysis of the use of transosseous osteosynthesis in the treatment of patients with diabetic osteoarthropathy complicated by chronic osteomyelitis. *Genij Ortopedii.* 2023;29(4):388-394. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-388-394.
20. Heitzmann L.G., Battisti R., Rodrigues A.F., Lestingi J.V., Cavazzana C., Queiroz R.D. Postoperative Chronic Osteomyelitis in the Long Bones Current Knowledge and Management of the Problem. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2019;54(6):627-635. doi: 10.1016/j.rbo.2017.12.013.
21. Afanasyev A.V., Bozhkova S.A., Artyukh V.A., Labutin D.V., Liventsov V.N., Kochish A.A. Synthetic bone replacement materials used for one-stage treatment of chronic osteomyelitis. *Genij Ortopedii.* 2021;27(2):232-236. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-232-236.
22. McNally M.A., Ferguson J.Y., Scarborough M., Ramsden A., Stubbs D.A., Atkins B.L. Mid- to long-term results of single-stage surgery for patients with chronic osteomyelitis using a bioabsorbable gentamicin-loaded ceramic carrier. *Bone Joint J.* 2022;104-B(9):1095-1100. doi: 10.1302/0301-620X.104B9.BJJ-2022-0396.R1.

23. Ma X., Han S., Ma J., Chen X., Bai W., Yan W. et al. Epidemiology, microbiology and therapeutic consequences of chronic osteomyelitis in northern China: A retrospective analysis of 255 Patients. *Sci Rep.* 2018;8(1):14895. doi: 10.1038/s41598-018-33106-6.
24. Lapyinin A.I., Safronov A.A., Shevtsov V.I., Kim V.I., Lapyinin D.A., Safronov A.A. Method of controlled transosseous osteosynthesis. Structure and basic concepts of biochemical and metabolic processes in dynamics of treatment of patients with chronic osteomyelitis. *Izvestiya of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences. Social, humanitarian, medicobiological sciences.* 2020;22(70):75-82. (In Russian).
25. Shi J., Yang X., Song M., Zhang X., Xu Y. Clinical effects of early debridement, internal fixation, and Masquelet technique for childhood chronic haematogenous osteomyelitis of long bones. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):11. doi: 10.1186/s13018-022-03478-7.
26. Tikhilov R.M., Kochish A.Yu., Rodomanova L.A., Razorenov V.L., Kozlov I.V. Modern tendencies in lower extremity plasty using flaps with axial blood supply. *N.N. Prikorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2007;(2):71-75. (In Russian).
27. Zhang X., Yang X., Chen Y., Wang G., Ding P., Zhao Z. et al. Clinical study on orthopaedic treatment of chronic osteomyelitis with soft tissue defect in adults. *Int Wound J.* 2022;19(6):1349-1356. doi: 10.1111/iwj.13729.
28. Yalikul A., Yushan M., Li W., Abulaiti A., Yusufu A. Risk factors associated with infection recurrence of posttraumatic osteomyelitis treated with Ilizarov bone transport technique – a retrospective study of 149 cases. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):573. doi: 10.1186/s12891-021-04430-2.
29. Subramanyam K.N., Mundargi A.V., Prabhu M.V., Gopakumar K.U., Gowda D.S.A., Reddy D.R. Surgical management of chronic osteomyelitis: Organisms, recurrence and treatment outcome. *Chin J Traumatol.* 2023;26(4):228-235. doi: 10.1016/j.cjtee.2023.01.003.
30. Wald E.R. Risk factors for osteomyelitis. *Am J Med.* 1985;78(6B):206-212. doi: 10.1016/0002-9343(85)90386-9.
31. Wu H., Sun D., Wang S., Jia C., Shen J., Wang X. et al. Incidence and risk factors of recurrence in limb osteomyelitis patients after antibiotic-loaded cement spacer for definitive bone defect treatment. *Bone Joint Res.* 2023;12(8):467-475. doi: 10.1302/2046-3758.128.BJR-2022-0413.R2.
32. Wang X., Wang S., Fu J., Sun D., Shen J., Xie Z. Risk factors associated with recurrence of extremity osteomyelitis treated with the induced mem-brane technique. *Injury.* 2020;51(2):307-311. doi: 10.1016/j.injury.2019.11.026.
33. Shah N.S., Kanhere A.P., Dowell E., Sabbagh R.S., Bonamer J., Franklin A. et al. Risk Factors and Characteristics of Recalcitrant Osteomyelitis After Initial Surgical and Antibiotic Treatment. *J Orthop Trauma.* 2023;37(9):423. doi: 10.1097/BOT.0000000000002616.
34. Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(1):7-18. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1718.

## Authors' information

✉ Alexander V. Afanasyev – Cand. Sci. (Med.)  
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,  
195427, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7846>  
e-mail: afanasyev1307@mail.ru

Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.), Professor  
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>  
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Vasily A. Artyukh – Dr. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>  
e-mail: artyukhva@mail.ru

## Причины ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава после гемиартропластики по поводу перелома шейки бедренной кости

А.Н. Цед, Н.Е. Муштин, А.К. Дулаев

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

### Реферат

**Введение.** Применение гемиартропластики у пациентов пожилого возраста с переломами шейки бедренной кости до сих пор вызывает споры в научной литературы.

**Цель** — проанализировать неудовлетворительные результаты применения гемиэндопротезов и сравнить их с аналогичными исходами тотального эндопротезирования тазобедренного сустава после перелома шейки бедра у пациентов старших возрастных групп.

**Материал и методы.** Проведено ретроспективное рандомизированное исследование, в которое вошли 36 пациентов, подвергшихся ревизионному эндопротезированию после различных вариантов артропластики по поводу перелома шейки бедренной кости. Пациенты были разделены на три группы. В 1-ю группу вошли 10 пациентов, которым эндопротезирование выполнялось с применением гемиэндопротезов, во 2-ю — 15 пациентов после тотального эндопротезирования с использованием вертлужных компонентов цементной фиксации, в 3-ю — 11 пациентов, которым были установлены вертлужные компоненты бесцементной фиксации.

**Результаты.** Средний возраст больных на момент выполнения ревизионного эндопротезирования в 1-й группе составил 79 лет и статистически значимо отличался от возраста пациентов 2-й и 3-й групп (74,4 и 74,9 лет соответственно). Средний срок ревизионных вмешательств после гемиартропластики составил 40,2 мес. и значимо отличался от сроков ревизий после тотального цементного (82,7 мес.) и тотального бесцементного (86,6 мес.) эндопротезирования. Средний срок появления болевого синдрома у пациентов 2-й группы составил 68,2 мес., а у пациентов 3-й группы — 71,2 мес. Наиболее часто встречались костные дефекты типов 2С и 3А (суммарно 41,6% во всех группах). Во всех 100% случаев выполнения гемиартропластики были допущены ошибки в выборе величины вертлужного биполярного или монополярного компонента. Использование чашки гемипротеза большего размера по сравнению с головкой бедренной кости приводило к ранней эрозии хрящевой ткани, а меньшего размера — к развитию ранних протрузий дна вертлужной впадины. Основными ошибками тотального эндопротезирования являлись мальпозиция ацетабулярного компонента (33,3–54,5%) и неадекватная цементная мантия (20%). Необходимо отметить, что инфекции у пациентов 2-й и 3-й групп развивались в сроки до 24,7 мес. после первичной артропластики.

**Заключение.** Ошибки, связанные с неправильным выбором размера ацетабулярного компонента эндопротеза во время первичной гемиартропластики, приводят к ранним осложнениям — эрозии и протрузии вертлужной впадины. Выраженный болевой синдром при неправильном выборе размера вертлужного компонента гемиэндопротеза развивается в среднем через 13,9 мес., а сроки выполнения ревизионного эндопротезирования составляют 40,2 мес. после первичной операции. При эрозиях вертлужной впадины костные дефекты отсутствуют, при протрузиях, чаще возникают костные дефекты типов 2С и 3А. В сравнении с исходами тотального эндопротезирования тазобедренного сустава при использовании гемиэндопротезов отмечается их низкая выживаемость (40,2 мес.).

**Ключевые слова:** перелом шейки бедренной кости, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, гемиартропластика, биполярное эндопротезирование, осложнения.

 **Для цитирования:** Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К. Причины ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава после гемиартропластики по поводу перелома шейки бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):25-37. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17545>.

 Цед Александр Николаевич; e-mail: [travma1@mail.ru](mailto:travma1@mail.ru)

Рукопись получена: 07.05.2024. Рукопись одобрена: 19.08.2024. Статья опубликована онлайн: 29.11.2024.

© Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., 2024

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17545>

## Causes of Revision Hip Arthroplasty After Hemiarthroplasty for Femoral Neck Fracture

Alexander N. Tsed, Nikita E. Mushtin, Alexander K. Dulaev

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

### Abstract

**Background.** Hemiarthroplasty as a surgical choice for elderly patients with femoral neck fractures is still a matter of scientific controversy.

**The aim of the study** is to analyse unsatisfactory outcomes of hemiarthroplasty and compare them with the similar outcomes of total hip arthroplasty in elderly patients with femoral neck fractures.

**Methods.** We conducted a retrospective randomized study, which enrolled 36 patients who underwent revision endoprosthetics after various types of arthroplasty for a femoral neck fracture. The patients were divided into 3 groups. Group 1 included 10 patients who underwent arthroplasty with the use of hemiendoprostheses; Group 2 — 15 patients with cemented acetabular components; Group 3 — 11 patients who had cementless acetabular components.

**Results.** The average age of patients in Group 1 at the time of revision arthroplasty was 79 years and was statistically significantly different from the age of patients in Groups 2 and 3 (74.4 and 74.9 years, respectively). The average time for revision interventions after hemiarthroplasty was 40.2 months and significantly differed from the time for the revisions after total cemented (82.7) as well as total cementless (86.6) arthroplasties. The average time for the onset of pain among patients in Group 2 was 68.2 months, and among patients in Group 3 — 71.2 months. The most common bone defects were types 2C and 3A (total of 41.6% in all groups). There were errors in choice of the size of the acetabular bipolar or monopolar component in all 100% of hemiarthroplasty cases. The use of a larger hemiendoprosthesis cup compared to the femoral head led to early erosion of cartilage tissue. Smaller hemiendoprosthesis cups were complicated by early protrusions of the acetabulum floor. The main errors in total arthroplasty were malposition of the acetabular component (33.3-54.5%) and inadequate cement mantle (20%). It should be noted that infections among patients from Groups 2 and 3 developed up to 24.7 months after primary arthroplasty.

**Conclusions.** Errors associated with incorrect choice of the acetabular endoprosthesis component size during primary hemiarthroplasty lead to early complications: erosion and protrusion of the acetabulum. Severe pain syndrome due to incorrect selection of the acetabular hemiendoprosthesis component size develops on average after 13.9 months, and the time period for revision endoprosthetics is 40.2 months after the primary operation. With erosions of the acetabulum, there are no bone defects; with protrusions — bone defects of type 2C and 3A more often occur. In comparison with the outcomes of total hip arthroplasty, the use of hemiendoprostheses shows a low survival rate of 40.2 months.

**Keywords:** femoral neck fracture, revision hip arthroplasty, hemiarthroplasty, bipolar arthroplasty, complications.

**Cite as:** Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K. Causes of Revision Hip Arthroplasty After Hemiarthroplasty for Femoral Neck Fracture. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):25-37. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17545>.

✉ Alexander N. Tsed; e-mail: [travma1@mail.ru](mailto:travma1@mail.ru)

Submitted: 07.05.2024. Accepted: 19.08.2024. Published online: 29.11.2024.

© Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Гемиартропластика является методом выбора при эндопротезировании тазобедренного сустава у пациентов пожилого возраста с переломами шейки бедренной кости [1, 2, 3, 4, 5]. Основными преимуществами гемиартропластики по сравнению с тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава (ТБС) является значимо меньшее время операции и объем периоперационной кровопотери [6, 7, 8], а также меньшая частота послеоперационных вывихов эндопротеза [3, 9]. Однако, если говорить об отдаленных функциональных результатах эндопротезирования ТБС, то гемиартропластика существенно уступает тотальной замене ТБС. На сегодняшний день существует два варианта гемиэндопротезов: монополярные и биполярные (модульные). Несмотря на то, что в современной литературе встречаются публикации, указывающие на отсутствие разницы в результатах применения моно- и биполярных чашек эндопротезов [10], использование модульных систем показывает лучшие функциональные исходы операции в среднесрочной перспективе [11, 12]. Большое число исследований в последние годы посвящено анализу отдаленных результатов гемиартропластики ТБС в сравнении с тотальным эндопротезированием. Авторы приводят противоречивые данные и не отдают предпочтения тому или иному виду артропластики у пациентов пожилого возраста с переломами шейки бедренной кости.

**Цель исследования** — проанализировать неудовлетворительные результаты применения гемиэндопротезов и сравнить их с аналогичными исходами тотального эндопротезирования тазобедренного сустава после перелома шейки бедра среди пациентов старших возрастных групп.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

На базе клиники травматологии и ортопедии ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова в период с 2020 по 2023 г. проведено ретроспективное исследование, в которое вошли 36 пациентов, подвергшихся

ревизионному эндопротезированию ТБС после различных вариантов артропластики по поводу перелома шейки бедренной кости в анамнезе. Ревизионное эндопротезирование у пациентов всех групп выполнялось одной хирургической бригадой.

Пациенты были разделены на три группы сравнения. В 1-ю группу вошли 10 (27,7%) пациентов, которым эндопротезирование ТБС выполнялось с применением различных вариантов гемиэндопротезов; 2-ю группу составили 15 (41,6%) пациентов с установленными вертлужными компонентами (ВК) цементной фиксации; в 3-ю — 11 (30,7%) больных, которым были установлены вертлужные компоненты бесцементной пресс-фит фиксации. Все пациенты 1-й группы (гемиартропластика), а также более 75% больных 2-й (цементные вертлужные компоненты) и 3-й групп (бесцементные вертлужные компоненты) исследования ранее были оперированы в городских больницах Санкт-Петербурга и других регионов Российской Федерации.

**Критерии включения** в исследование: возраст пациентов старше 60 лет; эндопротезирование ТБС по поводу свежего перелома шейки бедренной кости типов В1 и В2 по классификации АО в анамнезе.

**Критерий невключения** в исследование: декомпенсация соматической патологии.

### Характеристика пациентов

Перед выполнением ревизионного эндопротезирования ТБС производилась оценка половозрастных характеристик пациентов всех групп: определяли ИМТ, локализацию болей и степень их выраженности по ВАШ, наличие или отсутствие хромоты, срок с момента первичного хирургического вмешательства. Оценивали данные рентгенограмм и МСКТ в отношении имплантированных компонентов, наличия и классификационного типа костных дефектов вертлужной впадины (по W. Paprosky), функциональные показатели по шкале OHS и степень активности пациентов по шкале ВОЗ/ECOG [13]. Исходные характеристики пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общая характеристика пациентов групп исследования

Показатель	Стат. показатель	Группа 1 (n = 10)	Группа 2 (n = 15)	Группа 3 (n = 11)	p
Возраст, лет	M±SD	79,0±7,2	74,4±7,8	74,9±6,1	$p_{1-2} = 0,29$ $p_{1-3} = 0,36$ $p_{2-3} = 0,98$
	Min-max	66–88	65–86	6–82	
	Me [LQ; UQ]	80 [77,5; 83,5]	75 [67,5; 81,5]	79 [70,0; 79,0]	
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	M±SD	26,88±6,02	27,4±5,02	26,2±4,5	>0,05
	Min-max	18–37	19–37	18–31	
	Me [LQ; UQ]	26,7 [23,5; 30,6]	28,1 [24,6; 30,3]	28,4 [23,6; 29,9]	

Окончание таблицы 1

Показатель	Стат. показатель	Группа 1 (n = 10)	Группа 2 (n = 15)	Группа 3 (n = 11)	p
Lahey Clinic Hip Implant Standartization Score	M±SD	13,90±1,66	16,10 ±2,73	17,30±2,76	$p_{1-2} = 0,11$ $p_{1-3} = 0,05$ $p_{2-3} = 0,43$
	Min-max	11–16	13–22	13–22	
	Me [LQ; UQ]	14 [13; 15]	15 [14; 18]	18 [15,5; 18,5]	
Срок с момента первичного ЭП ТБС, мес.	M±SD	40,2±28,4	82,7±47,1	86,6±39,1	$p_{1-2} = 0,04$ $p_{1-3} = 0,02$ $p_{2-3} = 0,91$
	Min-max	5–85	9–132	10–127	
	Me [LQ; UQ]	35 [16,0; 60,0]	108 [39,0; 115,5]	97 [95,5; 101,0]	
Пол пациентов					
мужчины		1 (10%)	3 (20%)	3 (27,3%)	
женщины		9 (90%)	8 (80%)	7 (72,7%)	
Тип гемизендопротеза и ВК (первичное ЭП ТБС)					
монополярный		3 (30%)	–	–	
биполярный		7 (70%)	–	–	
цементный (low profile)		–	3 (20%)	–	
цементный (full profile)		–	12 (80%)	–	
бесцементный (прокладка – обычный полиэтилен)		–	–	9 (81,8%)	
бесцементный (поперечносвязанный полиэтилен)		–	–	2 (18,2%)	

### Послеоперационный период

После операции в течение 6 нед. пациентам рекомендовалось ходить на костылях без осевой нагрузки, в течение еще 6 нед. допускалась дозированная осевая нагрузка с ее постепенным увеличением.

### Статистический анализ

Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA v.13.3 (StatSoft.Inc).

Количественные показатели (возраст, сроки появления болевого синдрома, сроки ревизионных вмешательств, функциональные показатели по шкалам OHS, ВОЗ/ECOG) оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро–Уилка. Статистическая значимость различий количественных показателей, имеющих нормальное распределение (срок выполнения ревизионных вмешательств, баллы по ВАШ, функциональные показатели по шкале ВОЗ/ECOG, баллы по системе выбора имплантатов клиники Lahey) между группами оценивалась при помощи многофакторного дисперсионного анализа путем расчета критерия F Фишера. В случае обнаружения статистически значимых различий между группами дополнительно проводилось сравнение совокупностей попарно при помощи апостериорного критерия Шеффе. При сравнении нескольких выборок количественных данных,

имеющих распределение, отличное от нормального (возраст, срок появления боли, функциональные показатели по шкале OHS) использовался критерий Краскела–Уоллиса. В случае обнаружения статистически значимых различий между группами дополнительно проводилось парное сравнение совокупностей при помощи апостериорного критерия Данна.

Сравнение номинальных данных ошибок, допущенных при первичной операции, и причин ревизий проводилось при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона. В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных показателей использовался показатель относительного риска (ОР), отражающий, во сколько раз риск исхода при наличии фактора риска выше риска исхода при отсутствии фактора риска. Оценка функции выживаемости пациентов проводилась по методу Каплана–Мейера. При описании количественного признака, распределение которого отличается от нормального, указывались медиана (Me), значения нижнего и верхнего квартилей [LQ; UQ].

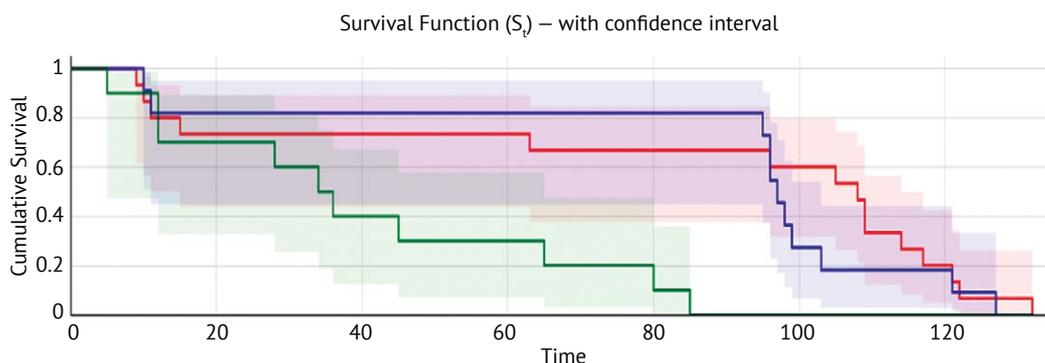
### РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследовании было значимо большее количество пациентов женского пола во всех группах: 24 (66,6%) женщины, 12 (33,4%) мужчин. Данное соотношение при ревизионной артропластике соответствует данным литературы о гендерном распределении при первичном эндопротезировании ТБС по поводу переломов шейки бедренной кости у пациентов пожилого и старческого возраста [14].

Средний возраст больных, подвергшихся ранее гемиаартропластике, статистически значимо ( $p < 0,05$ ) отличался от среднего возраста пациентов 2-й и 3-й групп. При оценке адекватности показаний к выполнению первичного эндопротезирования ТБС по поводу перелома шейки бедренной кости в анамнезе мы использовали систему клиники Lahey, разработанную в начале 1990-х гг. [15]. При этом получена незначительная статистическая разница между показателями в 1-й и 3-й группах исследования ( $p = 0,05$ ). Однако наиболее важным выводом является то, что удалось доказать расши-

рение показаний к установке гемизэндопротезов пациентам 1-й группы. Таким образом, одной из основных причин неудовлетворительных исходов ЭП ТБС в 1-й группе являлась установка гемизэндопротезов не по показаниям пожилым, но достаточно активным и соматически не отягощенным пациентам.

Были установлены сроки, прошедшие с момента гемиаартропластики и имплантации различных вариантов вертлужного компонента эндопротеза ТБС по поводу перелома шейки бедренной кости (рис. 1).



**Рис. 1.** Кривая Каплана – Мейера относительно сроков выполнения ревизионного эндопротезирования ТБС у пациентов, оперированных с применением гемизэндопротеза и различных вариантов вертлужного компонента эндопротеза: зеленый цвет — гемизэндопротез; синий — тотальное эндопротезирование ТБС с использованием цементного вертлужного компонента; красный — тотальное эндопротезирование ТБС с использованием бесцементного вертлужного компонента

**Figure 1.** The Kaplan-Meier curve illustrating the timing of revision hip arthroplasty in patients treated with hemiarthroplasty or total hip arthroplasty using various types of acetabular components: green — hemiarthroplasty; blue — total hip arthroplasty with a cemented acetabular component; red — total hip arthroplasty with an uncemented acetabular component

Пятилетняя выживаемость компонентов, установленных ранее в городских больницах, рассчитанная по методике Каплана – Мейера составила: бесцементных чашек — 81%, цементных — 72%, гемизэндопротезов — 36%. Средние сроки ревизионных вмешательств после гемиаартропластики составили  $40,2 \pm 28,4$  мес. и статистически значимо ( $p = 0,04$ ) отличались от сроков ревизий после тотального цементного ( $82,7 \pm 47,1$  мес.) и тотального бесцементного ( $86,6 \pm 39,1$  мес.) эндопротезирования ( $p = 0,02$ ) согласно многофакторному дисперсионному анализу (тест ANOVA).

Не меньший интерес вызвали данные о сроках появления болевого синдрома в оперированном ТБС после первичной артропластики по поводу перелома шейки бедренной кости. Статистически значимые отличия получены только между пациентами 1-й и 2-й, а также 1-й и 3-й групп. Между 2-й и 3-й группами разницы в сроках появления болевого синдрома не получено. Также была проведена оценка локализации и степени выражен-

ности боли по ВАШ во всех группах исследования (табл. 2).

В 72,2% случаев отмечались боли в паху у всех пациентов, что соответствует клинической картине нестабильности вертлужного компонента эндопротеза. У 7 (19,4%) пациентов 2-й и 3-й групп боли локализовались по латеральной и передней поверхностям верхней трети бедра, что свидетельствовало о наличии проблем со стабильностью бедренного компонента эндопротеза. У 80% пациентов после гемиаартропластики боли локализовались в паху. По степени выраженности боли при поступлении в стационар для выполнения ревизионного эндопротезирования статистической разницы в результатах между группами не получено. Также не было получено статистически значимых отличий в функциональных показателях по 48-балльной шкале OHS и степени активности по шкале ВОЗ/ECOG между группами перед выполнением ревизионной артропластики.

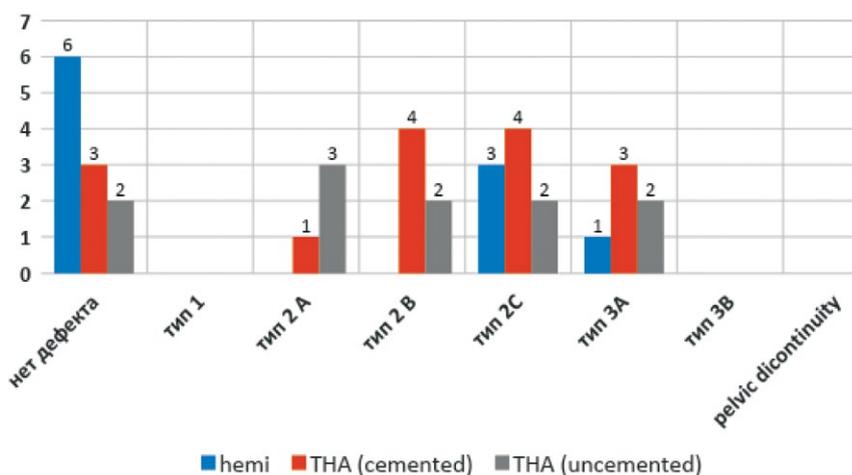
Таблица 2

**Оценка функциональных показателей и болевого синдрома у пациентов трех групп исследования перед выполнением ревизионной артропластики**

Параметр	Показатели	Группа 1 (n = 10)	Группа 2 (n = 15)	Группа 3 (n = 11)	p
Срок появления боли после первичного ЭП, мес.	M±SD	13,9±16,2	68,2±40,7	71,2±35,9	$p_{1-2} = 0.001$ $p_{1-3} = 0.001$ $p_{2-3} = 0.405$
	Min-max	0,5–48	4–120	10–118	
	Me [LQ; UQ]	10 [1,25; 17,25]	89 [32; 92]	82 [65,5; 84,0]	
Локализация боли:					
пах		8 (80%)	11 (73,4%)	8 (72,7%)	
бедро, спереди		1 (10%)	2 (13,3%)	0 (0%)	
бедро, сзади		1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
бедро, латерально		0 (0%)	2 (13,3%)	3 (27,3%)	
ВАШ, баллы	M±SD	8,70±0,67	8,40±0,83	8,40±1,21	$p_{1,2,3} > 0,05$
	Min-max	8–10	7–10	6–10	
	Me (LQ; UQ)	9 [8; 9]	8 [8; 9]	9 [8; 9]	
OHS, баллы	M±SD	19,3±3,1	21,9±4,9	21,3±4,1	$p_{1,2,3} > 0,05$
	Min-max	14–23	14–29	14–27	
	Me (LQ; UQ)	20 [17,3; 21,7]	22 [18,0; 26,0]	21 [18,5; 24,5]	
ВОЗ/ECOG, баллы	M±SD	2,7±0,8	2,7±0,5	2,7±0,6	$p_{1,2,3} > 0,05$
	Min-max	2–4	2–4	2–4	
	Me (LQ; UQ)	2,5 [2; 3]	3 [2; 3]	3 [2; 3]	

Также были проанализированы данные лучевых методов диагностики (стандартная рентгенография и МСКТ) в отношении костных дефектов, а также ошибок, допущенных в процессе первичного эндопротезирования. У 6 (60%) больных после гемиартропластики не отмечено костных дефектов, что было связано только с эрозией хрящевой ткани вертлужной впадины, возникавшей

в ранние сроки после первичного эндопротезирования ТБС. Кроме того, не отмечено тяжелых костных дефектов типа 3B и pelvic discontinuity, а также легких дефектов типа 1 среди всех пациентов. Наиболее часто встречались костные дефекты типов 2C и 3A – суммарно 41,6% во всех группах исследования (рис. 2).



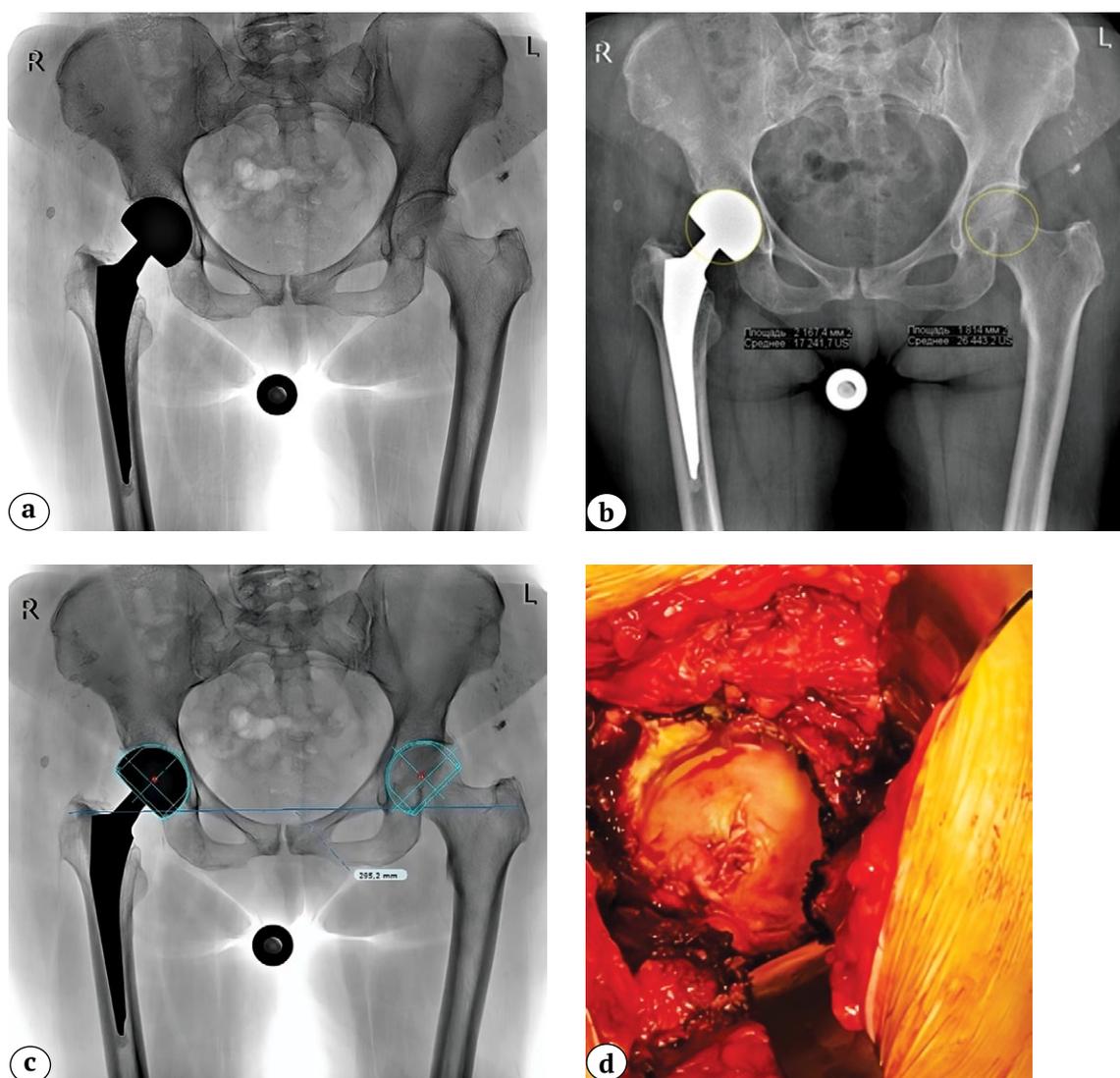
**Рис. 2.** Типы костных дефектов вертлужной впадины по классификации Paprosky в группах исследования  
**Figure 2.** Types of acetabular bone defects according to Paprosky classification in the study groups

Истинный размер головки гемизэндопротеза определяется только интраоперационно при помощи штангенциркуля или специальных шаблонов. Однако в нашем случае определить размер головки было невозможно в связи с ретроспективным характером исследования. Первичные данные были получены из других стационаров. Поэтому мы сконцентрировались на оценке данных лучевых исследований, которые косвенно могли свидетельствовать об ошибках, допущенных при выборе размера имплантата.

При анализе цифровых обзорных рентгеновских снимков таза, выполненных в программе Weasis medical viewer 2.0.2, были рассчитаны значения площади окружности головки бедренной кости со здоровой стороны и выполнено их сравнение с аналогичными значениями площади окружности вертлужного компонента гемизэндопротеза. Данный метод не является точным — погрешность составляет до 0,8 мм<sup>2</sup>. Кроме того, дополнительно была проведена оценка величины головки гемизэндопротеза по шаблонам (Bipolar Metall Shell, Zimmer), установленным из программы предоперационного планирования TraumaCad v. 2.5.7 (Brainlab), которая позволяет проводить точную калибровку размеров. Измерения проводились по окружности вертлужной впадины здорового сустава в сравнении с ТБС, оперированным ранее. Таким образом нам удалось нивелировать погрешность измерений окружности головки бедренной кости без учета толщины хрящевого слоя. В тех случаях, когда размер установленного компонента гемизэндопротеза был больше по сравнению с размером вертлужной впадины контралатерального сустава, можно было утверждать об ошибке при выборе размера гемизэндопротеза в процессе первичного ЭП ТБС. Результаты, полученные в ходе исследования, позволили установить, что во всех 100% случаев выполнения гемиаартропластики были допущены ошибки при выборе размера головки биполярного или монополярного компонента. Использование головки

гемизэндопротеза большего размера по сравнению с вертлужной впадиной приводило к ранней эрозии хрящевой ткани вертлужной впадины (рис. 3). Применение головки гемизэндопротеза меньшего размера, чем головка здоровой бедренной кости, приводило к ранним протрузиям дна вертлужной впадины (рис. 4).

При оценке данных лучевых методов диагностики во 2-й и 3-й группах исследования отмечены ошибки позиционирования и установки компонентов (табл. 3). Частота ошибок в 1-й группе составила 100% (несоответствие размера головки гемизэндопротеза анатомическому размеру головки бедра), во 2-й группе — 53,3%; в 3-й группе — 54,5%. Основными ошибками тотального эндопротезирования являлись мальпозиция ацетабулярного компонента (33,3–54,5%) и неадекватная цементная мантия (20%). В структуре причин выполнения ревизионного эндопротезирования ТБС у всех пациентов 1-й группы основным фактором, потребовавшим выполнения повторного хирургического вмешательства, была острая, некупирующаяся лекарственными препаратами боль. У пациентов 2-й и 3-й групп исследования болевой синдром не являлся основной причиной выполнения ревизионного ЭП ТБС, хотя и был выявлен при клиническом осмотре. Среди пациентов, которым были установлены цементные вертлужные компоненты, 10 (66,6%) больных были повторно оперированы по причине асептического расшатывания, 2 (13,3%) из-за поздних инфекционных осложнений, 2 (13,3%) по причине рецидивирующего вывиха и 1 (6,8%) из-за остеолита. У пациентов 3-й группы (бесцементные вертлужные компоненты) основной причиной ревизионного ЭП ТБС послужило также асептическое расшатывание вертлужного компонента (6 пациентов — 54,5%), остеолит (3 пациента — 27,3%) и поздняя перипротезная инфекция (2 пациента — 18,2%). Необходимо отметить, что инфекция у пациентов 2-й и 3-й групп исследования развивалась в сроки до 24,7 мес. после первичной артропластики.



**Рис. 3.** Клинико-рентгенологическая картина эрозии хрящевой ткани вертлужной впадины, развившейся у пациентки 77 лет через 2,5 года после первичной гемиаартропластики по поводу перелома шейки правой бедренной кости:

a — первичный обзорный рентгеновский снимок таза (через 2,5 года после эндопротезирования) — определяется биполярный гемиэндопротез;

b — расчет площади окружности головки бедренной кости с левой здоровой стороны (18,1 см<sup>2</sup>), справа — расчет площади окружности биполярной головки эндопротеза — 21,6 см<sup>2</sup>, увеличение данного параметра на 3,5 см<sup>2</sup>;

c — данные предоперационного планирования, выполненного в программе TraumaCad 2.5.7. Размер головки гемиэндопротеза (50 мм) правой ТБС спроецирован на левую сторону. Отмечается захождение шаблона на контуры вертлужной впадины;

d — эрозия вертлужной впадины, хрящевая ткань отмечается только по периферии окружности в области крыши

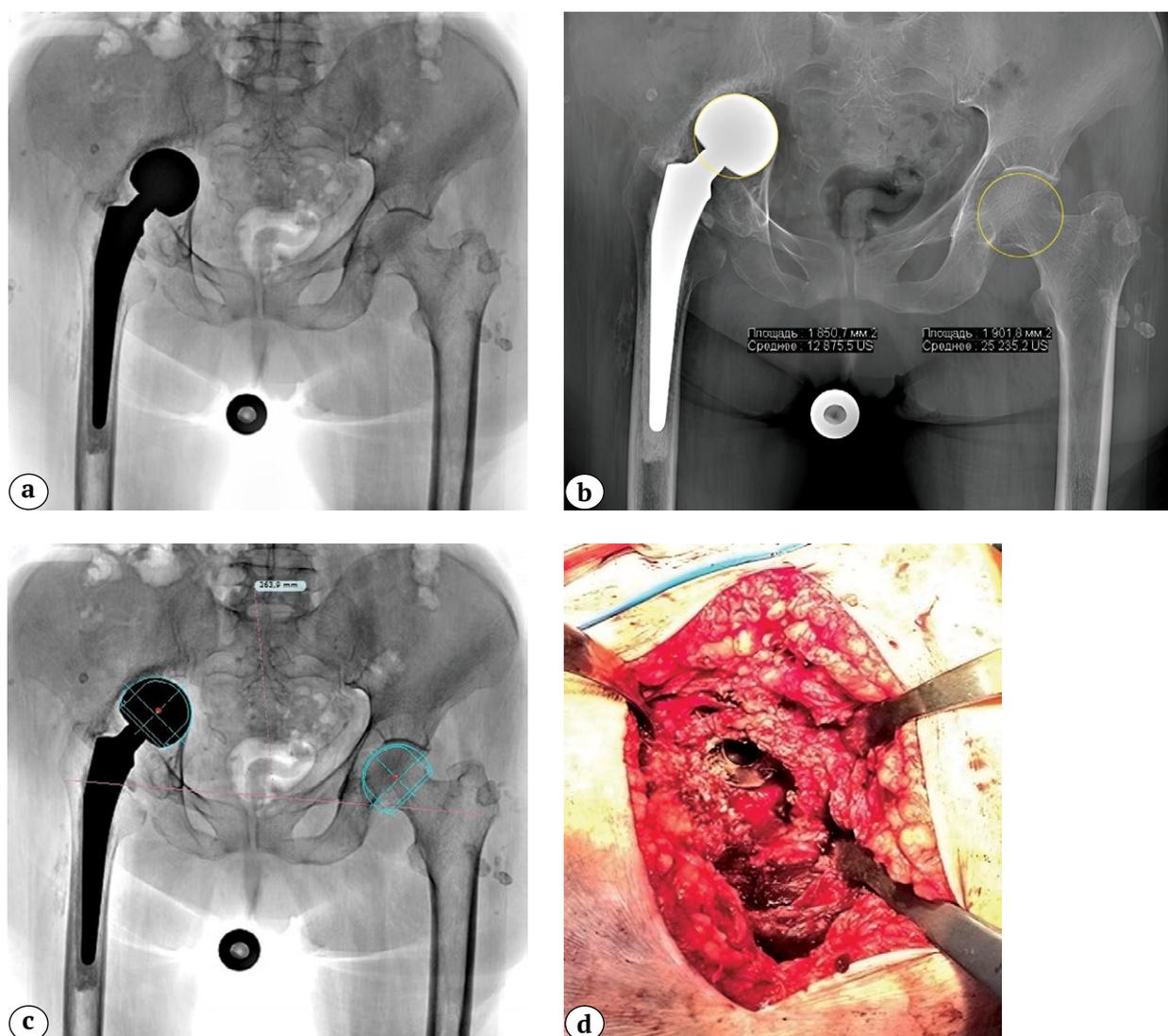
**Figure 3.** Clinical and radiographic picture of acetabular cartilage erosion in a 77-year-old patient, developed 2.5 years after primary hemiarthroplasty for the fracture of the right femoral neck:

a — initial plain pelvic X-ray (2.5 years postop) showing a bipolar prosthesis;

b — calculation of the femoral head circumference area: 18.1 cm<sup>2</sup> on the healthy left side, 21.6 cm<sup>2</sup> on the right side with the bipolar prosthesis, indicating an increase of 3.5 cm<sup>2</sup>;

c — preoperative planning using TraumaCad 2.5.7 software: hemiarthroplasty prosthesis head size (50 mm) from the right hip joint projected onto the left side reveals the overlap of the template with the acetabular contours;

d — acetabular erosion: cartilage tissue is present only along the peripheral circumference in the acetabular roof area



**Рис. 4.** Клинико-рентгенологическая картина тяжелой протрузии вертлужной впадины, развившейся у пациентки 81 года через 3 года после первичной гемиартропластики по поводу перелома шейки правой бедренной кости: а — первичный обзорный рентгеновский снимок таза (определяется протрузия монополярного гемиэндопротеза); б — расчет площади окружности головки бедренной кости с левой здоровой стороны (19,0 см<sup>2</sup>), справа — площади окружности монополярной головки эндопротеза — 18,5 см<sup>2</sup>. Отмечается снижение данного параметра на 0,51 см<sup>2</sup>; в — данные предоперационного планирования, выполненного в программе TraumaCad 2.5.7.

Размер головки гемиэндопротеза (46 мм) правого ТБС спроецирован на левую сторону. Отмечается недостаточная величина выбранного размера;

д — дефект дна и крыши вертлужной впадины, на дне которой определяется монополярная головка гемипротеза

**Figure 4.** Clinical and radiographic picture of severe acetabular protrusion in an 81-year-old patient, developed 3 years after primary hemiarthroplasty for the fracture of the right femoral neck: а — initial plain pelvic X-ray showing protrusion of the monopolar prosthesis; б — calculation of the femoral head circumference area: 19.0 cm<sup>2</sup> on the healthy left side and 18.5 cm<sup>2</sup> on the right side with the monopolar prosthesis, indicating a reduction of 0.51 cm<sup>2</sup>; в — preoperative planning using TraumaCad 2.5.7 software: hemiarthroplasty prosthesis head size (46 mm) from the right hip joint projected onto the left side demonstrates inadequate sizing of the chosen implant; д — defect of the acetabular floor and roof, with the monopolar prosthesis head positioned within the acetabular floor

Таблица 3

## Структура ошибок, допущенных при первичном эндопротезировании и причины выполнения ревизионных вмешательств

Параметры	Группа 1 (n = 10)	Группа 2 (n = 15)	Группа 3 (n = 11)
<b>Ошибки первичного ЭП ТБС</b>			
Отсутствует	–	7 (46,6%)	5 (45,5%)
Несоответствующий размер ВК	10 (100%)	–	–
Неадекватная цементная мантия ВК	–	3 (20%)	–
Мальпозиция ВК	–	5 (33,3%)	6 (54,5%)
<b>Причина ревизионного ЭП ТБС</b>			
Боль	10 (100%)	–	–
Асептическое расшатывание ВК	–	10 (66,6%)	6 (54,5%)
Перипротезная инфекция	–	2 (13,3%)	2 (18,2%)
Остеолиз	–	1 (6,8%)	3 (27,3%)
Рецидивирующий вывих	–	2 (13,3%)	–

## ОБСУЖДЕНИЕ

Гемиартропластика по-прежнему остается одним из основных методов хирургического лечения переломов шейки бедренной кости у пациентов пожилого и старческого возраста. По мнению ряда авторов, результаты гемиартропластики не имеют статистически значимых отличий от исходов тотального эндопротезирования ТБС в отношении функциональных показателей по шкале Harris Hip Score [16, 17, 18], частоты ревизий [19, 20], перипротезных инфекций, перипротезных переломов и тромбоэмболических осложнений [21, 22, 23], особенно у пациентов в возрасте старше 75 лет [2, 24]. Однако через 5 лет после первичного эндопротезирования ТБС частота повторных вмешательств после гемиартропластики увеличивается [25]. В нашем исследовании нам удалось установить средние сроки выживаемости гемиэндопротезов, подвергшихся ревизиям, которые составили  $40,2 \pm 28,4$  мес. Таким образом, необходимо учитывать потенциальную продолжительность жизни больного после первичного эндопротезирования, соматический статус и степень физической активности пациента пожилого и старческого возраста при выборе такого метода хирургического лечения, как гемиартропластика. Если по указанным выше показателям пациент способен прожить более 5 лет, необходимо применять ацетабулярные компоненты цементной или бесцементной фиксации.

А. Тахериязам с соавторами выполнили анализ неудовлетворительных результатов применения гемиэндопротезов у пациентов старшей возрастной группы в средние сроки 42 мес. По их данным, средние сроки появления боли у пациентов с послеоперационными вывихами эндопротеза составили 15 (min – 6, max – 24) мес., при развитии ацетабулярной эрозии в сочетании с расшатыванием ножки – 34 (min – 6, max – 96) мес., при наличии

одной ацетабулярной эрозии – 57 (min – 18, max – 108) мес. В 76,1% случаев у больных были боли в паху, в 67,4% наблюдений отмечена хромота, и еще у 28,3% больных было диагностировано клинически значимое укорочение оперированной нижней конечности [26]. По результатам нашего исследования установлено, что у 80% пациентов с неудовлетворительными исходами гемиартропластики боли локализуются в паху, что в целом соответствует данным литературы, в 10% наблюдений боли локализовались по медиальной и передней поверхностям бедренной кости.

Согласно данным А. Pankaj с соавторами, основными ортопедическими осложнениями гемиартропластики являются эрозия хрящевой ткани вертлужной впадины (47,7%), расшатывание бедренного компонента эндопротеза (54,4%) и протрузия чашки в полость малого таза (до 4,3%) [27]. В нашем исследовании частота несоответствия размеров величины чашки гемиэндопротеза и головки бедренной кости (со стороны здорового ТБС) составила 100%, т.е. у всех пациентов, которым была выполнена гемиартропластика по поводу перелома шейки бедра в анамнезе, были диагностированы нарушения хирургической техники. Однако более важным, на наш взгляд, является анализ причин такой высокой частоты эрозий вертлужной впадины после гемиартропластики. В публикации S.A. Shah с соавторами выявлена взаимосвязь между нарушением размера чашки гемиэндопротеза и частотой эрозии [28]. Авторы доказывают, что увеличенный размер биполярной чашки приводит к эрозии хряща в направлении крыши вертлужной впадины до  $1,62 \pm 1,00$  мм, в медиальном направлении – до  $4,15 \pm 2,70$  мм в отдаленном периоде наблюдения. В то же время маленький размер чашки гемиэндопротеза в сравнении с нативной головкой бедра потенциально может приводить к протрузии дна верт-

лужной впадины. В исследовании F. Emre с соавторами приводятся результаты гемиартропластики с меньшим размером биполярной чашки у 209 пациентов в период наблюдения до 5 лет [29]. Частота протрузионных осложнений составила 10%, а ацетабулярных ревизий 17%, что значимо выше по сравнению с тотальным эндопротезированием.

Еще одним из тяжелых ортопедических осложнений после гемиартропластики является глубокая ППИ. По мнению ряда авторов, основной причиной ревизионного эндопротезирования ТБС по причине ацетабулярной протрузии гемиэндопротезом являются инфекционные осложнения в связи с развитием костной резорбции и остеолитизиса [30, 31, 32]. В нашем исследовании не было зарегистрировано случаев ППИ после гемиартропластики, однако после тотального эндопротезирования данный показатель составил 13,3% при использовании цементных и 18,2% — при использовании бесцементных чашек. Следует указать, что столь высокие показатели частоты инфекций связаны с регистрацией в 20,0–54,5% случаев ошибок, допущенных при первичном ЭП ТБС по поводу перелома шейки бедра у пациентов старшей возрастной группы.

Необходимо также помнить о том, что средние значения толщины всего слоя хрящевой ткани вертлужной впадины нормального ТБС составляют от 1,0 до 3,6 мм. При этом эрозия хрящевой ткани вертлужной впадины при использовании биполярной чашки, по данным Y.S. Kim с соавторами, составляет 0,34–0,35 мм в год [33]. Таким образом, даже при адекватно подобранном размере чашки гемиэндопротеза риск эрозивно-протрузионных осложнений существенно увеличивается, начиная с 3–4-го года после гемиартропластики. Кроме того, длительное использование биполярных гемиэндопротезов сопряжено с еще одним тяжелым ортопедическим осложнением — диссоциацией биполяр-

ной головки. По данным M. Hasegawa с соавторами, средние сроки диссоциации биполярной головки составляют 6,8 лет. Данные авторы выделяют три классификационных типа диссоциации [34].

Таким образом, полученные нами данные, за исключением инфекционных осложнений, соответствуют данным литературы о частоте и структуре ортопедических осложнений после гемиартропластики у пациентов пожилого возраста с переломами шейки бедренной кости. Удалось выявить основные ошибки первичного и причины ревизионного эндопротезирования ТБС после гемиартропластики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из основных причин неудовлетворительных исходов гемиартропластики в среднесрочном периоде является выполнение данной операции у активных, соматически неотягощенных пациентов пожилого возраста. Неправильный выбор размера головки гемиэндопротеза приводит к ранним осложнениям: эрозии и протрузии вертлужной впадины. Выраженный болевой синдром при неправильном выборе размера головки гемиэндопротеза развивается в среднем через 13,9 мес., а сроки выполнения реэндопротезирования составляют 40,2 мес. после первичной операции. При эрозиях вертлужной впадины костные дефекты отсутствуют, при протрузиях чаще возникают костные дефекты вертлужной впадины типов 2С и 3А. Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов пожилого возраста с переломом шейки бедренной кости необходимо выполнять с учетом выбора имплантата по системе клиники Lahey, а также проводить тщательный подбор размера гемиэндопротеза. В сравнении с исходами тотального эндопротезирования тазобедренного сустава при использовании гемиэндопротезов отмечается их низкая выживаемость (40,2 мес.).

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### *Заявленный вклад авторов*

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

## DISCLAIMERS

### *Author contribution*

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

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

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

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Guyen O. Hemiarthroplasty or total hip arthroplasty in recent femoral neck fractures? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019;105(1S):S95-S101. doi: 10.1016/j.otsr.2018.04.034.
- Liu Y., Chen X., Zhang P., Jiang B. Comparing total hip arthroplasty and hemiarthroplasty for the treatment of displaced femoral neck fracture in the active elderly over 75 years old: a systematic review and meta-analysis of randomized control trials. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):215. doi: 10.1186/s13018-020-01725-3.
- Ma H.H., Chou T.A., Pai F.Y., Tsai S.W., Chen C.F., Wu P.K. et al. Outcomes of dual-mobility total hip arthroplasty versus bipolar hemiarthroplasty for patients with femoral neck fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021; 16(1):152. doi: 10.1186/s13018-021-02316-6.
- Титов Р.С., Файн А.М., Ваза А.Ю., Боголюбский Ю.А., Мажорова И.И., Бондарев В.Б. и др. Сравнительный анализ лечения больных с переломами шейки бедренной кости. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2019;1(4): 20-26. doi: 10.36425/2658-6843-2019-4-20-26. Titov R.S., Fine A.M., Vaza A.Y., Bogolubskii Y.A., Mazhorova I.I., Bondarev V.B. et al. Comparative analysis of treatment of patients with neck fractures of the femur. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2019;1(4):20-26. (In Russian). doi: 10.36425/2658-6843-2019-4-20-26.
- Ключевский В.В., Худайбергенов М.А. Эндопротезирование крупных суставов у пожилых пациентов. *Врач.* 2020;31(5):73-76. doi: 10.29296/25877305-2020-05-17. Klyuchevsky V., Khudaibergenov M. Large joint endoprosthesis replacement in elderly patients. *Vrach.* 2020;31(5):73-76. (In Russian). doi: 10.29296/25877305-2020-05-17.
- Ключевский В.В., Гильфанов С.И., Даниляк В.В., Белов М.В., Худайбергенов М.А., Ключевский И.В. и др. Эндопротезирование при переломах шейки бедренной кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2009;16(3):21-25. doi: 10.17816/vto200916321-25. Klyuchevskiy V.V., Gil'fanov S.I., Danilyak V.V., Belov M.V., Khudaibergenov M.A., Klyuchevskiy I.V. et al. Joint Replacement in Femoral Neck Fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2009;16(3):21-25. (In Russian). doi: 10.17816/vto200916321-25
- Белов М.В., Дегтярев А.А., Ключевский В.В., Ершова О.Б., Емелин М.А., Веденеев Ю.М. и др. Гемипротезирование тазобедренного сустава при переломах шейки бедра в современных условиях – необходимая процедура или анахронизм? *Травма 2017: мультидисциплинарный подход.* 2017. С. 39-40. Режим доступа: [https://2017.traumatic.ru/public/uploads/TRAUMA\\_2017/TRAUMA\\_2017\\_abstracts.pdf](https://2017.traumatic.ru/public/uploads/TRAUMA_2017/TRAUMA_2017_abstracts.pdf). Belov M.V., Degtyarev A.A., Klyuchevskiy V.V., Ershova O.B., Emelin M.A., Vedeneev Yu.M. et al. Hemiarthroplasty of the hip joint in the current conditions – a necessary procedure or an anachronism? *Trauma 2017: A Multidisciplinary Approach.* 2017. P. 39-40. Available at: [https://2017.traumatic.ru/public/uploads/TRAUMA\\_2017/TRAUMA\\_2017\\_abstracts.pdf](https://2017.traumatic.ru/public/uploads/TRAUMA_2017/TRAUMA_2017_abstracts.pdf).
- Lewis D.P., Wæver D., Thorninger R., Donnelly W.J. Hemiarthroplasty vs Total Hip Arthroplasty for the Management of Displaced Neck of Femur Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2019;34(8):1837-1843.e2. doi: 10.1016/j.arth.2019.03.070.
- Migliorini F., Trivellas A., Driessen A., Quack V., El Mansy Y., Schenker H., Tingart M. et al. Hemiarthroplasty versus total arthroplasty for displaced femoral neck fractures in the elderly: meta-analysis of randomized clinical trials. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(11):1695-1704. doi: 10.1007/s00402-020-03409-3.
- Filippo M., Driessen A., Colarossi G., Quack V., Tingart M., Eschweiler J. Bipolar versus monopolar hemiarthroplasty for displaced femur neck fractures: a meta-analysis study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(3): 401-410. doi: 10.1007/s00590-019-02600-6.
- Inngul C., Hedbeck C.J., Blomfeldt R., Lapidus G., Ponzer S., Enocson A. Unipolar hemiarthroplasty versus bipolar hemiarthroplasty in patients with displaced femoral neck fractures. A four-year follow-up of a randomised controlled trial. *Int Orthop.* 2013;37(12): 2457-2464. doi: 10.1007/s00264-013-2117-9.
- Støen R.Ø., Lofthus C.M., Nordsletten L., Madsen J.E., Frihagen F. Randomized trial of hemiarthroplasty versus internal fixation for femoral neck fractures: no differences at 6 years. *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(1):360-367. doi: 10.1007/s11999-013-3245-7.
- Sok M., Zavrl M., Greif B., Srpčić M. Objective assessment of WHO/ECOG performance status. *Support Care Cancer.* 2019;27(10):3793-3798. doi: 10.1007/s00520-018-4597-z.
- Шубняков И.И., Риахи А., Денисов А.О., Корыткин А.А., Алиев А.Г., Вебер Е.В. и др. Основные тренды в эндопротезировании тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2007 по 2020 г. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(3): 119-142. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142. Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliyev A.G., Veber E.V. et al. The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27(3):119-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142.
- Healy W.L., Kirven F.M., Iorio R., Patch D.A., Pfeifer B.A. Implant standardization for total hip arthroplasty. An implant selection and a cost reduction program. *J Arthroplasty.* 1995;10(2):177-183. doi: 10.1016/s0883-5403(05)80124-x.
- Cadossi M., Chiarello E., Savarino L., Tedesco G., Baldini N., Faldini C. et al. A comparison of hemiarthroplasty with a novel polycarbonate-urethane acetabular component for displaced intracapsular fractures of the femoral neck: a randomised controlled trial in elderly patients. *Bone Joint J.* 2013;95-B(5): 609-615. doi: 10.1302/0301-620X.95B5.31085.
- Giannini S., Chiarello E., Cadossi M., Luciani D., Tedesco G. Prosthetic surgery in fragility osteopathy. *Aging Clin Exp Res.* 2011;23(2 Suppl):40-42.

18. Zhao Y., Fu D., Chen K., Li G., Cai Z., Shi Y. et al. Outcome of hemiarthroplasty and total hip replacement for active elderly patients with displaced femoral neck fractures: a meta-analysis of 8 randomized clinical trials. *PLoS One*. 2014;9(5):e98071. doi: 10.1371/journal.pone.0098071.
19. van den Bekerom M.P., Hilverdink E.F., Sierevelt I.N., Reuling E.M., Schnater J.M., Bonke H. et al. A comparison of hemiarthroplasty with total hip replacement for displaced intracapsular fracture of the femoral neck: a randomised controlled multicentre trial in patients aged 70 years and over. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(10):1422-1428. doi: 10.1302/0301-620X.92B10.24899.
20. Blomfeldt R., Törnkvist H., Eriksson K., Söderqvist A., Ponzer S., Tidermark J. A randomised controlled trial comparing bipolar hemiarthroplasty with total hip replacement for displaced intracapsular fractures of the femoral neck in elderly patients. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(2):160-165. doi: 10.1302/0301-620X.89B2.18576.
21. Keating J.F., Grant A., Masson M., Scott N.W., Forbes J.F. Randomized comparison of reduction and fixation, bipolar hemiarthroplasty, and total hip arthroplasty. Treatment of displaced intracapsular hip fractures in healthy older patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(2):249-260. doi: 10.2106/JBJS.E.00215.
22. Avery P.P., Baker R.P., Walton M.J., Rooker J.C., Squires B., Gargan M.F. et al. Total hip replacement and hemiarthroplasty in mobile, independent patients with a displaced intracapsular fracture of the femoral neck: a seven- to ten-year follow-up report of a prospective randomised controlled trial. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(8):1045-1048. doi: 10.1302/0301-620X.93B8.27132.
23. Hedbeck C.J., Enocson A., Lapidus G., Blomfeldt R., Törnkvist H., Ponzer S. et al. Comparison of bipolar hemiarthroplasty with total hip arthroplasty for displaced femoral neck fractures: a concise four-year follow-up of a randomized trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(5):445-450. doi: 10.2106/JBJS.J.00474.
24. Braun K.F., Hanschen M., Biberthaler P. Fracture arthroplasty of femoral neck fractures. *Unfallchirurg*. 2016;119(4):331-334; quiz 345. (In German). doi: 10.1007/s00113-016-0156-6.
25. Tol M.C., van den Bekerom M.P., Sierevelt I.N., Hilverdink E.F., Raaymakers E.L., Goslings J.C. Hemiarthroplasty or total hip arthroplasty for the treatment of a displaced intracapsular fracture in active elderly patients: 12-year follow-up of randomised trial. *Bone Joint J*. 2017;99-B(2):250-254. doi: 10.1302/0301-620X.99B2.BJJ-2016-0479.R1.
26. Taheriazam A., Saeidinia A. Conversion of failed hemiarthroplasty to total hip arthroplasty: A short-term follow-up study. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(40):e8235. doi: 10.1097/MD.00000000000008235.
27. Pankaj A., Malhotra R., Bhan S. Conversion of failed hemiarthroplasty to total hip arthroplasty: a short to mid-term follow-up study. *Indian J Orthop*. 2008;42(3):294-300. doi: 10.4103/0019-5413.41852.
28. Shah S.A., Kim J.Y., Cho H.W., Shon W.Y., Kim S.M. A larger sized cup accelerates cartilage erosion of acetabulum after bipolar hemiarthroplasty in elderly with femur neck fracture. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(14):e29081. doi: 10.1097/MD.00000000000029081.
29. Emre F., Ertaş E.S., Bozkurt M. Factors associated with acetabular degeneration and protrusion in bipolar hip hemiarthroplasty. *Genel Tıp Dergisi*. 2022;32(5):564-570. doi: 10.54005/geneltip.1152166.
30. Cameron H.U., Hood-Szivek P., Turner R. Femoral head migration after single assembly total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;(164):230-233.
31. Lim J.B., Ang C.L., Pang H.N. Acetabular Prosthetic Protrusion after Bipolar Hemi-Arthroplasty of the Hip: Case Report and Review of the literature. *J Orthop Case Rep*. 2016;6(3):28-31. doi: 10.13107/jocr.2250-0685.488.
32. Мидаев А.И., Менькин З.Д., Джавадов А.А., Амбросенков А.В., Близнюков В.В., Бояров А.А. и др. Ревизионное эндопротезирование при дефектах дна вертлужной впадины на фоне униполярного эндопротезирования у пациентов старческого возраста. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(5). doi: 10.17513/spno.30159. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30159>.
33. Midaev A.I., Menkin Z.D., Dzhavadov A.A., Ambrosenkov A.V., Bliznyukov V.V., Boyarov A.A. Revision arthroplasty for defects in the bottom of the acetabulum against the background of unipolar arthroplasty in patients old age. *Modern problems of science and education*. 2020;(5). doi: 10.17513/spno.30159. Available from: <https://science-education.ru/en/article/view?id=30159>.
34. Kim Y.S., Kim Y.H., Hwang K.T., Choi I.Y. The cartilage degeneration and joint motion of bipolar hemiarthroplasty. *Int Orthop*. 2012;36(10):2015-2020. doi: 10.1007/s00264-012-1567-9.
35. Hasegawa M., Sudo A., Uchida A. Disassembly of bipolar cup with self-centering system: a report of seven cases. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(425):163-167. doi: 10.1097/00003086-200408000-00022.

#### Сведения об авторах

✉ Цед Александр Николаевич — д-р мед. наук  
 Адрес: Россия, 197022, г. Санкт-Петербург,  
 ул. Льва Толстого, д. 6-8  
<https://orcid.org/0000-0001-8392-5380>  
 e-mail: travma1@mail.ru

Муштин Никита Евгеньевич — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-7264-7861>  
 e-mail: mushtin.nikita@yandex.ru

Дулаев Александр Кайсинович — д-р мед. наук,  
 профессор  
<https://orcid.org/0000-0003-4079-5541>  
 e-mail: akdulaev@gmail.com

#### Authors' information

✉ Alexander N. Tsed — Dr. Sci. (Med.)  
 Address: 6-8, L'va Tolstogo st., St. Petersburg, 197022,  
 Russia  
<https://orcid.org/0000-0001-8392-5380>  
 e-mail: travma1@mail.ru

Nikita E. Mushtin — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-7264-7861>  
 e-mail: mushtin.nikita@yandex.ru

Alexander K. Dulaev — Dr. Sci. (Med.), Professor  
<https://orcid.org/0000-0003-4079-5541>  
 e-mail: akdulaev@gmail.com

## Early Results of Primary Total Hip Arthroplasty Performed in Young Adults at a Regional Saudi-Arabian Orthopedics Center: A Prospective Observational Study

Walid M. Al-Shaer<sup>1</sup>, Ali H. Al-Yami<sup>2,3,4</sup>, Mokhtar Ahmed Al-Sayed<sup>1</sup>, Ali Mohammed Al-Zaidan<sup>5</sup>, Emad Ruddah Al-Sufyani<sup>1</sup>, Ahmed A. Khalifa<sup>6</sup>, Raad M.M. Al-Thaqafi<sup>1,7</sup>, Abdulmohsen H. Al-Hamyani<sup>8</sup>, Mohammed M. Al-Subaie<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Alhada Armed Forces Hospital, Taif, Saudi Arabia

<sup>2</sup> Ministry of the National Guard – Health Affairs, Jeddah, Saudi Arabia

<sup>3</sup> Abdullah International Medical Research Center, Jeddah, Saudi Arabia

<sup>4</sup> King Saud Bin Abdulaziz University for Health Sciences, Jeddah, Saudi Arabia

<sup>5</sup> International Medical Center Hospital, Jeddah, Saudi Arabia

<sup>6</sup> Qena faculty of medicine and University Hospital, South Valley University, Qena, Egypt

<sup>7</sup> King Abdulaziz Specialist Hospital, Taif, Saudi Arabia

<sup>8</sup> King Faisal Hospital, Taif, Saudi Arabia

### Abstract

**Background.** Younger patients undergoing primary total hip arthroplasty (THA) have different indications and outcomes than elderly patients. Furthermore, studies reporting the results of THA in young patients are scarce in our area.

**The aim of the study** is to report the early experience and clinical results after total hip arthroplasty in patients  $\leq 40$  years old from a regional Saudi-Arabian hospital as a representative of the Arab (Middle Eastern) population.

**Methods.** We conducted a prospective observational study over one year by following all patients ( $\leq 40$  years) who underwent primary THA at a regional Saudi-Arabian orthopedics center. Twenty-five patients (a mean age of  $31.60 \pm 6.07$  years, and 14 (56%) were males) were eligible for final inclusion. The functional assessment was performed according to the Harris Hip Score (HHS), leg length discrepancy (LLD) was evaluated, and complications at any point were reported.

**Results.** The commonest indication was advanced avascular necrosis (28%) followed by post-traumatic osteoarthritis (24%) and rheumatoid arthritis (24%). Cementless fixation was utilized in 20 (80%) THAs, and the bearing surface was either metal- or ceramic-on-polyethylene in 92% of THAs. After a mean follow up of  $20.0 \pm 4.5$  months, HHS improved from a pre-operative mean of  $29.20 \pm 5.29$  to  $85.48 \pm 7.18$  ( $p = 0.0001$ ). Excellent and good results were reported in 84%. All working patients (52%) returned to their jobs after THAs. The leg length discrepancy improved significantly from a pre-operative mean of  $2.12 \pm 1.01$  cm to the last follow up mean of  $0.72 \pm 0.4$  cm,  $p = 0.0001$ . Two (8%) patients had superficial wound infections at the time of suture removal, which were treated successfully by daily dressing and antibiotics. None required revision.

**Conclusions.** Primary total hip arthroplasty is the option for managing end-stage hip disease, even in younger patients when hip preservation surgeries are invalid. Our results showed improved functional outcomes and a return to pre-disease daily activities in most patients, with considerably lower complication incidence.

**Keywords:** total hip arthroplasty, young patients, Middle Eastern.

**Cite as:** Al-Shaer W.M., Al-Yami A.H., Al-Sayed M.A., Al-Zaidan A.M., Al-Sufyani E.R., Khalifa A.A., Al-Thaqafi R.M.M., Al-Hamyani A.H., Al-Subaie M.M. Early Results of Primary Total Hip Arthroplasty Performed in Young Adults at a Regional Saudi-Arabian Orthopedics Center: A Prospective Observational Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):38–46. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17570>.

✉ Raad M.M. Al-Thaqafi; e-mail: raadmatar977@gmail.com

Submitted: 23.06.2024. Accepted: 30.07.2024. Published online: 21.11.2024.

Научная статья

УДК 616.728.2-089.844-053.84(532)

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17570>

## Ранние результаты первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у молодых пациентов в региональном ортопедическом центре Саудовской Аравии: проспективное наблюдательное исследование

Валид М. Аль-Шаер<sup>1</sup>, Али Х. Аль-Ями<sup>2,3,4</sup>, Мухтар Ахмед Аль-Саид<sup>1</sup>,  
Али Мухаммед Аль-Заидан<sup>5</sup>, Имад Раддах Аль-Суфани<sup>1</sup>, Ахмед А. Халифа<sup>6</sup>,  
Раад М.М. Аль-Такафи<sup>1,7</sup>, Абдулмохсен Х. Аль-Хамиани<sup>8</sup>, Мухаммед М. Аль-Зубаи<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Alhada Armed Forces Hospital, Эт-Тауф, Саудовская Аравия

<sup>2</sup> Ministry of the National Guard – Health Affairs, Джидда, Саудовская Аравия

<sup>3</sup> Abdullah International Medical Research Center, Джидда, Саудовская Аравия

<sup>4</sup> King Saud Bin Abdulaziz University for Health Sciences, Джидда, Саудовская Аравия

<sup>5</sup> International Medical Center Hospital, Джидда, Саудовская Аравия

<sup>6</sup> Qena faculty of medicine and University Hospital, South Valley University, Кена, Егунет

<sup>7</sup> King Abdulaziz Specialist Hospital, Эт-Тауф, Саудовская Аравия

<sup>8</sup> King Faisal Hospital, Эт-Тауф, Саудовская Аравия

### Реферат

**Цель исследования** — представить ранние клинические результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, выполненного в региональном ортопедическом центре Саудовской Аравии пациентам в возрасте 40 лет и младше, представляющим население стран Ближнего Востока.

**Материал и методы.** В рамках проспективного наблюдательного исследования все пациенты в возрасте ≤40 лет, перенесшие первичное тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава в региональном ортопедическом центре Саудовской Аравии, находились под наблюдением в течение одного года. Двадцать пять пациентов, в том числе 14 (56%) мужчин, соответствовали критериям включения. Средний возраст пациентов составил 31,6±6,1 года. Функциональные показатели оценивали по шкале Harris (HHS), также оценивалась разница в длине нижних конечностей (LLD) и число осложнений на всех этапах наблюдения.

**Результаты.** Наиболее распространенным показанием к ТЭТБС был прогрессирующий аваскулярный некроз (28%), за которым следовали посттравматический остеоартрит (24%) и ревматоидный артрит (24%). Бесцементная фиксация использовалась в 20 (80%) случаях. В 92% наблюдений пара трения была либо металлической, либо керамика-полиэтилен. В средние сроки наблюдения 20,0±4,5 мес. показатель по HHS улучшился с предоперационного среднего значения 29,2±5,3 до 85,5±7,5 баллов ( $p = 0,0001$ ). Отличные и хорошие результаты были зарегистрированы у 84%. Все работающие пациенты (52%) вернулись к своей профессиональной деятельности. Показатель LLD улучшился с 2,12±1,01 до 0,72±0,40 см ( $p = 0,0001$ ). У 2 (8%) пациентов во время снятия швов наблюдалась поверхностная раневая инфекция, которая была успешно купирована ежедневными перевязками и антибиотиками. Ни в одном из случаев не потребовалось повторное хирургическое вмешательство.

**Заключение.** Первичное тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава является методом выбора при лечении терминальной стадии патологии тазобедренного сустава даже у молодых пациентов, когда суставосохраняющие операции уже невозможны. Наш опыт показал хорошие функциональные результаты, возвращение к повседневной деятельности у большинства пациентов и значительно более низкую частоту осложнений.

**Ключевые слова:** тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, молодые пациенты, Ближний Восток.

**Для цитирования:** Аль-Шаер В.М., Аль-Ями А.Х., Аль-Саид М.А., Аль-Заидан А.М., Аль-Суфани И.Р., Халифа А.А., Аль-Такафи Р.М.М., Аль-Хамиани А.М.Х., Аль-Зубаи М.М. Ранние результаты первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у молодых пациентов в региональном ортопедическом центре Саудовской Аравии: проспективное наблюдательное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):38-46. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17570>.

✉ Раад М.М. Аль-Такафи; e-mail: raadmatar977@gmail.com

Рукопись получена: 23.06.2024. Рукопись одобрена: 30.07.2024. Статья опубликована онлайн: 21.11.2024.

© Аль-Шаер В.М., Аль-Ями А.Х., Аль-Саид М.А., Аль-Заидан А.М., Аль-Суфани И.Р., Халифа А.А., Аль-Такафи Р.М.М., Аль-Хамиани А.М.Х., Аль-Зубаи М.М., 2024

## INTRODUCTION

Total hip arthroplasty (THA) is considered as the treatment of choice for end-stage degenerative disease of the hip joint and has been termed “the surgery of the century” due to its high success rate, patient satisfaction, and improvement in life quality [1, 2]. The prevalence of THA procedures for hip deterioration in the USA increased by 50% from 1990 to 2002 and is expected to increase from 208.600 in 2005 to 572.000 in 2030 [3].

Although this procedure is commonly performed in relatively elderly populations (95% of primary THA in the UK are performed for patients older than 50 years) [4], more and more younger patients require THA due to various indications [5, 6], commonly – hip avascular necrosis (AVN) and the sequel of developmental dysplasia of the hip (DDH), as reported in The 20<sup>th</sup> annual report from the National Joint Registry (NJR) of England [7].

Performing THA in relatively young patients could be the sole option for pain relief and mobility preservation in cases of advanced hip diseases or when medical management or joint preservation strategies fail [4, 8, 9]. However, this procedure in younger patients can be challenging due to poor bone quality secondary to systemic disease or medications, and osseous deformities that could complicate component placements [10]. Despite improvements in surgical techniques, active young patients may have a higher risk of revision surgery than elderly patients do because they are willing to engage in activities similar to those of their healthy peers after THA and the expected longer life expectancy [9, 11, 12].

*The aim of the study* is to report the early experience and clinical results after total hip arthroplasty in patients  $\leq 40$  years old from a regional Saudi-Arabian hospital as a representative of the Arab (Middle Eastern) population.

## METHODS

### Study design

After obtaining ethical committee approval, we conducted a prospective observational study by following all patients who underwent primary THA over one year (between March 2018 and March 2019) at the orthopedics center in King Abdulaziz Specialist Hospital (Taif, Saudi Arabia).

### Inclusion and exclusion criteria

We included patients aged or under 40 years old regardless of the indication for THA, while patients above 40 years old, revision THA, and patients with incomplete data or follow-ups were excluded. Of 120 primary THAs performed during the study period, 29 patients met the inclusion criteria, and 25 were eligible for final inclusion.

### Peri-operative protocol

All patients underwent preoperative radiographic evaluation, including an anteroposterior (AP) view of the pelvis (showing both hips) and AP and lateral views of the affected hip to confirm the diagnosis and perform preoperative planning, including assessing the leg length discrepancy (LLD) by measuring the perpendicular distance from the inter-teardrop or the inter-ischial line to a fixed point at the middle of the lesser trochanter bilaterally.

All patients were operated upon by two senior surgeons under spinal anesthesia through either a posterolateral or modified direct lateral approach at the surgeons' discretion. The fixation types (cementless, cemented, or hybrid) were chosen based on the preoperative planning and the intraoperative surgeons' decision.

### Postoperative and follow-up protocol

After the routine postoperative management of the patients in the recovery room supervised by the surgeon, the AP view of the pelvis, which included the entire stem length, was obtained. In the ward, patient-controlled analgesia was continued for the first 36-48 hours, and hemoglobin levels were checked on the first postoperative day. A blood transfusion was given if necessary. A broad-spectrum antibiotic (amoxicillin with clavulanic acid) 1 g every 8 hours for 24 hours postoperatively was given. Low molecular weight heparin (LMWH) was started 12 hours postoperatively every 24 hours (continued for three weeks).

Follow-up visits were scheduled at two weeks for sutures removal and initial wound evaluation; initial radiographic evaluation was performed at six weeks. Then, the follow-ups were at 3, 6, and 12 months, then – annually. The Harris Hip Score (HHS) was used for clinical evaluation of the patients preoperatively and at follow-up visits. The score is considered “excellent” if it ranges between 90 and 100, “good” – between 80 and 90, “fair” – between 70 and 80, and “poor” – if below 70.

Patients with sedentary occupations could return to work after six to eight weeks. They could return to occupations requiring limited lifting and bending at three months. The limited athletic activity was permitted, including swimming, cycling, and golfing. However, jogging, racquet sports, and other activities requiring repetitive impact loading or extreme hip positions were unwise. Patients were warned that such activities increase the risk of arthroplasty failure.

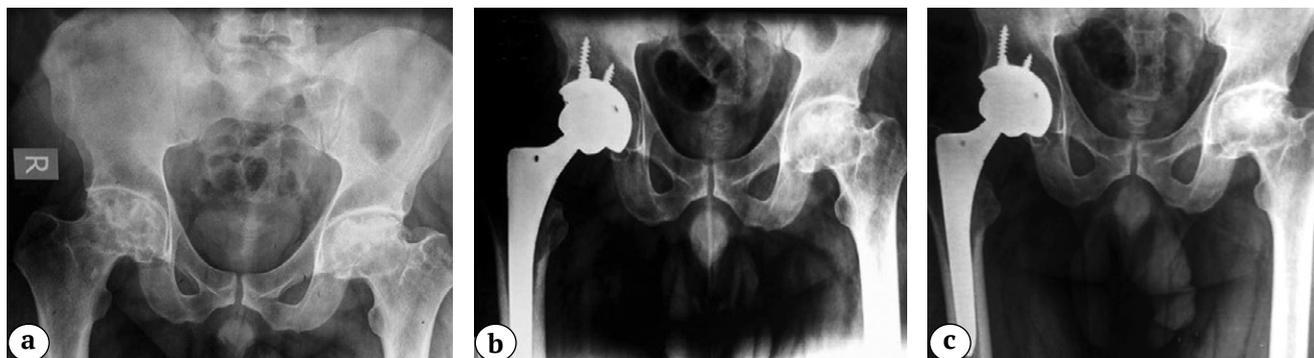
### Outcomes evaluation

Basic demographic and clinical data, including age, gender, and occupation, were collected. Procedure details were recorded, taking into consideration indication, laterality, type of prosthesis fixation, and bearing surfaces. Clinical evaluation per HHS was

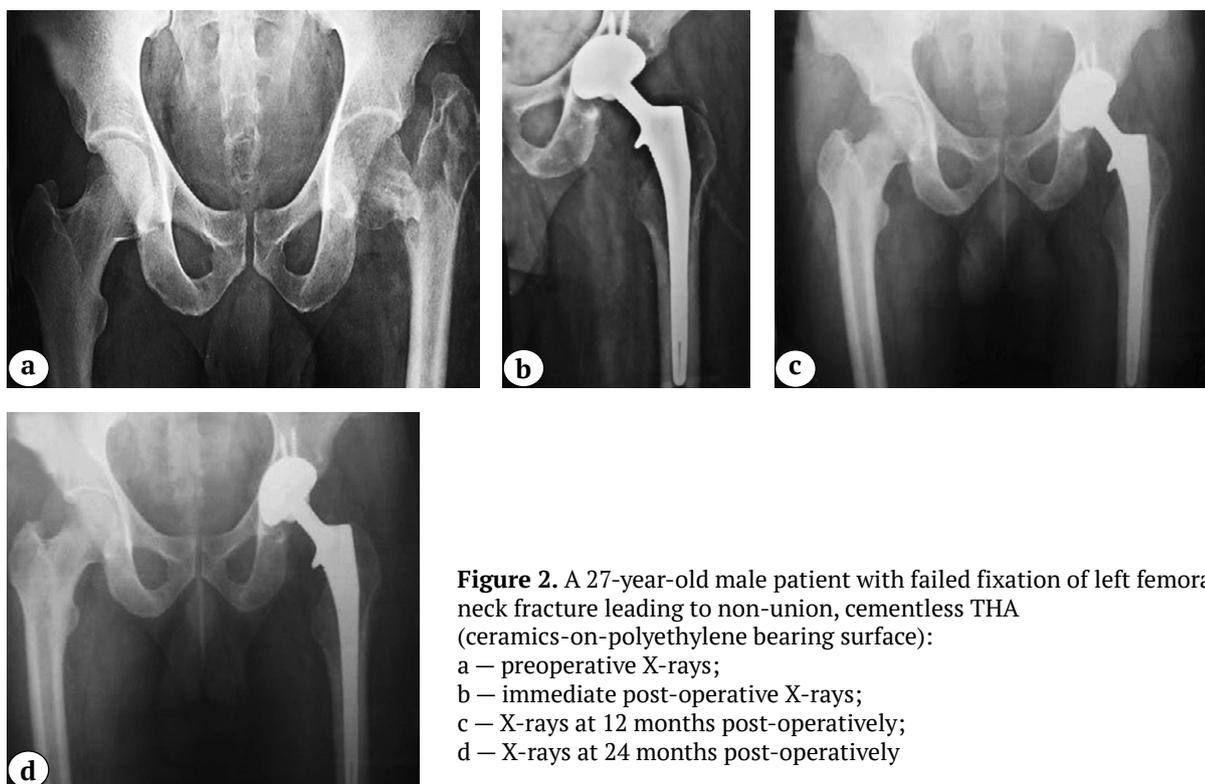
reported at the last follow-up visit and compared with preoperative scores. Radiographic evaluation (postoperatively and during follow-ups) was also performed to measure the LLD and compare it with the preoperative values, evaluate acetabular component inclination, and assess component migration (Figures 1, 2, and 3). Any complications during the course of management were reported.

### Statistical analysis

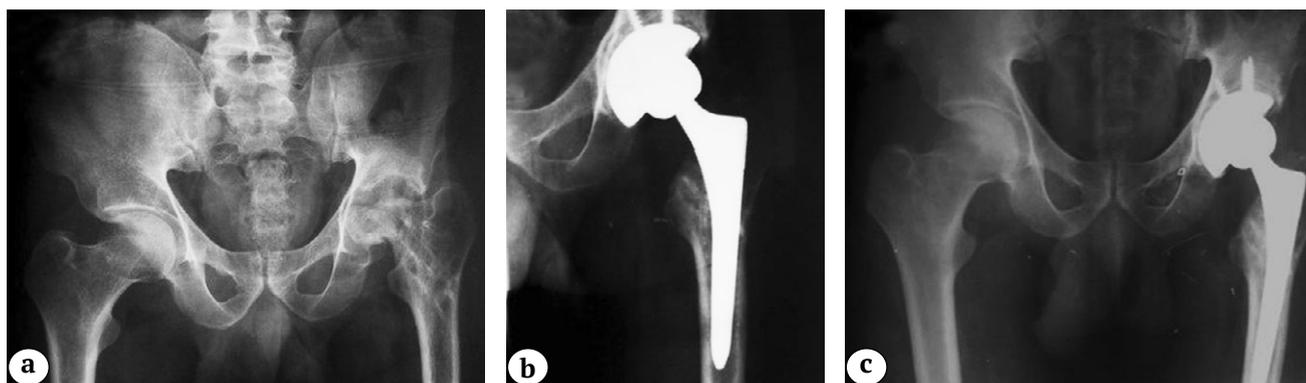
Statistical analysis was performed using SPSS v. 20 (SPSS Inc., Chicago, IL). The results are presented as the mean (M) ± SD or numbers and percentages. Non-parametric tests were used to compare the preoperative and last follow-up values. P<0.05 was considered statistically significant.



**Figure 1.** A 36-year-old male patient with bilateral avascular necrosis, right cementless THA (metal-on-polyethylene bearing surface):  
a – preoperative X-rays; b – X-rays at 6 months post-operatively; c – X-rays at 18 months post-operatively



**Figure 2.** A 27-year-old male patient with failed fixation of left femoral neck fracture leading to non-union, cementless THA (ceramics-on-polyethylene bearing surface):  
a – preoperative X-rays;  
b – immediate post-operative X-rays;  
c – X-rays at 12 months post-operatively;  
d – X-rays at 24 months post-operatively



**Figure 3.** A 30-year-old male patient with advanced left hip avascular necrosis with failed previous core decompression and collapsed femoral head, cementless THA (metal-on-polyethylene bearing surface):

a – preoperative X-rays; b – X-rays at 6 months post-operatively; c – X-rays at 20 months post-operatively

## RESULTS

### Patients’ demographics and peri-operative data

A total of 25 patients (25 THAs) had a mean age of  $31.6 \pm 6.07$  (ranging from 22 to 40), where 14 (56%) were males, 11 (44%) were females, 13 (52%) were either manual workers or had sedentary jobs while 12 (48%) were not able to work because of their hip disease. The left side was operated upon in 13 (52%) hips. The commonest indication for THA was advanced avascular necrosis (AVN), constituting 28%, followed by post-traumatic osteoarthritis (PTOA) in 24%, and rheumatoid arthritis (RA) in 24%. Details and complexities are shown in Table 1.

The modified direct lateral approach was utilized in 23 (92%) THAs. Cementless fixation was used in 20 (80%) THAs, while cemented and hybrid fixation were utilized in three (12%) and two (8%) THAs, respectively. The bearing surface was metal-on-polyethylene (MOP) in 18 (72%) THAs, ceramic-on-polyethylene (COP) in five (20%), and ceramic-on-ceramic (COC) in two (8%). Post-operative blood transfusion was required in 11 (44%) patients.

### Outcomes

After a mean follow up of  $20.0 \pm 4.5$  months (ranging from 18 to 24), the HHS improved from a preoperative mean of  $29.20 \pm 5.29$  (ranging from 20 to 36) to a mean of  $85.48 \pm 7.18$  (ranging from 65 to 97) at the last follow up,  $p = 0.0001$ . Excellent and good results were reported in 21 (84%) hips, while four (16%) had fair or poor results. All working patients (52%) reported returning to their jobs after THAs, while 10 out of 12 non-workers reported re-engagement in their pre-disease usual daily activities.

The mean acetabular cup inclination was  $40.3 \pm 6.1$  (ranging from 35.8 to 56.4). The LLD improved significantly from a preoperative mean of  $2.12 \pm 1.01$  cm (ranging from 0.64 to 4.66) to the last follow up mean of  $0.72 \pm 0.4$  cm (ranging from 0 to 1.4),  $p = 0.0001$ . No component migration was detected.

No intraoperative complications were reported. Two (8%) patients had superficial wound infection at the time of suture removal, which was treated successfully by daily dressing and antibiotics; no

Table 1

### Complexity and underlying diagnoses for total hip arthroplasty

Diagnosis	Hips	Complexity and possible challenges
Sequel of DDH	4 (16%)	Distorted anatomy, excessive shortening, restoration of the center of rotation
Advanced AVN	7 (28%)	Restoration of hip joint offset
Sequel of septic arthritis	1 (4%)	Severe bone destruction, poor soft tissue condition
Post-traumatic or failed fixation	6 (24%)	Removal of failed hardware, management of non-union fracture
Rheumatoid arthritis	6 (24%)	Bone softening, increased vascularity
Ankylosing spondylitis	1 (4%)	Fused hips, limited spine movement
Total	25 (100%)	

loosening or infection was reported till the last follow up in any of the patients. None of the THAs required revision.

## DISCUSSION

Data regarding outcomes of total hip arthroplasty performed in the young population is considerably limited, as described by the joint replacement registries [7, 13]; furthermore, the results from our area are scarce.

In the current study, we achieved satisfactory functional outcomes, restoration of equal leg lengths, and a return to pre-disease activity levels, with few complications and no early revisions in a small group of selected young Arab patients who underwent primary THA for various indications.

Performing THA in relatively young patients is challenging owing to many variables. First is the patient's age, their need to get back to their daily activities as early as possible, and the high possibility of future revision surgery due to the expected increase in their life span. Second, the THA indications. Since most of these patients are with secondary hip pathologies such as PTOA and sequel of DDH or infection, which, as presented in the current series, could be associated with distorted anatomy, high hip center, bone deficiency, and increased risk of infection. Third, the necessity of a meticulous surgical technique to restore the hip biomechanics and the leg length, as well as the judicious selection of prosthesis fixation (which is sometimes challenging due to bone softening, such as in patients with RA), and proper selection of bearing surfaces to avoid early wear and aseptic loosening [5, 9, 14, 15, 16]. All the previous factors and others contribute to the complexity of managing such patients.

Indications for THA in young patients have changed over time and seem to differ among studies [17, 18]. The most common indication for THA in our series was AVN, followed by RA or PTOA; this slightly differed from previous studies' indications. A study by R. Galloway et al. [4], including 110 patients, reported that the most common indication for patients younger than 40 years old in their series was a sequel of DDH, which was similar to S. Rahm et al., who reported that 144 primary THAs were performed in 127 patients younger than 40 years, and the most common indication for surgery was DDH as well [12]. Furthermore, in even younger patients (below 21 years old), RA was the main indication for surgery (34.3%) followed by AVN and sequel of DDH, as reported in a recent systematic review by E. Huerfano et al. after evaluating the results of 1166 primary THAs, which confirms the surgical indications diversity [9].

In the current study, we commonly used cementless implants (80%) similar to the results reported by E. Huerfano et al., where implant fixation varied among studies. However, the majority were cementless (70.6%), while cemented and hybrid fixation represented 22.6% and 6.7%, respectively [9]. On the contrary, S. Rahm et al. reported that 66% of their patients received a cemented stem, while the acetabular cup was cementless in only 60% [12].

Various bearing surface options are available for THA in young patients, and their proper selection is crucial in implant survival [17, 19]. I. Swarup et al. investigated 548 THAs in patients having a mean age of 27 years old (upper age limit was 35), followed up for a mean of 14 years. The bearing surfaces were MOP (61.2%), MOM (3.1%), COP (23.1%), and COC (12.6%). The revision rate of 23%, they reported a lower risk of revision for COC implants (HR 0.1) or COP implants (HR 0.47) compared to MOP implants [20]. In the current study, 92% of the patients had either MOP or COP-bearing surfaces. E. Huerfano et al. reported that COC was the most frequently utilized (44%), followed by MOP (37.3%) in patients included in their systematic review [9].

Most of our patients (84%) achieved excellent or good functional outcomes per HHS, with a mean score of 85.48. Improved functional outcomes in younger patients who had THA for end-stage hip disease were reported as well by A. Chapot et al. where they even included younger patients (less than 20 years), and at a mean follow up of six years, the mean HHS was 81 (67% had excellent or good outcomes) [21]. Furthermore, the negative effect of LLD on the functional outcomes after THA is well documented in the literature [22, 23]. We were able to reduce the preoperative LLD from  $2.12 \pm 1.01$  cm to the last follow up mean of  $0.72 \pm 0.4$  cm ( $p = 0.0001$ ), which, we believe, contributed to the better functional outcomes.

R. Galloway et al. followed their patients for a median of 31 months; 18 out of 25 patients aged less than 30 years old (72%) returned to their pre-disease level of work [4]. In the current study, 92% of the patients returned either to their pre-disease activity or work level.

We did not report any revisions in the current series, which could be attributed to the relatively short follow-up period. However, given the fact that these are young and relatively active patients, they were consulted regarding the high possibility of future revision relying on the results reported by L.E. Bayliss et al., where they found that the lifetime revision risk after primary THA is about 5% for patients aged 70, while the incidence will increase to 35% for patients aged 50 years [15]. In the systematic review by E. Huerfano et al., the overall revision rate was 14.4%; of those, 63.6% were for aseptic

loosening; the 10-year survival rate was around 84.9% [9]. Furthermore, S. Rahm et al. indicated that the revision risk is linked to the primary diagnosis. In their study, they reported a higher risk of revision in patients diagnosed primarily as having DDH (OR 16.8) compared to other diagnoses [12].

### Limitations

We admit that the current study has several limitations. First, the small number of included patients which could be attributed to the high selectivity of specific age groups. Moreover, these were operated upon in a single center. Second, there is a relatively short follow-up period, where the long-term complications and revision incidence are not revealed. The last limitation is the non-comparative study nature.

### DISCLAIMERS

#### Author contribution

*Walid M. Al-Shaer* — study concept.

*Ali H. Al-Yami* — study concept, literature search and review, drafting the manuscript.

*Mokhtar Ahmed Al-Sayed* — data analysis and interpretation.

*Ali Mohammed Al-Zaidan* — literature search and review, drafting the manuscript.

*Emad Ruddah Al-Sufyani* — editing the manuscript.

*Ahmed A. Khalifa* — data acquisition, data analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

*Raad M. M. Al-Thaqafi* — data acquisition, data analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

*Abdulmohsen H. Al-Hamyani* — literature search and review, drafting the manuscript.

*Mohammed M. Al-Subaie* — editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Research and Studies Department, King Abdulaziz Specialist Hospital, Taif, Saudi Arabia (KACST, KSA, HAP-02T-067, approval number: 791).

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

### CONCLUSIONS

To sum up, primary total hip arthroplasty is the option of choice for managing end-stage hip disease, even in younger patients when hip preservation surgeries are not valid. Our results showed improved functional outcomes and a return to pre-disease daily activities in most patients, with considerably lower complication incidence. However, more robust studies with a larger number of patients and a longer follow-up period are needed to confirm the results obtained in our study. Furthermore, a need to conduct a multi-center study to report the outcomes of THA performed in young patients from our area and to compare the results with studies published by other nationalities is highly suggested.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

#### Заявленный вклад авторов

*Валид М. Аль-Шаер* — концепция исследования.

*Али Х. Аль-Ями* — концепция исследования, поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Мухтар Ахмед Аль-Саид* — анализ и интерпретация данных.

*Али Мухаммед Аль-Зайдан* — поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Имад Раддах Аль-Суфяни* — редактирование текста рукописи.

*Ахмед А. Халифа* — сбор данных, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Раад М. М. Аль-Такафи* — сбор данных, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Абдулмохсен Х. Аль-Хамиани* — поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Мухаммед М. Аль-Зубаи* — редактирование текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Научно-исследовательский отдел больницы им. короля Абдул-Азиза, Эт-Таиф, Саудовская Аравия (KACST, KSA, HAP-02T-067, регистрационный номер: 791).

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

## REFERENCES

- Lau R.L., Gandhi R., Mahomed S., Mahomed N. Patient satisfaction after total knee and hip arthroplasty. *Clin Geriatr Med.* 2012;28(3):349-365. doi: 10.1016/j.cger.2012.05.001.
- Jones C.A., Pohar S. Health-related quality of life after total joint arthroplasty: a scoping review. *Clin Geriatr Med.* 2012;28(3):395-429. doi: 10.1016/j.cger.2012.06.001.
- Kurtz S., Ong K., Lau E., Mowat F., Halpern M. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222.
- Galloway R., Monnington K., Moss R., Donaldson J., Skinner J., McCulloch R. Satisfaction rates, function, and return to activity following young adult total hip arthroplasty. *Bone Joint Open.* 2024;5(4):304-311. doi: 10.1302/2633-1462.54.BJO-2024-0005.R1.
- Shon W.Y., Park B.Y., Rajsankar R.N., Park P.S., Im J.T., Yun H.H. Total Hip Arthroplasty: Past, Present, and Future. What Has Been Achieved? *Hip Pelvis.* 2019;31(4):179-189. doi: 10.5371/hp.2019.31.4.179.
- Bessette B.J., Fassier F., Tanzer M., Brooks C.E. Total hip arthroplasty in patients younger than 21 years: a minimum, 10-year follow-up. *Can J Surg.* 2003;46(4):257-262.
- Achakri H., Ben-Shlomo Y., Blom A., Boulton C., Bridgens J., Brittain R. et al. The National Joint Registry 20<sup>th</sup> Annual Report 2023. London: National Joint Registry; 2022 Dec. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK601075/>.
- Flatø B., Lien G., Smerdel A., Vinje O., Dale K., Johnston V. et al. Prognostic factors in juvenile rheumatoid arthritis: a case-control study revealing early predictors and outcome after 14.9 years. *J Rheumatol.* 2003;30(2):386-393.
- Huerfano E., Bautista M., Huerfano M., Nossa J.M. Total hip arthroplasty in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop.* 2024;48(9):2483-2492. doi: 10.1007/s00264-024-06175-8.
- Torchia M.E., Klassen R.A., Bianco A.J. Total hip arthroplasty with cement in patients less than twenty years old. Long-term results. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(7):995-1003. doi: 10.2106/00004623-199607000-00003.
- Nizard R., Pourreyron D., Raould A., Hannouche D., Sedel L. Alumina-on-alumina hip arthroplasty in patients younger than 30 years old. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):317-323. doi: 10.1007/s11999-007-0068-4.
- Rahm S., Hoch A., Tondelli T., Fuchs J., Zingg P.O. Revision rate of THA in patients younger than 40 years depends on primary diagnosis - a retrospective analysis with a minimum follow-up of 10 years. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021;31(7):1335-1344. doi: 10.1007/s00590-021-02881-w.
- Sedrakyan A., Romero L., Graves S., Davidson D., de Steiger R., Lewis P. et al. Survivorship of hip and knee implants in pediatric and young adult populations: analysis of registry and published data. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(Suppl 1):73-78. doi: 10.2106/JBJS.N.00541.
- Novais E.N. Treatment Options for End-Stage Hip Disease in Adolescents: To Replace, Fuse, or Reconstruct? *J Pediatr Orthop.* 2021;41(Suppl 1):47-52. doi: 10.1097/BPO.0000000000001780.
- 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.
- Shetty V., Shitole B., Shetty G., Thakur H., Bhandari M. Optimal bearing surfaces for total hip replacement in the young patient: a meta-analysis. *Int Orthop.* 2011;35(9):1281-1287. doi: 10.1007/s00264-010-1104-7.
- Wilson A.E., O'Malley M.J. Total Hip Arthroplasty in Adolescents and Young Adults. *Operative Tech Orthop.* 2020;30(1):100785. doi: 10.1016/j.oto.2020.100785.
- Adelani M.A., Keeney J.A., Palisch A., Fowler S.A., Clohisey J.C. Has total hip arthroplasty in patients 30 years or younger improved? A systematic review. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(8):2595-2601. doi: 10.1007/s11999-013-2975-x.
- Khalifa A.A., Bakr H.M. Updates in biomaterials of bearing surfaces in total hip arthroplasty. *Arthroplasty.* 2021;3(1):32. doi: 10.1186/s42836-021-00092-6.
- Swarup I., Lee Y.Y., Chiu Y.F., Sutherland R., Shields M., Figgie M.P. Implant Survival and Patient-Reported Outcomes After Total Hip Arthroplasty in Young Patients. *J Arthroplasty.* 2018;33(9):2893-2898. doi: 10.1016/j.arth.2018.04.016.
- Chapot A., Zambelli P.Y., Merckaert S.R. Functional and Patient-related Outcomes of Total Hip Arthroplasty in Patients Younger Than 20 Years. *Arthroplast Today.* 2023;20:101100. doi: 10.1016/j.artd.2023.101100.
- Desai A.S., Dramis A., Board T.N. Leg length discrepancy after total hip arthroplasty: a review of literature. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2013;6(4):336-341. doi: 10.1007/s12178-013-9180-0.
- Faldini C. Leg length discrepancy after primary total hip replacement. *Musculoskelet Surg.* 2023;107(1):1-5. doi: 10.1007/s12306-023-00780-3.

## Authors' information

✉ Raad M. M. Al-Thaqafi MD  
Address: 24211 Alsheli, King Khaled street, Taif, Saudi Arabia  
<https://orcid.org/0000-0001-9162-7754>  
e-mail: raadmatar977@gmail.com  
Walid M. Al-Shaer MD  
<https://orcid.org/0009-0002-6883-4741>  
e-mail: w\_m\_elshaer@yahoo.com

## Сведения об авторах

✉ Раад М. М. Аль-Такафи  
Адрес: 24211 Alsheli, King Khaled street, Taif, Saudi Arabia  
<https://orcid.org/0000-0001-9162-7754>  
e-mail: raadmatar977@gmail.com  
Валид М. Аль-Шаер  
<https://orcid.org/0009-0002-6883-4741>  
e-mail: w\_m\_elshaer@yahoo.com

*Ali H. Al-Yami* PhD.

<https://orcid.org/0000-0002-2446-4913>

e-mail: Alyamia@yahoo.com

*Mokhtar Ahmed Al-Sayed* MD

<https://orcid.org/0000-0002-1431-3126>

e-mail: dr\_mokhtar86@hotmail.com

*Ali Mohammed Al-Zaidan* MD

<https://orcid.org/0009-0005-7812-4649>

e-mail: Ali.m.alzaidan@gmail.com

*Emad Ruddah Al-Sufyani* MD

<https://orcid.org/0009-0003-8859-5589>

e-mail: Emadrুদ্ধah@gmail.com

*Ahmed A. Khalifa* MD, FRCS, MSc

<https://orcid.org/0000-0002-0710-6487>

e-mail: khalifaahmed8486@yahoo.com

*Abdulmohsen H. Al-Namyani* MD

<https://orcid.org/0009-0002-9998-9578>

e-mail: Highest66@gmail.com

*Mohammed M. Al-Subaie* MD

<https://orcid.org/0009-0007-5886-3465>

e-mail: Dr\_malsubaie@hotmail.com

*Али Х. Аль-Ями*

<https://orcid.org/0000-0002-2446-4913>

e-mail: Alyamia@yahoo.com

*Мухтар Ахмед Аль-Саид*

<https://orcid.org/0000-0002-1431-3126>

e-mail: dr\_mokhtar86@hotmail.com

*Али Мухаммед Аль-Заидан*

<https://orcid.org/0009-0005-7812-4649>

e-mail: Ali.m.alzaidan@gmail.com

*Имад Раддах Аль-Суфани*

<https://orcid.org/0009-0003-8859-5589>

e-mail: Emadrুদ্ধah@gmail.com

*Ахмед А. Халифа*

<https://orcid.org/0000-0002-0710-6487>

e-mail: khalifaahmed8486@yahoo.com

*Абдулмохсен Х. Аль-Хамиани*

<https://orcid.org/0009-0002-9998-9578>

e-mail: Highest66@gmail.com

*Мухаммед М. Аль-Зубаи*

<https://orcid.org/0009-0007-5886-3465>

e-mail: Dr\_malsubaie@hotmail.com



Научная статья  
УДК 616.718.56-001.5-089.84  
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17589>

## Сравнительный анализ результатов применения различных модификаций малоинвазивного остеосинтеза при переломах пилона

Б.А. Майоров<sup>1,2,3</sup>, И.Г. Беленький<sup>1,2</sup>, Г.Д. Сергеев<sup>1,2</sup>, К.К. Гадоев<sup>2</sup>,  
М.А. Сергеева<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова»  
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Малоинвазивная хирургическая техника позволяет снизить травматичность остеосинтеза при около- и внутрисуставных переломах пилона, однако не всегда дает возможность выполнить анатомичную репозицию суставного компонента и добиться стабильной фиксации всех колонн дистального отдела большеберцовой кости.

**Цель исследования** — проверить гипотезу о клинических преимуществах многоколонной фиксации при оскольчатых переломах пилона большеберцовой кости по сравнению с традиционной одноколонной фиксацией.

**Материал и методы.** В исследование вошли 55 пациентов с вне- и внутрисуставными переломами дистального отдела костей голени. Им был выполнен малоинвазивный накостный остеосинтез. Были сформированы две сопоставимые по полу и возрасту пациентов группы в зависимости от количества фиксированных колонн. В первой группе (28 пациентов) остеосинтез выполняли одной анатомически предызогнутой пластиной, во второй (27 пациентов) — двумя и более пластинами, расположенными по разным колоннам. Анализировали качество репозиции костных отломков по данным контрольных рентгенограмм, выполненных на следующий день после операции. Функциональный исход лечения оценивали по шкале AOFAS через 6 и 12 мес. после операции, определяли частоту ранних и отсроченных осложнений остеосинтеза.

**Результаты.** Между пациентами обеих групп исследования не было обнаружено статистически значимой разницы в результатах оценки качества репозиции ( $p = 0,23$ ). Функциональный результат в первой группе исследования в срок 6 мес. составил Me = 63 балла [Q1 — 50,00; Q3 — 73,00], в срок 12 мес. — 74 балла [Q1 — 65,00; Q3 — 83,25]; во второй группе — 75 баллов [Q1 — 67,50; Q3 — 81,00] и 85 баллов [Q1 — 71,00; Q3 — 94,50] соответственно. В случае многоколонной фиксации перелома пилона на обоих сроках наблюдения оценка функционального результата была статистически значимо выше: 6 мес.:  $p = 0,015$ ; 12 мес.:  $p = 0,028$ . Вероятность осложнений в первой группе была в 4,4 раза выше, чем во второй: ОШ = 4,444 (95% ДИ 1,066–18,528).

**Заключение.** Многоколонная фиксация при полных около- и внутрисуставных переломах пилона обеспечивает лучшие функциональные показатели по сравнению с одноколонной, снижает риск осложнений за счет повышения стабильности фиксации отломков и устойчивости системы «имплантаты — кость» к физиологическим нагрузкам.

**Ключевые слова:** малоинвазивная хирургия, перелом большеберцовой кости, накостный остеосинтез, многоколонная фиксация, осложнения остеосинтеза.

**Для цитирования:** Майоров Б.А., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Гадоев К.К., Сергеева М.А. Сравнительный анализ результатов применения различных модификаций малоинвазивного остеосинтеза при переломах пилона. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):47-59. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17589>.

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

Рукопись получена: 17.07.2024. Рукопись одобрена: 06.11.2024. Статья опубликована онлайн: 28.11.2024.

© Майоров Б.А., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Гадоев К.К., Сергеева М.А., 2024



## Different Modifications of Minimally Invasive Osteosynthesis in Pilon Fractures: Comparative Study Results

Boris A. Maiorov<sup>1,2,3</sup>, Igor' G. Belen'kiy<sup>1,2</sup>, Gennadii D. Sergeev<sup>1,2</sup>, Kamoliddin K. Gadoev<sup>2</sup>, Mariya A. Sergeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Pavlov First State Medical University of Saint Petersburg, St. Petersburg, Russia

### Abstract

**Background.** Minimally invasive surgical techniques can reduce the degree of surgical injury during osteosynthesis in peri- and intraarticular pilon fractures. However, these techniques do not always achieve anatomical reduction of the articular component and stable fixation of all columns of the distal tibia.

**Aim of the study** – to test the hypothesis regarding the clinical advantages of multicolumn fixation for comminuted pilon fractures over traditional single-column fixation.

**Methods.** The study enrolled 55 patients with extra- and intraarticular fractures of the distal tibia and fibula, all of whom underwent minimally invasive osteosynthesis. Patients were divided into two groups based on the number of fixed columns. These groups were comparable in terms of gender and age. The first group consisted of 28 patients who underwent osteosynthesis with one anatomically precontoured plate. The second group consisted of 27 patients who underwent osteosynthesis with two or more plates placed on different tibial columns. The quality of bone fragment reduction was analyzed using control X-rays performed the day after the operation. Functional outcomes were evaluated according to the AOFAS scale at 6 and 12 months post-operation. The incidence of early and delayed complications of osteosynthesis was also determined.

**Results.** No statistically significant difference was found between the two study groups in terms of quality of reduction ( $p = 0.23$ ). The median functional outcome score in the first group at 6 months was 63 points [IQR 50.00-73.00] and at 12 months was 74 points [IQR 65.00-83.25]. In the second group, the median scores were 75 points [IQR 67.50-81.00] and 85 points [IQR 71.00-94.50], respectively. Multicolumn fixation of the pilon fracture resulted in statistically significantly higher functional outcome scores at both follow-up periods: at 6 months ( $p = 0.015$ ) and at 12 months ( $p = 0.028$ ). The probability of complications in the first group was 4.4 times higher than in the second group: OR = 4.444 (95% CI 1.066-18.528).

**Conclusion.** Multicolumn fixation of complete periarticular and intraarticular pilon fractures leads to better functional results compared to single-column fixation. It also reduces the risk of complications due to increased stability of the fragment fixation and the resistance of the implant-bone system to physiological stress.

**Keywords:** minimally invasive osteosynthesis, tibial fracture, pilon fracture, multicolumn fixation, complications of osteosynthesis, functional outcomes.

**Cite as:** Maiorov B.A., Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Gadoev K.K., Sergeeva M.A. Different Modifications of Minimally Invasive Osteosynthesis in Pilon Fractures: Comparative Study Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):47-59. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17589>.

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

Submitted: 17.07.2024. Accepted: 06.11.2024. Published online: 28.11.2024.

© Maiorov B.A., Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Gadoev K.K., Sergeeva M.A., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

В современной травматологии проблема лечения около- и внутрисуставных переломов костей дистального отдела голени сохраняет свою актуальность. Несмотря на развитие диагностических возможностей, этапного хирургического лечения, малоинвазивных технологий фиксации, методик активной аппаратной реабилитации, результаты лечения этих травм не всегда являются удовлетворительными, а доля осложнений остается достаточно высокой [1, 2, 3, 4].

Стабилизацию около- и внутрисуставных переломов со строгим соблюдением принципов остеосинтеза зачастую непросто реализовать на практике, так как желание выполнить качественную репозицию и адекватную фиксацию приводит к увеличению степени хирургической агрессии, следствием которой являются осложнения со стороны мягких тканей, некрозы и инфекция [1, 5, 6].

В ряде современных публикаций сообщается о том, что решением этой проблемы может стать многоколонная фиксация дистального отдела большеберцовой кости (ББК), т.е. установка нескольких опорных пластин по медиальной, латеральной и/или задней колоннам [7, 8, 9, 10]. Это иногда не удается по причине высокой травматичности метода. Выходом из этой ситуации могло бы стать применение малоинвазивного остеосинтеза. Малоинвазивная фиксация не всегда позволяет выполнить анатомичную репозицию суставного компонента перелома, однако она не сопровождается критической девитализацией окружающих мягких тканей и кости [11, 12, 13].

Описанные вопросы послужили основанием для проведения собственного исследования и определили его актуальность.

*Цель исследования* — проверить гипотезу о клинических преимуществах многоколонной фиксации при оскольчатых переломах пилона большеберцовой кости перед традиционной одноколонной фиксацией.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Тип исследования — когортное проспективное нерандомизированное двухцентровое.

В исследование включено 55 пациентов с внесуставными метафизарными и полными внутрисуставными переломами дистального отдела костей голени, которым проводилось хирургическое лечение с применением малоинвазивного накостного остеосинтеза в ГБУЗ ЛО «Всеволожская КМБ» и ГБУ «НИИСП им. И.И. Джанелидзе» в период с 2018 по 2023 г.

*Критерии включения* пациентов в исследование:

- наличие закрытого перелома дистального метаэпифиза большеберцовой кости типов 43A1, A2, A3, C1, C2, C3 по классификации АО;

- возраст пациентов старше 18 лет.

*Критерии невключения:*

- наличие закрытого перелома дистального метаэпифиза большеберцовой кости типов 43B1, B2, B3 по классификации АО;

- возраст младше 18 лет;

- наличие хронических заболеваний в стадии декомпенсации, онкологических заболеваний, очага хронической инфекции, системных заболеваний, требующих постоянного приема глюкокортикоидов и цитостатиков;

- невозможность оценки результатов лечения на всех сроках наблюдения.

Мы также включили в исследование пациентов с множественной травмой и сочетанными повреждениями, если они не сопровождались травматическим шоком и развитием травматической болезни — при условии первичного показателя по ISS (Injury Severity Score — шкала тяжести повреждений) менее 16, так как считали, что сопутствующие повреждения не оказывают существенного влияния на результат лечения перелома дистального отдела костей голени.

Исключение пациентов с неполными суставными переломами типа 43B обусловлено тем, что целью исследования являлось сравнение возможностей различных вариантов малоинвазивного остеосинтеза по принципу одно- или двухколонной фиксации, что предполагает наличие полного перелома на метафизарном уровне.

Все пациенты были разделены на две группы в зависимости от количества фиксированных колонн. В первую группу вошли 28 пациентов, которым был выполнен остеосинтез ББК одной анатомичной опорной пластиной. Если имелась первичная варусная деформация, применяли медиальную пластину, при первичной вальгусной деформации использовали переднелатеральную пластину.

Во вторую группу было включено 27 пациентов, фиксация ББК которым была выполнена двумя и более пластинами, уложенными по разным колоннам (медиальной, переднелатеральной или задней) в зависимости от количества поврежденных колонн. При разделении пациентов на группы мы не учитывали выполненный в ряде случаев остеосинтез малоберцовой кости (МБК).

Группы исследования были сопоставимы по всем отраженным в таблице параметрам (табл. 1).

Таблица 1

## Характеристика пациентов групп исследования

Параметр	Первая группа	Вторая группа
Всего пациентов, <i>n</i> (%):	28	27
женщины	10 (36)	7 (26)
мужчины	18 (64)	20 (74)
Средний возраст, лет ( $M \pm \sigma$ )	49,2 $\pm$ 13,3	47,0 $\pm$ 15,6
Тип перелома, <i>n</i> (%):		
43A1	1 (4)	3 (11)
43A2	2 (7)	1 (4)
43A3	6 (21,5)	3 (11)
43C1	6 (21,5)	3 (11)
43C2	4 (14)	5 (19)
43C3	9 (32)	12 (44)
Перелом МБК, <i>n</i> (%)	22 (79)	23 (85)
Перелом МБК в нижней трети, <i>n</i> (% от всех случаев перелома МБК):	13 (59)	11 (47)
простой	5 (23)	4 (17)
сложный	8 (36)	7 (30)
Первичная деформация, <i>n</i> (%):		
вальгус	11 (39)	14 (52)
варус	8 (29)	9 (33)
нейтральное положение (% от всех случаев перелома МБК)	9 (32)	4 (15)
Первичная фиксация, <i>n</i> (%):		
АВФ	13 (48)	12 (43)
гипс	4 (15)	1 (4)
скелетное вытяжение	10 (37)	15 (53)

При выполнении первичной фиксации с помощью АВФ чрескостные элементы вводили в область диафиза ББК выше зоны перелома, а также в области пяточной кости, шейки таранной кости или плюсневых костей. Ни в одном случае первичной фиксации АВФ не было произведено сочетанного остеосинтеза МБК. Время окончательного остеосинтеза определялось состоянием мягких тканей, купированием отека, заживлением фликтен.

На основании первичных рентгенограмм в двух стандартных проекциях (прямой и боковой) с захватом коленного и голеностопного суставов определяли тип перелома ББК, наличие смещения отломков, первичную деформацию (варус, вальгус, анте- или ретрокурвацию), наличие, тип и локализацию перелома МБК, наличие внутрисуставных фрагментов, вывихов или подвывихов в голеностопном суставе. При планировании операции окончательного внутреннего остеосинтеза для уточнения архитектоники перелома выполняли компьютерную томографию с последующей 3D-реконструкцией и оценкой аксиальных, фронтальных и сагиттальных срезов.

Для внутрисуставных переломов оценивали вовлечение переднелатеральной, медиальной, задней колонн [1], наличие типичных фрагментов: бугорка Tillaux–Charut, фрагмента Фолькмана и медиальной лодыжки. Определяли тип повреждения колонн (компрессия или раскол), выявля-

ли области расхождения отломков на передней и задней поверхностях дистального метафиза ББК. При переломах типа 43C3 выявляли наличие и степень смещения центрального импрессированного фрагмента. Оценивали дистальный межберцовый синдесмоз, конгруэнтность положения МБК в вырезке ББК.

На основании анализа первичных рентгенограмм и КТ проводили предоперационное планирование, определяли необходимые хирургические доступы и имплантаты. Наличие перелома МБК, тип и локализация также учитывались нами в ходе предоперационного планирования.

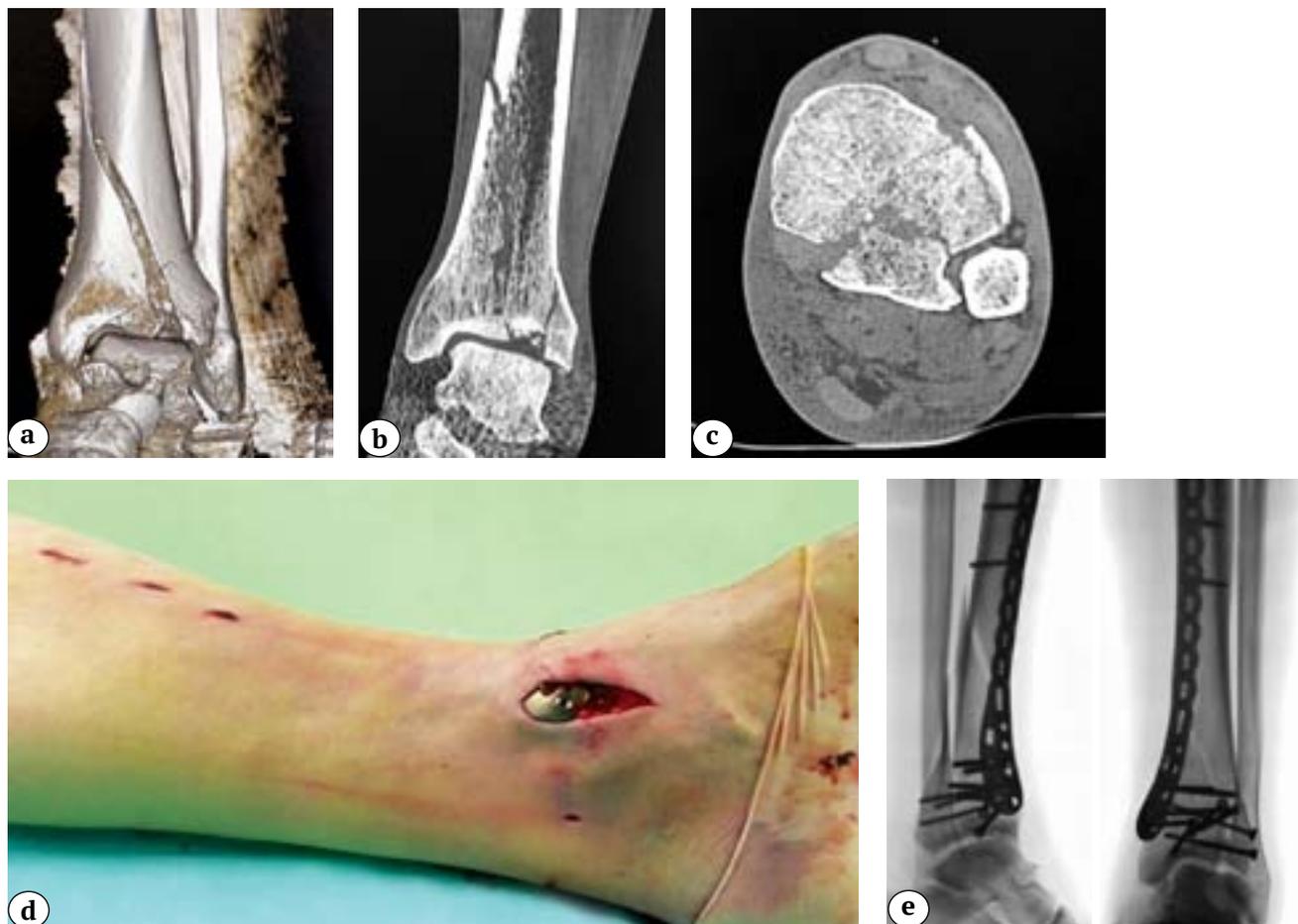
### Хирургическая техника

В зависимости от типа перелома применяли три модификации накостного остеосинтеза у пациентов обеих групп исследования.

При околосуставном переломе дистального метаэпифиза ББК (тип 43A) из положения на спине выполняли малоинвазивный остеосинтез пластиной по медиальной и/или переднелатеральной поверхности ББК [3, 11, 13]. Установку выбранной в ходе предоперационного планирования пластины осуществляли из двух мини-доступов (дистального и проксимального), формируя канал под кожей и мышцами голени. Имплантат проводили эпипериостально по медиальной или переднелатеральной поверхности. Пластины анатомичной

формы старались при этом позиционировать по контурам кости так, чтобы она лучше прилегала к восстановленной по оси, длине и ротации ББК,

а винты, вводимые в дистальный отдел пластины, проходили субхондрально, не перфорируя при этом суставную поверхность (рис. 1).



**Рис. 1.** Перелом пилона типа 43C1 у пациента 68 лет:

a, b, c — данные первичной СКТ, позволяющие оценить расположение основных костных фрагментов; d — хирургические мини-доступы; e — рентгенологический результат операции

**Figure 1.** Type 43C1 pilon fracture in a 68-year-old patient:

a, b, c — initial CT scans showing the localization of the primary bone fragments; d — medial mini-incisions; e — postoperative X-rays

Репозицию отломков ББК выполняли преимущественно закрытыми методами. Для осуществления тракции и контроля ротации в ряде случаев применяли стрежневой дистрактор или выполняющий его функцию аппарат наружной фиксации с установкой чрескостных стержней в область верхней трети диафиза ББК через гребень в сагиттальной плоскости и в область бугра пяточной кости во фронтальной плоскости. При переломах типов 43A1, 43C1 (простой перелом метафиза) в ряде случаев для закрытой репозиции использовали остроконечные костодержатели, располагая их таким образом, чтобы они не препятствовали имплантации пластины.

При оскольчатых околоуставных переломах типов 43A2 и 43A3 руководствовались принципом адекватной репозиции и шинирования костных отломков, выполняя тракцию и контроль ротации методами ручной репозиции или с использованием дистрактора. Во всех случаях старались максимально сохранить перифрактурную гематому.

Для установки анатомичной дистальной медиальной пластины выполняли два мини-доступа. Дистальный начинали от верхушки медиальной лодыжки и продлевали его проксимально на 3–4 см. Проксимальный доступ длиной 3 см выполняли над верхним концом пластины, ориентируя его продольно посередине между передним и зад-

ним контурами медиальной поверхности ББК. Альтернативным вариантом было выполнение нескольких отдельных проколов кожи длиной до 1 см над соответствующими отверстиями пластины. Через эти доступы устанавливали винты с угловой стабильностью: 4–5 винтов — дистально и 3–4 винта — проксимально. В ряде случаев перед установкой блокирующих винтов вводили 1–2 кортикальных винта для улучшения позиционирования пластины по контуру кости. Все этапы контролировали интраоперационной флюороскопией.

Для установки переднелатеральной пластины использовали два варианта хирургических доступов. В первом случае выполняли продольный разрез кожи и поверхностной фасции длиной 3–5 см на передней поверхности голени, направленный на 4-ю плюсневую кость, начиная от уровня щели голеностопного сустава на середине расстояния между передним краем МБК и гребнем ББК. Далее в продольном направлении рассекали удерживатель сухожилий разгибателей для отведения сухожилий медиально и обнажения переднелатеральной поверхности дистального эпифиза ББК. Через сформированное окно снизу вверх эпипериостально вводили предызогнутую анатомичную переднелатеральную пластину для дистального отдела ББК до тех пор, пока ее дистальный конец не достигал уровня субхондрального слоя ББК. После этого предварительно фиксировали пластину к кости спицей Кишнера. На уровне проксимального конца пластины на переднелатеральной поверхности голени выполняли разрез кожи и мягких тканей длиной 3 см, минимально необходимой для визуализации пластины. При необходимости выполняли окончательную репозицию отломков и позиционирование пластины под контролем ЭОП, вводя кортикальные винты в проксимальный и дистальный концы пластины или временно устанавливая костодержатели. Пластины фиксировали к кости винтами с угловой стабильностью, вводя через дистальный доступ ниже зоны перелома и через проксимальный доступ выше зоны перелома по 3–4 винта.

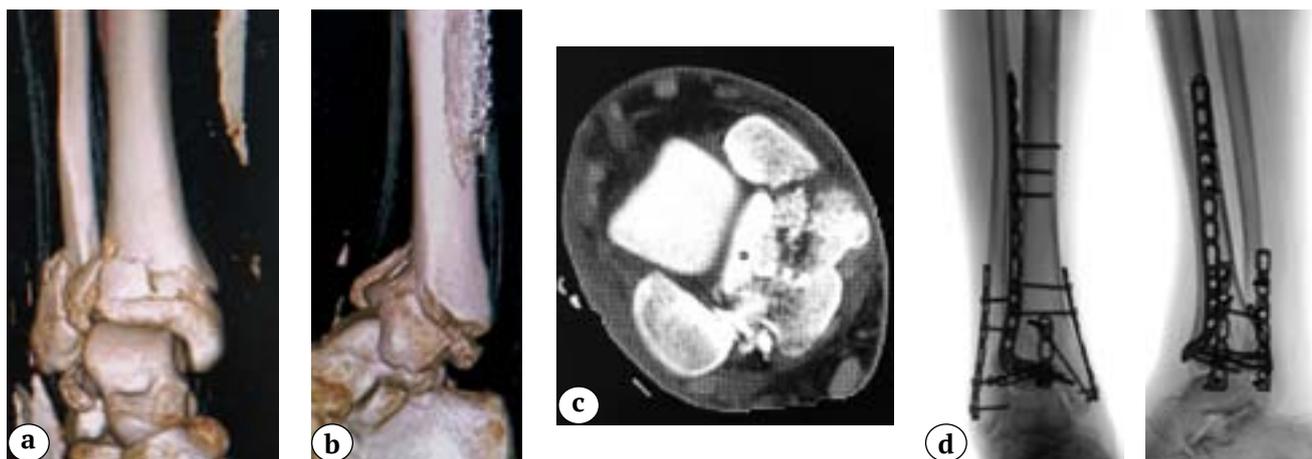
В ряде случаев в качестве дистального применяли поперечный доступ длиной 3–4 см, расположенный на 1–2 см выше щели голеностопного сустава, с последующей продольной диссекцией и формированием двух окон между проксимальной и дистальной порциями удерживателя сухожилий разгибателей для доступа к ББК. Первое окно располагалось между длинным разгибателем первого пальца стопы и длинным разгибателем пальцев стопы, второе — латеральнее длинного разгибателя пальцев стопы. Через эти окна дистальные блокирующие винты вводили в пластину. Техника вы-

полнения подобной операции подробно описана нами в ранее опубликованной работе [12].

В случаях установки добавочных опорных пластин у пациентов второй группы имплантацию осуществляли эпипериостально по медиальной или переднелатеральной поверхности, используя аналогичную хирургическую технику и ограничивая длину разрезов размерами, необходимыми для установки двух винтов с угловой стабильностью в каждом из фрагментов. В качестве добавочных опорных пластин применяли длинные версии реконструктивной, третьетрубчатой или прямой малой пластин, фиксируя их кортикальными винтами диаметром 3,5 мм, винтами для губчатой кости диаметром 4,0 мм и винтами диаметром 3,5 мм с угловой стабильностью (рис. 2).

При наличии внутрисуставного компонента перелома перед имплантацией пластин производили закрытую или ограниченную открытую репозицию отломков, содержащих суставную поверхность, и фиксировали их стягивающими винтами диаметром 4,0 мм с неполной резьбой. Винты вводились перпендикулярно плоскости внутрисуставного перелома. Для этого увеличивали длину дистальных доступов для имплантации пластины на 2–3 см или выполняли добавочные продольные доступы длиной 3–4 см таким образом, чтобы избежать конфликта с мягкотканым мостиком между доступами. При наличии импрессии до проведения стягивающих винтов устраняли импакцию и заполняли образовавшийся дефект остеокондуктивным материалом. При наличии смещенного заднего фрагмента ББК его репозицию и фиксацию осуществляли из отдельного заднелатерального или заднемедиального доступа, фиксируя задний фрагмент отдельной третьетрубчатой или реконструктивной противоскользкой пластиной. При этом остеосинтез заднего фрагмента, как правило, проводили перед выполнением передних доступов.

При наличии сочетанного перелома МБК ее остеосинтез осуществляли по следующим показаниям [14]: наличие первичной вальгусной деформации ББК с преимущественно многооскольчатый характером перелома переднелатеральной колонны пилона ББК и МБК; остаточная вальгусная деформация и/или латеральная нестабильность, выявляемая на этапах остеосинтеза в ходе интраоперационных стресс-тестов под контролем рентгеноскопии; значительное смещение отломков МБК, компрометирующее положение латеральной лодыжки в вырезке МБК на ББК. При подозрении на повреждение дистального межберцового синдесмоза устанавливали позиционный винт по общепринятой технологии [3].



**Рис. 2.** Перелом дистального отдела голени типа 43С3 у пациента 19 лет:  
a, b, c — данные первичной СКТ; d — рентгенограммы в прямой и боковой проекциях через 12 мес. после операции  
**Figure 2.** Type 43C3 distal tibial fracture in a 19-year-old patient:  
a, b, c — initial CT scans; d — X-rays in the AP and lateral views 12 months post-operation

Все операционные доступы ушивали по стандартной методике, используя атравматичный шовный материал, избегая натяжения краев операционных ран. Внешнюю иммобилизацию не выполняли. Все описанные методы репозиции и принципы остеосинтеза мы применяли в обеих группах исследования, стремясь к максимально возможному восстановлению анатомии дистального отдела голени и максимально стабильной фиксации отломков.

Со вторых суток послеоперационного периода рекомендовали активные движения в голеностопном суставе. Осевую нагрузку ограничивали до появления признаков консолидации переломов ББК и МБК. Контрольные рентгенограммы выполняли на следующий день после операции и через 6 нед., 3, 6 и 12 мес. после остеосинтеза. Позиционный винт (при его установке) удаляли через 6–8 нед. после операции.

### Оценка результатов

При сравнении полученных результатов оценивали длительность предоперационного периода и качество репозиции костных отломков. Результаты репозиции оценивали по наличию остаточной угловой деформации во фронтальной и сагиттальной плоскостях, укорочения и ротации костных отломков, определяемых по стандартным рентгенограммам в прямой и боковой проекциях. В ряде случаев ориентировались по рентгенограммам контралатеральной конечности. При этом репозицию считали «отличной» при отсутствии остаточной угловой деформации, ротации и укорочения оперированной голени. Для сравнительного анализа применяли величины средних референтных

углов голени и голеностопного сустава в прямой и боковой проекциях, описанные Л.Н. Соломиным с соавторами [15]. Репозицию считали удовлетворительной (допустимой) при сохранении угловой деформации не более 5° (вальгус, варус, анте-, ретрокурвация), неудовлетворительной — при наличии угловой деформации более 5°.

Репозицию внутрисуставных фрагментов ББК оценивали в трех градациях в зависимости от остаточного смещения в виде «ступеньки» на суставной поверхности и/или расширения линии перелома на боковой рентгенограмме. Отличной (анатомичной) считали репозицию при отсутствии ступеньки, расширения линии перелома и подвывиха в голеностопном суставе, определяемого на рентгенограммах в прямой и боковой проекциях при полной конгруэнтности суставных поверхностей (одинаковое расстояние между суставными поверхностями таранной, большеберцовой и малоберцовой костей). Репозиция считалась удовлетворительной при наличии «ступеньки» суставной поверхности и/или расширении линии перелома не более 2 мм. Неудовлетворительная репозиция характеризовалась «ступенькой» суставной поверхности и/или расширением линии перелома более 2 мм и/или подвывихом в голеностопном суставе [3, 16].

Оценку сращения переломов проводили на основании контрольных рентгенограмм в указанные выше сроки. Отмечали консолидацию перелома при наличии костной мозоли или исчезновении линии перелома в прямой и боковой проекциях. Обращали внимание на признаки подвывиха в голеностопном суставе, нарастание деформации, вторичного смещения и миграции имплантатов.

Функциональный исход лечения оценивали в баллах по шкале AOFAS-AHS через 6 и 12 мес. после операции [17].

Отдельно анализировали ранние и отсроченные осложнения остеосинтеза: глубокие и поверхностные инфекционные осложнения, миграцию имплантатов, замедленную консолидацию переломов, вторичное смещение костных отломков с нарастанием угловой деформации, посттравматический остеоартрит.

### Статистический анализ

При статистическом анализе данных соответствие количественных переменных закону нормального распределения проверялось с использованием критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Для порядковых и биномиальных переменных анализировались таблицы сопряженности с расчетом критерия  $\chi^2$ , отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (95% ДИ), критерия  $\chi^2$  с поправкой на правдоподобие, точного критерия Фишера, точного критерия Фишера–Фримана–Холтона. Сравнение количественных переменных в зависимости от типа распределения данных производилось с помощью двухвыборочного t-критерия Стьюдента или критерия Манна–Уитни. Описательные статистики для переменных с нормальным распределением представлены в виде среднего значения со стандартным отклонением ( $M \pm SD$ ), а в случае распределения отличного от нормального — в виде медианы (Me) с указанием межквартильного размаха [Q1–Q3], а также минимального и максимального значения. Относительные величины выражены в процентах.

Формирование массива данных было выполнено в табличном редакторе Excel пакета программ Microsoft Office (Microsoft, США). Статистический анализ производился в программе SPSS Statistics v. 27 (IBM, США).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение пациентов с переломами типа 43С по вовлеченным колоннам анализировали в обеих группах. В первой группе у 8 (29%) пациентов были повреждены все три колонны: медиальная, переднелатеральная, задняя. Также имелся фрагмент центральной импрессии. У 3 (11%) пациентов вовлечение трех колонн (переднелатеральной, медиальной и задней) не сопровождалось формированием фрагмента центральной импрессии, еще у 8 (29%) пациентов был выявлен простой внутрисуставной перелом с одной плоскостью и с формированием отдельного заднего фрагмента.

Во второй группе у 11 (41%) пациентов были повреждены все четыре стандартных компонента перелома: медиальная, переднелатеральная, задняя колонны и фрагмент центральной импрессии. У 9 (33%) пациентов вовлечение трех колонн (переднелатеральной, медиальной и задней) не сопровождалось формированием фрагмента центральной импрессии.

Доли пациентов в группах по таким параметрам, как применение малоинвазивного накостного остеосинтеза из мини-доступов с закрытой репозицией отломков, открытая репозиция через ограниченные стандартные переднелатеральный или переднемедиальный доступы, остеосинтез МБК, а также репозиция по данным послеоперационных рентгенограмм представлены в таблице 2.

Мы обнаружили, что в случае многоколонной фиксации перелома пилон при наличии перелома МБК ее остеосинтез выполнялся статистически значимо реже: критерий  $\chi^2$  равен 4,148;  $p = 0,042$ ; ОШ = 3,709 (95% ДИ: 1,021–13,472). Статистически значимых различий по частоте достижения анатомичной репозиции между группами отмечено не было: точный критерий Фишера–Фримана–Холтона равен 2,69;  $p = 0,23$ .

Таблица 2

#### Результаты сравнения качественных показателей в группах исследования

Параметр	Первая группа (n = 28)	Вторая группа (n = 27)	p
МИПО	15 (54%)	13 (48%)	0,786
ORIF	13 (46%)	14 (52%)	
Остеосинтез МБК	17 (61%)	11 (41%)	<b>0,042</b>
Репозиция:			0,230
анатомичная	18 (64%)	22 (81%)	
удовлетворительная	8 (29%)	5 (19%)	
неудовлетворительная	2 (7%)	0	

Жирным шрифтом выделен  $p < 0,05$ . МИПО — малоинвазивный накостный остеосинтез из мини-доступов с закрытой репозицией отломков; ORIF — открытая репозиция через ограниченные стандартные переднелатеральный или переднемедиальный доступы.

В послеоперационном периоде контрольные осмотры с выполнением контрольных рентгенограмм в двух стандартных проекциях проводились в срок 3, 6, 12 мес. Оценивали рентгенологические признаки сращения перелома, явления миграции и перелома имплантатов, вторичного смещения костных отломков и резорбции костной ткани вокруг винтов как признака неста-

бильности фиксации. Оценивали также рентгенологические признаки посттравматического остеоартрита (сужение суставной щели, остеофиты, формирующиеся деформации голеностопного сустава).

Количественные, в том числе функциональные, показатели, а также результаты их сравнительного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты сравнения количественных показателей в группах исследования**

Параметр	Первая группа (n = 28)	Вторая группа (n = 27)	p
Предоперационный койко-день	10 [9,00–14,25] min – 6, max – 27	11 [9,50–22,00] min – 7, max – 52	0,247
Длительность госпитализации, дней	16,5 [14,00–19,25] min – 12, max – 27	18 [15,00–26,00] min – 8, max – 61	0,249
AOFAS 6 месяцев, баллы	63 [50,00–73,00] min – 42, max – 84	75 [67,50–81,00] min – 59, max – 83	<b>0,015</b>
AOFAS 12 месяцев, баллы	74 [65,00–83,25] min – 60, max – 95	85 [71,00–94,50] min – 53, max – 99	<b>0,028</b>
Осложнения	10 (36%)	3 (11%)	<b>0,029</b>

Жирным шрифтом выделен  $p < 0,05$ .

**Осложнения**

В первой группе исследования осложнения выявлены у 10 (36%) пациентов, в том числе 2 случая глубокой инфекции, потребовавшей ревизионной операции; 1 случай поверхностной инфекции и краевого некроза послеоперационной раны; 1 случай вторичного смещения и перелома имплантата; 1 случай несращения за счет формирования метафизарного костного дефекта; 1 случай замедленного сращения; 2 случая остаточной вальгусной деформации, один из которых потребовал ревизионного остеосинтеза; 2 случая выраженного посттравматического остеоартрита.

Во второй группе исследования осложнения выявлены у 3 (11%) пациентов — все с переломами типа 43C3. Из них у одного пациента выявлена периимплантная инфекция, возникшая в срок 5 мес. после ограниченной открытой репозиции и фиксации пилона из заднемедиального доступа с установкой третьетрубчатой пластины на заднюю колонну, дистальной медиальной пластины на медиальную колонну и малоинвазивной фиксации третьетрубчатой пластиной переднелатеральной колонны. При этом явления местной инфекции в виде отека и гиперемии кожи наблюдались преимущественно в области заднемедиального доступа. На контрольных рентгенограммах признаки сращения перелома. В ходе санации удалены пластины с задней и медиальной колонн, третьетрубчатая пластина на переднелатеральной колонне сохранена. Явления местной инфекции ку-

пированы. Пациент осмотрен в срок 12 мес. после остеосинтеза — болевой синдром и другие жалобы отсутствуют, имеются умеренные ограничения движений в голеностопном суставе за счет тыльного разгибания (угол тыльного разгибания — 85°, угол подошвенного сгибания — 130°), функциональный результат — 85 баллов по шкале AOFAS.

У одного пациента второй группы в срок 1 год после травмы выявлен посттравматический остеоартрит голеностопного сустава, сопровождающийся болевым синдромом, ограничением амплитуды движений, хромотой и выраженными рентгенологическими признаками в виде сужения суставной щели и околоуставных остеофитов. При этом послеоперационная рентгенологическая оценка репозиции костных отломков была удовлетворительной с сохранением остаточного вальгуса до 5°. По поводу повторного оперативного лечения пациент не обращался.

Еще один пациент имел высокоэнергетический многооскольчатый перелом типа 43C3 со значительной центральной импрессией. После первичной фиксации циркулярным АВФ в режиме умеренной тракции с восстановлением оси и длины голени на 9-е сут. ему были выполнены ограниченная открытая репозиция и остеосинтез перелома пилона ББК через переднелатеральный доступ с фиксацией реконструктивной пластиной переднелатеральной колонны, дополнительной малоинвазивной фиксацией медиальной колонны при помощи дистальной медиальной пластины, а так-

же остеосинтез перелома 43F2A МБК третьтубчатой пластиной. В ходе операции было достигнуто «отличное» рентгенологическое положение отломков. Послеоперационные раны зажили без осложнений, пациент приступил к ходьбе с тростью в срок 3 мес. после травмы. Однако на контрольных осмотрах в сроки 6 и 12 мес. выявлено несращение перелома из-за сформировавшегося костного дефекта в метафизарной зоне, подтвержденного КТ-исследованием и частичной миграцией медиальной опорной пластины. Выполнена костная аутопластика метафизарной области и рефиксация медиальной опорной пластиной, приведшая к консолидации перелома через 3 мес. после травмы.

В целом разница в частоте осложнений у пациентов первой и второй групп оказалась статистически значимой: критерий  $\chi^2$  с поправкой на правдоподобие равен 4,818;  $p = 0,029$ ; ОШ = 4,444 (95% ДИ: 1,066–18,528). Таким образом, вероятность осложнений в первой группе была в 4,4 раза выше, чем во второй.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Переломы пилона, особенно тяжелые повреждения типа 43C3, требуют тщательного подхода к планированию и хирургическому лечению, и многоколонная фиксация в данном случае, с нашей точки зрения, более оправдана, так как подразумевает более прицельный подход к остеосинтезу всех поврежденных суставных фрагментов.

Наличие сопутствующего перелома МБК сопряжено с вопросом о необходимости ее фиксации. По нашему мнению, эта проблема неоднозначная и требует отдельного исследования. Остеосинтез в данном случае следует рассматривать не как фактор стабильности, а, скорее, как репозиционный маневр. В ряде случаев это облегчает репозицию пилона ББК, но только при простом характере перелома МБК, когда вероятность ошибки в восстановлении длины МБК невелика. Фиксацию МБК следует выполнять по определенным показаниям и не при всех типах переломов пилона [14].

Подобное настороженное отношение к остеосинтезу МБК высказывают многие современные авторы [18, 19, 20]. По данным В. Shafiq с соавторами, накостный остеосинтез МБК повышает риск инфекционных осложнений и необходимости удаления имплантатов. Кроме того, он удлиняет операцию, а удлинение операции на каждые 10 мин. при общей ее продолжительности более 120 мин. также значительно повышает риск инфекции [18]. Исходя из наших данных, можно отметить, что многоколонная фиксация статистически значимо снижала необходимость остеосинтеза МБК при переломах пилона типов 43А и 43С.

Рентгенологический результат репозиции отломков, оцененный нами в двух группах, прово-

дился по общепринятым критериям, описанным в литературе и применяемым другими авторами [3, 16]. В группе многоколонной фиксации доля пациентов с анатомичной репозицией была выше. Мы объясняем это возможностью более качественного пространственного восстановления положения и целостности каждой из колонн с применением комбинации хирургических доступов и имплантатов, т.е. подходом, которым мы руководствовались при выполнении операций, последовательно выполняя репозицию и фиксацию каждой из поврежденных колонн. Таких рекомендаций придерживаются многие современные авторы, занимающиеся остеосинтезом сложных переломов пилона ББК [7, 16, 21]. В то же время для выделения статистически значимых закономерностей необходимо более многочисленное мультицентровое исследование.

Различия в функциональных показателях между группами, на наш взгляд, могут быть связаны с меньшей долей осложнений в группе многоколонной фиксации, с большей долей пациентов с качественным восстановлением анатомических взаимоотношений в голеностопном суставе, а также с более высоким уровнем стабильности фиксации, способствовавшим раннему началу активных движений.

Доля осложнений в первой группе пациентов составила 36%, во второй — 11%, что соответствует данным других авторов. Так, Y. Chen с соавторами в группе из 102 пациентов с переломами пилона, прооперированных с применением современных подходов к накостному остеосинтезу, в 28 случаях (27,5%) получили 36 осложнений с преобладанием поверхностной и глубокой инфекции (по 8,8%) [22]. В исследовании С. Sommer с соавторами доля осложнений в группе из 109 пациентов с переломами типов 43В и 43С составила 36,2% [23].

В нашей работе в первой группе наблюдались следующие осложнения мягких тканей: в 7% случаев — глубокая инфекция, в 4% — замедленное заживление раны. Эти осложнения обусловлены в большей степени тяжестью самой травмы, а также высоким риском излишней травматизации мягких тканей при применении стандартных хирургических доступов, даже ограниченных по длине. Необходимость полноценной визуализации суставных фрагментов и непрягая манипуляция отдаленными фрагментами (например, задним краем ББК) могут приводить к излишней тракции краев раны с последующей их ишемией, повышая риск инфицирования.

Во второй группе при применении комбинации хирургических доступов, которые дают прямой подход к репозируемому и фиксируемому фрагменту и которые некоторые авторы называют *fragment-specific approaches* [18], инфекционные

осложнения наблюдались только у одного пациента. При этом проблем с заживлением ран не отмечено. Осложнения, связанные с замедленным сращением, несращением, остаточной вальгусной угловой деформацией, вторичным смещением отломков также встречались чаще в первой группе исследования, что можно объяснить как дополнительным нарушением кровоснабжения костных отломков за счет манипуляций с ними, так и ошибками первичной репозиции с сохранением смещения отломков и недостаточным уровнем стабильности фиксации при использовании одной пластины. Во второй группе пациентов при применении последовательной репозиции поврежденных колонн из прямых доступов и многоколонной фиксации снижается риск излишней девитализации отломков и повышается стабильность фиксации дистального метаэпифиза ББК в целом. Аналогичного мнения придерживаются многие авторы, говоря о том, что последовательное прицельное восстановление поврежденных колонн дает преимущество в плане качества репозиции суставной поверхности, функционального результата и частоты осложнений [24, 25].

Высокая доля развития посттравматического остеоартрита в обеих группах (7% — в первой и 4% — во второй) обусловлена большой долей тяжелых внутрисуставных переломов типа 43С3. В то же время, по данным литературы, доля посттравматических артрозов значительно выше. Так, О. Вакар с соавторами приводят цифру 57,1% посттравматического остеоартрита голеностопного сустава 2-й степени и выше по классификации Kellgren–Lawtence. Авторы, как и в нашем исследовании, сравнивают результат накостного остео-

синтеза при переломах пилона типа 43С в двух группах с применением многоколонной и одноколонной фиксации. В группе многоколонной фиксации авторы диагностировали посттравматический остеоартрит у 40% больных, хотя к недостаткам исследования можно отнести слишком маленькое количество пациентов в группе многоколонной фиксации (10 пациентов) и отсутствие четкого описания клинических проявлений посттравматического остеоартрита у них [26]. Возможно, наша оценка частоты посттравматического остеоартрита основана на выявлении артрита более тяжелой стадии с выраженными клиническими проявлениями, однако мы можем отметить, что наши данные не превышают данные, приводимые в литературе. При этом артродезирование голеностопного сустава не было выполнено ни одному из наших пациентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоколонная техника фиксации при полных около- и внутрисуставных переломах пилона обеспечивала лучшие функциональные показатели по сравнению с одноколонной, снижала риск осложнений за счет повышения стабильности фиксации отломков и устойчивости системы «имплантаты – кость» к физиологическим нагрузкам, а также реже требовала остеосинтеза малоберцовой кости. Применение комбинации хирургических доступов и имплантатов позволило в большом количестве случаев добиться анатомичной репозиции отломков, сращения перелома и восстановления функции. При этом применение комбинации коротких прямых доступов и многоколонной фиксации привело к снижению риска мягкотканых осложнений.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

Майоров Б.А. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных.

Беленький И.Г. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Сергеев Г.Д. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста рукописи.

Гадов К.К. — сбор, анализ и интерпретация данных.

Сергеева М.А. — сбор данных, написание и редактирование текста рукописи.

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.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

Maierov B.A. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation.

Belen'kiy I.G. — study concept and design, editing the manuscript.

Sergeev G.D. — data acquisition, analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Gadoev K.K. — data acquisition, analysis and interpretation

Sergeeva M.A. — data acquisition, drafting and editing the manuscript.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено этическим комитетом ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», протокол № 1-11 от 15 ноября 2023 г.

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

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

**Ethics approval.** The study was approved by the local ethics committee of St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia, protocol No 1-11, 15.11.2023.

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

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Беленький И.Г., Майоров Б.А., Кочиш А.Ю., Усенов М.Б. Современные взгляды на оперативное лечение пациентов с переломами пилона. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;(4). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27955>. Belenkiy I.G., Mayorov B.A., Kochish A.U., Usenov M.B. Modern Views on Surgical Treatment of Pilon Fractures. *Modern Problems of Science and Education*. 2018;(4). Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27955>. (In Russian).
2. Canale S.T., Beaty J.H. Campbell's Operative Orthopaedics. 12<sup>th</sup> ed. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier; 2013. 4635 p.
3. Buckley R.E., Moran C.G. Apivattthakakul Th. AO principles of fracture management. 3<sup>d</sup> ed. Thieme; 2018. 1120 p.
4. Andalib A., Etemadifar M.R., Rafiee Zadeh A., Moshkdar P. Treatment of Pilon Fractures with Low Profile Plates. *Int J Burns Trauma*. 2021;11(6):486-493.
5. Haller J.M., Githens M., Rothberg D., Higgins T., Nork S., Barei D. Risk Factors for Tibial Plafond Nonunion: Medial Column Fixation May Reduce Nonunion Rates. *J Orthop Trauma*. 2019;33(9):443-449. doi: 10.1097/BOT.0000000000001500.
6. Viberg B., Kleven S., Hamborg-Petersen E., Skov O. Complications and Functional Outcome After Fixation of Distal Tibia Fractures with Locking Plate – A Multicentre Study. *Injury*. 2016;47(7):1514-1518. doi: 10.1016/j.injury.2016.04.025.
7. Penny P., Swords M., Heisler J., Cien A., Sands A., Cole P. Ability of Modern Distal Tibia Plates to Stabilize Comminuted Pilon Fracture Fragments: Is Dual Plate Fixation Necessary? *Injury*. 2016;47(8):1761-1769. doi: 10.1016/j.injury.2016.05.026.
8. Chen Z., Chen D., Yang H., Wu W., Dai Z. 360 Degrees Internal Fixation by Double Approaches for High-Energy Closed Pilon Fractures. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2015;29(10):1226-1229. (In Chinese).
9. Lou Z., Wang Z., Liu C., Tang X. Outcomes of tibial Pilon Fracture Fixation Based on Four-Column Theory. *Injury*. 2023;54(Suppl 2):S36-S42. doi: 10.1016/j.injury.2022.08.017.
10. Bastias C., Lagos L. New Principles in Pilon Fracture Management: Revisiting Rüedi and Allgöwer Concepts. *Foot Ankle Clin*. 2020;25(4):505-521. doi: 10.1016/j.fcl.2020.08.004.
11. Tong G.O., Bavonratanavech S. Tibia and Fibula Distal. In: AO Manual of Fracture Management. Minimally Invasive Plate Osteosynthesis (MIPO), Switzerland: AO Publishing; 2007. Ch. 18. P. 305-325.
12. Майоров Б.А., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Гадоев К.К. Малоинвазивный остеосинтез закрытого перелома дистального метаэпифиза большеберцовой кости со смещением отломков. *Медикобиологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2023;(30):38-49. doi: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-00-35. Maiorov B.A., Belen'kii I.G., Sergeev G.D., Gadoev K.K. Minimally invasive osteosynthesis in displaced closed metaepiphyseal fractures of the distal tibia. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2023;(30):38-49. doi: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-00-35. (In Russian).
13. Lakhotia D., Sharma G., Khatri K., Kumar G.N., Sharma V., Farooque K. Minimally Invasive Osteosynthesis of Distal Tibial Fractures Using Anterolateral Locking Plate: Evaluation of Results and Complications. *Chin J Traumatol*. 2016;19(1):39-44. doi: 10.1016/j.cjtee.2015.07.010.
14. Майоров Б.А., Беленький И.Г., Кочиш А.Ю., Григорян Ф.С. К вопросу о фиксации малоберцовой кости при ее переломах, сочетающихся с переломами пилона. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(6). doi: 10.17513/spno.30311. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=30311>. Mayorov B.A., Belenkiy I.G., Kochish A.Y., Grigoryan F.S. To the Issue of the Fibula Fixation in Cases of Pilon Fractures in Association with Fibula Fractures. *Modern Problems of Science and Education*. 2020;(6). doi: 10.17513/spno.30311. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=30311>. (Accessed on: 15.04.2024). (In Russian).
15. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Кулеш П.Н., Виленский В.А., Корчагин К.Л., Скоморошко П.В. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей : пособие для врачей. 2-е изд., перераб. и доп. СПб : РНИИТО им. Р.Р. Вредена; 2012. 48 с. Solomin L.N., Shchepkina E.A., Kulesh P.N., Vilenskii V.A., Korchagin K.L., Skomoroshko P.V. Definition of reference lines and angles of long bones. St. Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2012. 48 p. (In Russian).
16. Ding W., Xu J., Zhu Y., Nian S., Lu Y., Zheng M. et al. Comparative Study on the Clinical Efficacy of Small Plate Assisted Anatomic Plate and Traditional Double Plate in the Treatment of Rüedi and Allgöwer II – III Pilon Fracture. *BMC Surg*. 2023; 23(1):352. doi: 10.1186/s12893-023-02251-9.

17. Фомичев В.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Середя А.П. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы Американской ортопедической ассоциации стопы и голеностопного сустава АОФАС-АHS. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):78-86. doi: 10.17816/2311-2905-16494.  
Fomichev V.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Sereda A.P. Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale (AOFAS-AHS). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):78-86. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-16494.
18. Shafiq B., Zhang B., Zhu D., Gupta D.K., Cumberly M., Stepanyan H. et al. Reducing Complications in Pilon Fracture Surgery: Surgical Time Matters. *J Orthop Trauma*. 2023;37(10):532-538. doi: 10.1097/BOT.0000000000002637.
19. Hong C.C., Tan S.H.S., Saha S., Pearce C.J. Fibula fixation in the treatment of tibial pilon fractures - Is it really necessary? *Foot Ankle Surg*. 2022;28(7):891-897. doi: 10.1016/j.fas.2021.12.007.
20. Kurylo J.C., Datta N., Iskander K.N., Tornetta P. 3<sup>rd</sup>. Does the Fibula Need to be Fixed in Complex Pilon Fractures? *J Orthop Trauma*. 2015;29(9):424-427. doi: 10.1097/BOT.0000000000000304.
21. Dai C.H., Sun J., Chen K.Q., Zhang H.B. Omnidirectional Internal Fixation by Double Approaches for Treating Rüedi-Allgöwer Type III Pilon Fractures. *J Foot Ankle Surg*. 2017;56(4):756-761. doi: 10.1053/j.jfas.2017.02.012.
22. Chen Y., Huang X., Chen Y., Shi C., Li H., Xu J. et al. Comparison of Complications of Early and Delayed Open Reduction and Internal Fixation for Treating Pilon Fracture: A Protocol of Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2021;16(11):e0258962. doi: 10.1371/journal.pone.0258962.
23. Sommer C., Nork S.E., Graves M., Blauth M., Rudin M., Stoffel K. Quality of Fracture Reduction Assessed by Radiological Parameters and Its Influence on Functional Results in Patients with Pilon Fractures - A Prospective Multicentre Study. *Injury*. 2017;48(12):2853-2863. doi: 10.1016/j.injury.2017.10.031.
24. Ketz J., Sanders R. Staged Posterior Tibial Plating for the Treatment of Orthopaedic Trauma Association 43C2 and 43C3 Tibial Pilon Fractures. *J Orthop Trauma*. 2012;26(6):341-347. doi: 10.1097/BOT.0b013e318225881a.
25. Kottmeier S.A., Madison R.D., Divaris N. Pilon Fracture: Preventing Complications. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26(18):640-651. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00160.
26. Bakan Ö.M., Vahabi A., Özkayın N. Management of Complex Pilon Fractures: Is It Necessary to Fix All the Columns in AO/OTA Type 43-C Fractures? *Injury*. 2023;54(12):111153. doi: 10.1016/j.injury.2023.111153.

#### Сведения об авторах

✉ **Беленький Игорь Григорьевич** — д-р мед. наук  
Адрес: Россия, 192242, г. Санкт-Петербург,  
Будапештская ул., д. 3  
<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>  
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

**Майоров Борис Александрович** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>  
e-mail: bmayorov@mail.ru

**Сергеев Геннадий Дмитриевич** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>  
e-mail: gdsergeev@gmail.com

**Гадоев Камолiddин Комилович**  
<https://orcid.org/0009-0003-5565-0721>  
e-mail: dr.kamoliddink@mail.ru

**Сергеева Мария Александровна**  
<https://orcid.org/0009-0003-3255-1771>  
e-mail: masharik1990@mail.ru

#### Authors' information

✉ **Igor G. Belen'kiy** — Dr. Sci. (Med.)  
Address: 3, Budapeshtskaya st., St. Petersburg, 192242,  
Russia  
<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>  
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

**Boris A. Mayorov** — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>  
e-mail: bmayorov@mail.ru

**Gennadii D. Sergeev** — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>  
e-mail: gdsergeev@gmail.com

**Kamoliddin K. Gadoev**  
<https://orcid.org/0009-0003-5565-0721>  
e-mail: dr.kamoliddink@mail.ru

**Mariya A. Sergeeva**  
<https://orcid.org/0009-0003-3255-1771>  
e-mail: masharik1990@mail.ru

## Changes in the Donor Site Following Bone-Patellar Tendon-Bone Graft Harvesting with Open or Closed Defects

Pavel A. Trachuk, Aleksandr P. Trachuk, Oleg E. Bogopolskiy

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

### Abstract

**Background.** The patellar tendon is frequently used as a graft source for anterior cruciate ligament reconstruction. The search of the factors that enhance the healing process of the donor site may contribute to improved anatomical and functional outcomes.

**The aim of the study** – to determine the features of the harvesting techniques for better donor site healing by examining postoperative changes in the patellar tendon following two different graft harvesting methods.

**Methods.** This study examined the condition of the patellar tendon after two methods of graft harvesting under the same early mobilization protocols. Group 1 (retrospective) enrolled 30 patients who underwent follow-up MRI at different times after surgery, during which ligamentous and bony defects were not closed. Group 2 (prospective) included 30 patients who received full-layer suturing of the patellar tendon and patellar and tibial bone defects plasty. Postoperatively, all patients underwent radiography, and the Insall-Salvati ratio of their patellar position was evaluated. In Group 2, MRI was performed preoperatively and 12 months post-surgery, while CT scans were taken 1 day and 6 months post-surgery. MRI was utilized to measure the size and qualitatively assess the condition of the tendon, whereas bone defects were evaluated on CT scans.

**Results.** The Insall-Salvati ratio of patellar position was within the physiological norm and did not differ between the groups ( $M_1 = 1.11$ ;  $SD_1 = 0.13$  and  $M_2 = 1.12$ ;  $SD_2 = 0.15$ ;  $p = 0.955$ ). In Group 2, after 12 months, the length of the tendon was 3.1% shorter ( $M = -1.4$  mm;  $SD = 2.4$  mm;  $p = 0.003$ ). The width of the tendon in the upper third and middle third was slightly increased ( $M = 0.3$  mm;  $SD = 2.4$  mm;  $p = 0.502$  and  $M = 0.5$  mm;  $SD = 2.1$  mm;  $p = 0.205$ ), while in the lower third it was 2.7% larger ( $M = 0.7$  mm;  $SD = 1.7$  mm;  $p = 0.034$ ). The thickness of the tendon increased by 55% ( $M = 2.4$  mm;  $SD = 1.6$  mm;  $p = 0.001$ ). All patients in Group 1 exhibited persistent bony and ligamentous defects. In Group 2, six months after surgery, cancellous bone filled the defects and integrated with the bone bed; 12 months later, the tendon was healed, and its shape and size approximated preoperative parameters.

**Conclusion.** Full-layer suturing of the patellar tendon, reconstruction of defects using cancellous bone autograft, and early mobilization promote the healing of bone defects and restore the integrity, shape, and size of the tendon.

**Keywords:** patellar tendon, anterior cruciate ligament, donor site, graft harvesting technique.

---

**Cite as:** Trachuk P.A., Trachuk A.P., Bogopolskiy O.E. Changes in the Donor Site Following Bone-Patellar Tendon-Bone Graft Harvesting with Open or Closed Defects. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):60-71. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17606>.

✉ Pavel A. Trachuk; e-mail: trachukpav@gmail.com

Submitted: 02.09.2024. Accepted: 18.10.2024. Published Online: 11.11.2024.

© Trachuk P.A., Trachuk A.P., Bogopolskiy O.E., 2024

## Изменения в донорской зоне после забора трансплантата из связки надколенника с оставлением или закрытием дефектов

П.А. Трачук, А.П. Трачук, О.Е. Богопольский

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

### Реферат

**Актуальность.** Связку надколенника часто используют как источник трансплантата для пластики передней крестообразной связки. Поиск факторов, повышающих качество заживления донорского дефекта, может способствовать улучшению анатомо-функциональных результатов.

**Цель** — на основании изучения послеоперационных изменений в связке надколенника после двух вариантов забора трансплантата определить особенности техники, обеспечивающие более полноценное заживление донорской зоны.

**Материал и методы.** Проведено исследование состояния связки надколенника после двух вариантов забора трансплантата в одинаковых условиях ранней мобилизации. В первую (ретроспективную) группу вошли 30 пациентов, которым в различные сроки после операции выполняли МРТ, связочные и костные дефекты не устраняли. Вторую (проспективную) группу составили 30 пациентов, у которых выполняли полнослойный шов связки и костную аутопластику дефектов. У всех пациентов выполняли рентгенографию и изучали индекс положения надколенника Insall – Salvati после операции. Во второй группе выполняли МРТ до операции и через 12 мес., КТ — через 1 день и 6 мес. после операции. По МРТ измеряли размеры и качественно оценивали состояние связки, по КТ — состояние костных дефектов.

**Результаты.** Рентгенологический индекс положения надколенника соответствовал физиологической норме и не отличался между группами ( $M_1 = 1,11$ ;  $SD_1 = 0,13$  и  $M_2 = 1,12$ ;  $SD_2 = 0,15$ ;  $p = 0,955$ ). У пациентов второй группы через 12 мес. длина связки была меньше на 3,1% ( $M = -1,4$  мм;  $SD = 2,4$  мм;  $p = 0,003$ ); ширина связки в верхней трети и в середине незначительно увеличивалась ( $M = 0,3$  мм;  $SD = 2,4$  мм;  $p = 0,502$  и  $M = 0,5$  мм;  $SD = 2,1$  мм;  $p = 0,205$ ), а в нижней трети она была больше на 2,7% ( $M = 0,7$  мм;  $SD = 1,7$  мм;  $p = 0,034$ ); толщина связки возрастала на 55% ( $M = 2,4$  мм;  $SD = 1,6$  мм;  $p = 0,001$ ). У всех пациентов первой группы имелись стойкие костные и связочные дефекты. Во второй группе через 6 мес. после операции губчатая кость заполняла дефекты и прирастала к стенкам, через 12 мес. связка становилась целостной, ее форма и размеры приближались к дооперационным показателям.

**Заключение.** Полнослойное шивание связки надколенника, пластика дефектов губчатой аутокостью и ранняя мобилизация обеспечивают заживление костных дефектов и восстановление целостности, формы и размеров связки.

**Ключевые слова:** связка надколенника, передняя крестообразная связка, донорское место, техника забора.

 **Для цитирования:** Трачук П.А., Трачук А.П., Богопольский О.Е. Изменения в донорской зоне после забора трансплантата из связки надколенника с оставлением или закрытием дефектов. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):60-71. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17606>.

 Трачук Павел Александрович; e-mail: trachukpav@gmail.com

Рукопись получена: 02.09.2024. Рукопись одобрена: 18.10.2024. Статья опубликована онлайн: 11.11.2024.

© Трачук П.А., Трачук А.П., Богопольский О.Е., 2024

## INTRODUCTION

The problem of the improvement of the surgical reconstruction of the damaged anterior cruciate ligament (ACL) remains relevant, as ongoing discussions persist regarding the advantages and disadvantages of various grafts [1, 2, 3, 4]. Reports continue to emerge about the novel techniques for graft harvesting [5, 6, 7], optimal placement [8, 9, 10, 11], and minimizing postoperative donor site complications [12, 13, 14, 15]. Most surgeons agree that effective operation requires adherence to the anatomical concept of reconstruction [16, 17, 18, 19], which focuses on restoring the function of the damaged ligament by using an appropriate biological graft, placing it correctly, and securely integrating it at the original ACL attachment sites [20, 21, 22].

The patellar tendon graft, harvested from its middle third, remains the material closest in structure, form, and properties to the native ligament [23]. Many surgeons prefer this graft, particularly for young patients actively engaged in contact, team, and jumping sports [24, 25, 26, 27]. According to international surveys, in 2020, 45.5% of respondents from North America identified the patellar tendon graft as their first-choice option, compared to an average of 16.1% from other regions [28]. Data from nearly all national registries indicate that this graft has the lowest revision rates (ranging from 1.5% to 3.2%), which is particularly crucial since it is often used for physically active patients at high risk of repeated injury [4, 29, 30]. Moreover, the functional status of the operated knee joint exhibited superior rotational stability compared to soft tissue tendon grafts [31].

However, the use of the patellar tendon graft can be associated with significant donor site changes. Postoperative findings have included thickened fixed scars [32, 33, 34], painful palpable defects at the donor site [35, 36], shortening of the tendon [37], patellar fractures, persistent degenerative changes in the tendon, and even ruptures [38, 39]. Various methods have been proposed to mitigate donor site complications, but their effectiveness remains under debate. There is no consensus on how best to close the tendon defect—whether to leave it open, suture only the peritenon, loosely approximate the superficial layers, or perform full-layer suturing of the tendon and peritenon. The necessity and

potential outcomes of bone grafting for donor site defects also remain unclear.

It is reasonable to assume that if clinical issues stem from changes at the patellar tendon donor site, a more complete tendon restoration may lead to improved results. Thus, this study focuses on the condition of the patellar tendon following graft harvesting for ACL reconstruction.

*The aim of the study* was to determine the features of the harvesting techniques for better donor site healing by examining postoperative changes in the patellar tendon following two different graft harvesting methods.

## METHODS

A retrospective-prospective study was conducted to evaluate the condition of the patellar tendon in 60 patients who had undergone ACL reconstruction with graft harvesting and defect closure using two different techniques.

*Inclusion criteria:* (1) age 18-45 years; (2) no signs of osteoarthritis; (3) postoperative X-rays and MRI data available for analysis; (4) consistent rehabilitation program aimed at restoring the weight-bearing capacity of the lower limb, full knee extension and mobility, and activation of thigh muscles from postoperative days 1-3.

*Exclusion criteria:* pathological conditions at the graft harvesting site (tendinitis, osteochondropathy, previous extensor apparatus injuries and their sequelae).

Group 1 (retrospective) included 30 randomly selected patients who underwent MRI after ACL reconstruction for various reasons (follow-up, new complaints, recurrences). This group comprised 21 men and 9 women, with a mean age of 28 years ( $M = 28.2$ ;  $SD = 7.0$ ). The follow-up period ranged from 1 to 20 years, with a median follow-up of 4.7 years ( $Q1 = 3.8$ ;  $Q3 = 6.4$ ).

In this group, graft harvesting was performed via two horizontal incisions (Figure 1). Incisions up to 3 cm in length were made away from bony prominences. The upper incision was below the apex of the patella and the lower incision was above the tibial tuberosity. The peritenon was incised only at the skin incisions, mobilized between them with a clamp, and the graft was taken while preserving the integrity of the fascial sheath. After graft harvesting, the peritenon edges and tendon bundles were sutured at the skin incisions over the tendon ends using one

or two absorbable sutures. Bone defects were not repaired. The tendon bundles within the preserved sheath were not sutured, assuming that the guiding sutures at the tendon ends would suffice for approximation and subsequent healing. All patients in Group 1 underwent arthroscopic transtibial ACL reconstruction.



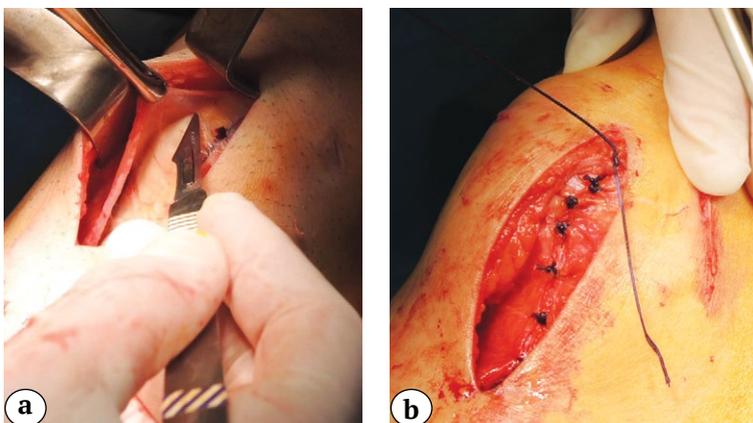
**Figure 1.** Stage of graft harvesting from the patellar tendon through horizontal incisions in a patient from Group 1

Group 2 (prospective) consisted of 30 patients who, in 2022, underwent anatomical double-incision ACL reconstruction using a patellar tendon autograft from its middle third. This group included 22 men and 8 women, with a mean age of 30 years ( $M = 30.1$ ;  $SD = 6.9$ ), and a follow-up period of 12 months ( $M = 11.9$ ;  $SD = 0.2$ ).

Graft harvesting involved a longitudinal incision of the skin and subcutaneous tissue over the patellar tendon, 5-7 cm in length; the peritenon was incised longitudinally and mobilized, exposing the patellar tendon edges.

A graft measuring 10-12 mm in width with bone blocks from the patella and tibial tuberosity, 20 mm and 30 mm in length respectively and up to 8 mm deep, was prepared. Two columns of cancellous bone (diameter 4.5 mm each) were harvested from the tibial tuberosity. An absorbable No. 2 interrupted suture was placed at the edge of the patella apex, capturing peritenon layers, tendon edges for the entire thickness, and underlying fat pad. This isolated the bone defect in the patella from the tendon defect to prevent migration of bone fragments and marrow cells. The previously prepared cancellous bone columns were tightly packed into the patellar defect, over which the peritenon layers and prepatellar bursa were sutured. The peritenon and tendon bundles were then sutured with absorbable No. 2 sutures with stitches of 0.5-1.0 cm length up to the tibial tuberosity defect (Figure 2). During ACL reconstruction, bone chips were collected during graft bone edge preparation and tunnel formation, and these chips were placed into the tibial defect, with the tendon and peritenon edges sutured over it. Finally, the subcutaneous tissue and skin were closed with intradermal sutures.

To assess potential shortening of the patellar tendon following different graft harvesting methods, postoperative X-rays were analyzed, and the Insall-Salvati ratio of patellar position was calculated. Lateral views were used to measure the ratio of the distance between the patellar tendon attachment points to the maximum vertical patellar size [40], and values were compared between groups. MRI was used to evaluate the presence or absence of defects at the donor site.



**Figure 2.** Stages of graft harvesting through a longitudinal incision in patients from Group 2:  
a – mobilization of the longitudinally incised peritenon and exposure of the anterior surface of the patellar tendon;  
b – appearance of the sutured donor site defect

All patients in Group 2 underwent MRI preoperatively, X-ray and CT the day after operation, CT at 6 months postop, and MRI at 12 months postop. MRI assessments included the measurements (length, width, and thickness) of the patellar tendon preoperatively and at 12 months. Length was measured along the posterior contour of the tendon between attachment points on sagittal slices where tendon length was minimal. Width was measured on axial slices in the upper, middle, and lower thirds: the first measurement was taken 6-8 mm from the patellar edge, the second at the mid-tendon, and the third 6-8 mm from the tibial attachment. Thickness was measured on an axial slice at the mid-tendon, recording the maximum dimension. CT scans evaluated the healing dynamics of patellar and tibial tuberosity defects replaced with cancellous bone autograft. Imaging was performed at Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics using a Siemens Somatom Definition AS CT scanner (Germany) and a Siemens Magnetom Verio 3.0 T MRI scanner (Germany). Measurements were performed using RadiAntDICOMViewer 4.2.1 (Medixant, Poland).

### Statistical analysis

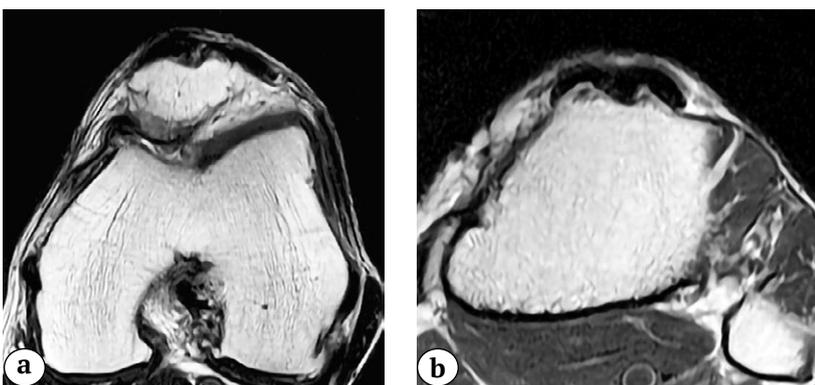
Statistical processing was performed using SPSS 17.0 (Microsoft®, USA). For describing quantitative values of the Insall-Salvati ratio in both groups and patellar tendon dimensions before

and after surgery in Group 2, the normality was tested with the Shapiro-Wilk test. Mean (M) and standard deviation (SD) were used to describe quantitative variables. Comparisons of the Insall-Salvati ratio between groups were conducted using a two-sample Student's t-test. Paired Student's t-test was used to compare quantitative variables in Group 2 over time. Differences were considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

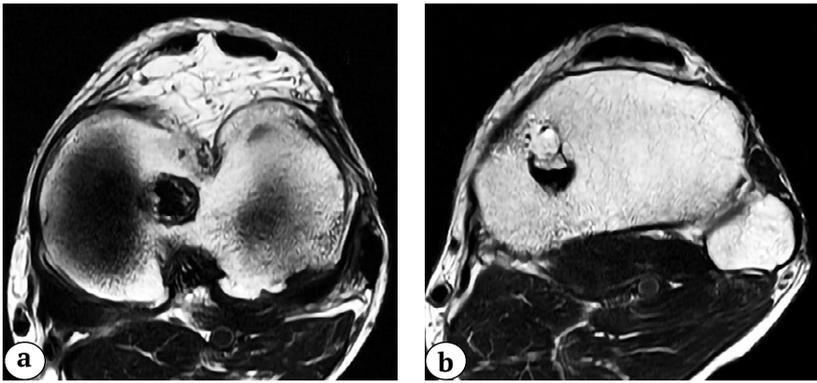
### RESULTS

The performed Shapiro-Wilk test showed that all the examined data were normally distributed ( $p > 0.05$ ). The radiological Insall-Salvati ratio of patellar position after surgery was within the physiological norm, with no significant differences between the groups:  $M_1 = 1.11$  ( $SD_1 = 0.13$ ) in Group 1 and  $M_2 = 1.12$  ( $SD_2 = 0.15$ ) in Group 2,  $p = 0.955$ ,  $t(58) = 0.06$ .

All patients in Group 1 exhibited unfilled bone defects of the patella and tibial tuberosity that persisted until the final follow-up (Figure 3). In the areas where the ligament bundles were sutured, a homogeneous ligament of sufficient width and thickness was observed. In regions where the ligament was not sutured, all patients displayed persistent defects filled with scar tissue resembling the adjacent adipose tissue in density and structure. No signs of defect replacement by tissue resembling ligament were observed even 20 years postoperatively (Figure 4).



**Figure 3.** Unfilled bone defects at the donor site of the patella (a) and tibial tuberosity (b) in a patient from Group 1 at 20-year follow-up



**Figure 4.** The unsutured segment of the patellar tendon filled with scar tissue resembling the adjacent adipose tissue in density and structure (a); the sutured segment appears homogeneous, broad enough, and slightly thickened (b) in a patient from Group 1 at 20-year follow-up

Postoperative changes in patellar ligament dimensions analyzed in patients of Group 2 are presented in Table 1. At 12 months, the average shortening of the patellar ligament was 3.1%. The width of the ligament in the upper and middle thirds was nearly restored to its original size, while in the lower third it increased by an average of 2.6%. Ligament thickness increased by an average of 55%.

In all patients of the Group 2 who underwent graft harvesting with subsequent full-layer suturing of the defect, the ligament after surgery formed a unified structure. The suture line was either not visible or barely discernible. No tendon defects or deformities due to suture divergence were observed. The width of the ligament was almost completely restored, with

only moderate thickening visible on all axial slices (Figure 5).

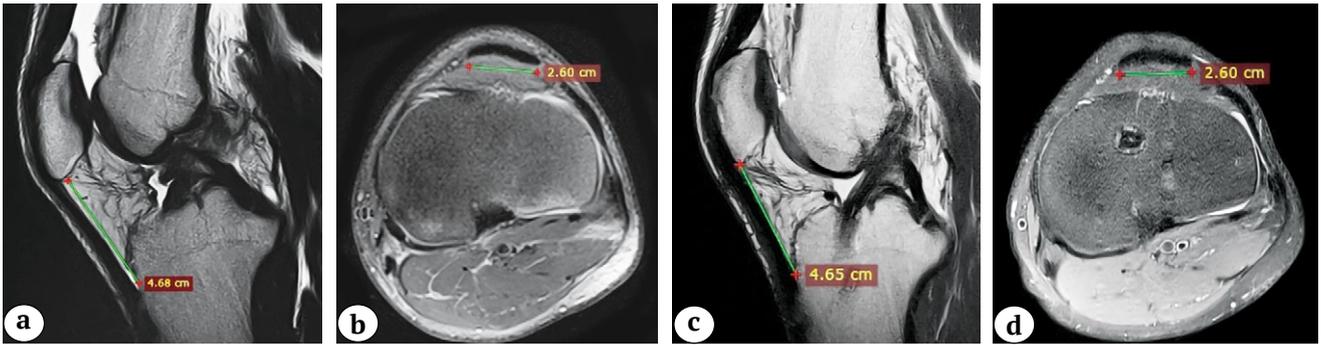
Two patients with sutures placed at intervals of more than 2 cm and not across all layers exhibited areas of deformed and incompletely healed ligament (Figure 6).

CT evaluation on the day following surgery revealed that bone defects after ligament harvesting were nearly completely filled with cancellous bone, and all graft material was localized within the defect zones (Figure 7). At 6 months, all observations showed that bone grafts had fused with the defect walls and were nearly indistinguishable in density from the surrounding bone, with their surface becoming smoother. No signs of heterotopic ossification were observed (Figure 8).

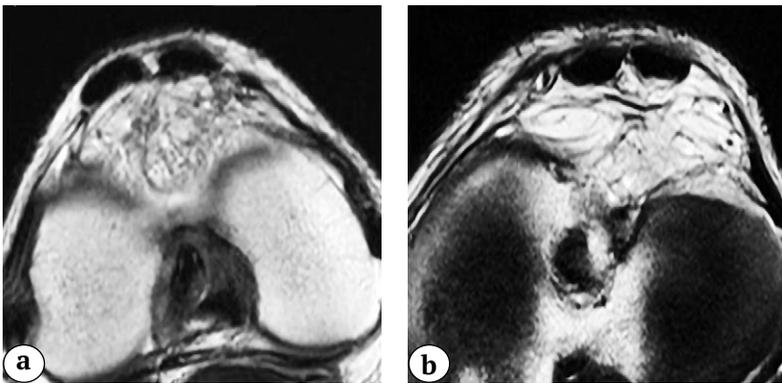
*Table 1*

**Changes in patellar ligament dimensions 12 months after harvesting in patients of Group 2 (n = 30)**

Patellar ligament parameters	Preoperative parameter value (L <sub>0</sub> , mm)	Parameter value 12 months postoperatively (L <sub>12</sub> , mm)	Parameter difference (L <sub>12</sub> -L <sub>0</sub> , mm)	P
Length	M = 44.5 (SD = 4.8)	M = 43.1 (SD = 4.7)	M = -1.4 (SD = 2.4; t(29) = -3.284)	0.003
Width in the upper third	M = 30.7 (SD = 3.6)	M = 31.0 (SD = 3.3)	M = 0.3 (SD = 2.4; t(29) = 0.681)	0.502
Width in the middle third	M = 28.9 (SD = 3.6)	M = 29.4 (SD = 3.5)	M = 0.5 (SD = 2.1; t(29) = 1.297)	0.205
Width in the lower third	M = 26.8 (SD = 3.5)	M = 27.5 (SD = 3.7)	M = 0.7 (SD = 1.7; t(29) = 2.225)	0.034
Thickness in the middle of the ligament	M = 4.4 (SD = 0.6)	M = 6.8 (SD = 1.7)	M = 2.4 (SD = 1.6; t(29) = 8.138)	0.001



**Figure 5.** MRI scan of the patellar tendon in a patient from Group 2 before (a, b) and after graft harvesting (c, d)



**Figure 6.** Appearance of the deformed patellar tendon after graft harvesting with non-full-thickness suturing: tendon edges are approximated but not sutured (a), only the superficial layer and peritenon are sutured (b)



**Figure 7.** CT scans showing filled bone defects of the patella (a) and tibial tuberosity (b) on the first postoperative day



**Figure 8.** Three-dimensional CT reconstruction of the knee joint showing cancellous bone-filled donor defects of the patella and tibial tuberosity 6 months after surgery

Thus, the identified characteristics of postoperative changes in the patellar ligament under early mobilization conditions indicate that restoring the structural integrity and dimensions of the ligament requires reliable full-layer contact between ligament bundles, filling the bone defects of the patella and tibial tuberosity with cancellous autograft, and careful coverage of the healing zone with peritenon. Under these conditions, the bone union and closure of patellar and tibial tuberosity defects were observed within 6 months, and at 12 months the patellar ligament became a continuous homogeneous structure. Its shape and dimensions approached preoperative values, with width nearly restored, length slightly decreased, and thickness moderately increased.

Effective healing of the donor site was achieved through the following technical measures: longitudinal skin incision outside bony prominences; full-layer suturing of ligament bundles after graft harvesting; mobilization and subsequent suturing of peritenon layers; reconstruction of patellar and tibial tuberosity defects with bone cancellous autograft; and wound closure with resorbable suture material.

## DISCUSSION

The extensive experience of using a graft from the middle third of the patellar ligament suggests that it is the most suitable option for patients with high demands for functional recovery, primarily athletes [24, 41]. However, patients often reported postoperative pain, palpable deformities, and crepitus in the donor site area, which were associated with graft harvesting.

Initially (in the pre-arthroscopic period), ACL reconstruction was performed via arthrotomy. A tight suture of the capsule and patellar ligament bundles was necessary to restore the synovial environment of the joint cavity and reduce the risk of postoperative infection. Protective measures for the graft during the first 1-2 months after surgery (limited weight-bearing, immobilization or wearing a brace restricting movement from 10 to 90°, prohibited active knee extension involving quadriceps contraction, cautious and gradual rehabilitation) contributed to the formation of fixed scars and joint stiffness. Reports of significant scarring and shortening of the patellar ligament, arthrofibrosis, persistent contractures, and adverse graft harvesting outcomes led to a transition to more “aggressive”

rehabilitation approaches, including leaving the ligament defect open and suturing only the peritenon [31, 36, 37, 38].

One of the first to use MRI for donor site evaluation was S.D. Coupens et al. [44]. They evaluated 6 mm axial slices and found that 18 months after full-layer defect suturing, the ligament width was restored, thickness increased by 42.5%, and its structure approached normal. The authors did not assess patellar ligament length, using the contralateral joint as a control. Our data from a prospective study were similar, though we were able to use thinner (3 mm) slices to measure each patient’s patellar ligament dimensions (length, width, and thickness at various levels) before surgery and compare them 12 months after harvesting.

In 1994, D. Kohn and A. Sander-Beuermann detected defects between unsutured ligament bundles via ultrasound two years after surgery. Additionally, 36% of patients exhibited painful bone spurs at the patella apex resulting from patella reconstruction with bone chips [32]. Our data include MRI images from patients at longer postoperative intervals. In all cases where patellar ligament bundles were not sutured after harvesting, the ligament consisted of two bundles with a clearly visible defect filled with unorganized scar tissue. In Group 2, we reconstructed patellar and tibial tuberosity defects with cancellous autograft after suturing the patellar ligament bundles. CT scans performed the day after surgery and at 6 months revealed no signs of bone fragment migration, patellar spurs, or ligament ossification. Bone fragments fused with the defect’s bone bed where placed. Dense contact of sutured bundles and peritenon suture over bone graft areas appeared to aid in retaining bone fragments within the bone bed.

In 1995, E. Adriani et al. studied open and closed patellar ligament donor sites via ultrasound and radiography at 3-12 months [34]. Vertical patellar position slightly decreased with no differences between groups. In the open-defect group, ultrasound showed a “binocular” pattern of two ligament bundles with a hyper-echoic bridge, while in the closed-defect group, echogenicity normalized within a year. Our radiological patellar position ratio data showed no group differences postop, indicating that patellar ligament bundle suturing did not shorten the

ligament. Our data confirmed that cross-suturing did not affect patellar height, and minimal changes in ligament length were observed at 12 months.

Large incisions over the patellar ligament often damage subcutaneous femoral nerve branches, causing persistent neuropathy in the lower leg, manifesting as discomfort when walking on knees [13, 15, 33]. To reduce donor site problems, less invasive graft harvesting techniques were proposed: small horizontal or vertical incisions, ligament body isolation without cutting the fascial sheath and peritenon [6, 13, 15, 33]. Preserving peritenon integrity was thought to maintain bundle contact and improve donor site vascularization. In 1999, J. Kartus et al. compared open and minimally invasive harvesting [42]. They found that two years post-surgery, patellar ligament bundle gaps were smaller with subcutaneous techniques. In our study, the minimally invasive technique was also used for Group 1, but no spontaneous defect healing was observed on MRI; the unsutured ligament remained fragmented long-term.

Long-term pathological changes in donor site tissues identified via MRI, ultrasound, and biopsy [39, 42, 43] have led to warnings against repeated graft harvesting from this site and prompted broader use of alternative graft sources. Later publications primarily compared clinical outcomes of different grafts, noting relatively more frequent anterior knee compartment problems after ACL reconstruction with patellar ligament grafts [1, 3]. No definitive technique for optimal graft harvesting and ligament and bone defect closure has been established [5, 12, 14]. Some recent reports suggest that modern ACL reconstruction techniques using patellar ligament grafts may cause fewer complications, attributed to improved evaluation systems and refined surgical techniques [7].

This study focuses on the patellar ligament and the *in-vivo* assessment of postoperative changes in the donor site after different graft harvesting techniques. The common factor in the retrospective-prospective study was identical rehabilitation protocols, including brief (up to 3 days) full-extension immobilization, manual patella mobilization, early knee joint mobility restoration, and walking initiation.

MRI data analysis in the retrospective group revealed no spontaneous complete healing of ligament and bone defects. Forces exerted during rehabilitation did not maintain contact between ligament bundles. All patients developed persistent ligament and bone defects filled with unorganized scar tissue. We observed restoration of ligament integrity, shape, and width only at the ligament and peritenon suture sites.

In the prospective group, donor defects were closed with full-layer ligament sutures, with peritenon closure over the suture line. Measurements of patellar ligament dimensions before and after surgery, as well as postoperative MRI at 12 months, showed that despite early mobilization, sutures maintained tight bundle contact without deforming the ligament. During healing, the patellar ligament restored its preoperative width after harvesting a 10-12 mm graft strip and became a unified structure. Its length was slightly reduced without pathological patellar height lowering. Thickness moderately increased at 12 months postoperatively.

Full-layer suturing of the patellar ligament edges at attachment sites isolates the bone bed from ligament defects, preventing possible bone fragment migration from the grafting site during early physical activity. Dynamic CT scans demonstrated that by 6 months postoperatively, both cancellous bone columns (in the patella) and bone chips (in the tuberosity) fused with defect walls, without resorption or migration. No signs of heterotopic ossification were observed one year postop.

### Study limitations

The limitations of this study include, first and foremost, the lack of analysis of the correlation between changes in the patellar tendon and the severity of clinical problems at the donor site. Unfortunately, accurate comparison of the patient groups observed in our study was not possible due to significant differences in ACL reconstruction techniques. Therefore, we focused on an objective assessment of changes in the patellar tendon and identifying conditions for more complete defect healing.

Secondly, the observation period for the prospective patient group was minimally sufficient for drawing reliable conclusions, as the process of reparative regeneration generally concludes within this timeframe.

## Prospects

To observe potential changes in the patellar tendon over longer periods in this patient sample.

## CONCLUSIONS

Minimally invasive harvesting of grafts from the middle third of the patellar tendon, with preservation of the fascial sheath and suturing of the tendon bundles only at their ends, leads to the formation of persistent tendon and bone defects. Full-layer suturing of the tendon bundles and peritenon, along with the reconstruction of defects using cancellous bone autograft, creates more favorable conditions for donor site healing. Osteoplastic closure of patellar and tibial tuberosity defects occurs by 6 months postop. By 12 months postop, the patellar tendon becomes a unified structure, regaining shape and size close to its preoperative state.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Trachuk P.A.* — study design, acquisition, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

*Trachuk A.P.* — study design, editing the manuscript.

*Bogopolskiy O.E.* — editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

## REFERENCES

1. Arnold M.P., Calcei J.G., Vogel N., Magnussen R.A., Clatworthy M., Spalding T. et al. ACL Study Group survey reveals the evolution of anterior cruciate ligament reconstruction graft choice over the past three decades. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(11):3871-3876. doi: 10.1007/s00167-021-06443-9.
2. Fukuda H., Ogura T., Asai S., Omodani T., Takahashi T., Yamaura I. et al. Bone-patellar tendon-bone autograft maturation is superior to double-bundle hamstring tendon autograft maturation following anatomical anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(5):1661-1671. doi: 10.1007/s00167-021-06653-1.
3. Gabler C.M., Jacobs C.A., Howard J.S., Mattacola C.G., Johnson D.L. Comparison of Graft Failure Rate Between Autografts Placed via an Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression. *Am J Sports Med.* 2016;44(4):1069-1079. doi: 10.1177/0363546515584043.
4. Gifstad T., Foss O.A., Engebretsen L., Lind M., Forssblad M., Albrektsen G. et al. Lower risk of revision with patellar tendon autografts compared with hamstring autografts: a registry study based on 45,998 primary ACL reconstructions in Scandinavia. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2319-2328. doi: 10.1177/0363546514548164.
5. Frank R.M., Mascarenhas R., Haro M., Verma N.N., Cole B.J., Bush-Joseph C.A. et al. Closure of patellar tendon defect in anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone autograft: systematic review of randomized controlled trials. *Arthroscopy.* 2015;31(2):329-338. doi: 10.1016/j.arthro.2014.09.004.
6. Gaudot F., Leymarie J.B., Drain O., Boisrenoult P., Charrois O., Beaufils P. Double-incision mini-invasive technique for BTB harvesting: its superiority in reducing anterior knee pain following ACL reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009;95(1):28-35. doi: 10.1016/j.otsr.2008.09.006.
7. Hacken B.A., Keyt L.K., Leland D.P., LaPrade M.D., Camp C.L., Levy B.A. et al. A Novel Scoring Instrument to Assess Donor Site Morbidity After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With a Patellar Tendon Autograft at 2-Year Follow-up Using Contemporary Graft-Harvesting Techniques. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(6):2325967120925482. (In Russian). doi: 10.1177/2325967120925482.
8. Malanin D.A., Suchilin I.A., Demeschenko M.V., Tscherezov L.L. Femoral tunnel formation using reference anatomical structures of the femoral intercondylar space during anterior cruciate ligament reconstruction. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2013;19(3):22-28. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2013--3-22-28.
9. Malanin D.A., Demeschenko M.V., Krayushkin A.I., Suchilin I.A., Cherezov L.L. Area of the tibial attachment of the anterior cruciate ligament from the perspective of surgical anatomy. *Journal of Volgograd State Medical University.* 2015;12(1):43-46. (In Russian).
10. Iwahashi T., Shino K., Nakata K., Otsubo H., Suzuki T., Amano H. et al. Direct anterior cruciate ligament insertion to the femur assessed by histology and 3-dimensional volume-rendered computed tomography. *Arthroscopy.* 2010;26(9 Suppl):13-20. doi: 10.1016/j.arthro.2010.01.023.
11. Pearle A.D., McAllister D., Howell S.M. Rationale for Strategic Graft Placement in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: I.D.E.A.L. Femoral Tunnel Position. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2015;44(6):253-258.
12. Lameire D.L., Abdel Khalik H., Zakharia A., Kay J., Almasri M., de Sa D. Bone Grafting the Patellar Defect After Bone-Patellar Tendon-Bone Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Decreases Anterior Knee Morbidity: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2021;37(7):2361-2376. doi: 10.1016/j.arthro.2021.03.031.

13. Mishra A.K., Fanton G.S., Dillingham M.F., Carver T.J. Patellar tendon graft harvesting using horizontal incisions for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 1995;11(6):749-752. doi: 10.1016/0749-8063(95)90123-x.
14. Peebles L.A., Akamefula R.A., Aman Z.S., Verma A., Scillia A.J., Mulcahey M.K. et al. Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft, the Incidence of Anterior Knee Pain Ranges From 5.4% to 48.4% and the Incidence of Kneeling Pain Ranges From 4.0% to 75.6%: A Systematic Review of Level I Studies. *Arthrosc Sports Med Rehabil*. 2024;6(2):1-9. doi: 10.1016/j.asmr.2024.100902.
15. Tsuda E., Okamura Y., Ishibashi Y., Otsuka H., Toh S. Techniques for reducing anterior knee symptoms after anterior cruciate ligament reconstruction using a bone-patellar tendon-bone autograft. *Am J Sports Med*. 2001;29(4):450-456. doi: 10.1177/03635465010290041201.
16. Borque K.A., Laughlin M.S., Pinheiro V.H., Jones M., Williams A. Rebranding the 'anatomic' ACL reconstruction: Current concepts. *J ISAKOS*. 2023;8(1):23-28. doi: 10.1016/j.jisako.2022.11.001.
17. Fox M.A., Engler I.D., Zsidai B.T., Hughes J.D., Musahl V. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: Freddie Fu's paradigm. *J ISAKOS*. 2023;8(1):15-22. doi: 10.1016/j.jisako.2022.08.003.
18. Musahl V., Nazzal E.M., Lucidi G.A., Serrano R., Hughes J.D., Margheritini F. et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part I: biology and biomechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(1):20-33. doi: 10.1007/s00167-021-06826-y.
19. Musahl V., Engler I.D., Nazzal E.M., Dalton J.F., Lucidi G.A., Hughes J.D. et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part II: evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(1):34-51. doi: 10.1007/s00167-021-06825-z.
20. Mochizuki T., Fujishiro H., Nimura A., Mahakkanukrauh P., Yasuda K., Muneta T. et al. Anatomic and histologic analysis of the mid-substance and fan-like extension fibres of the anterior cruciate ligament during knee motion, with special reference to the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(2):336-344. doi: 10.1007/s00167-013-2404-4.
21. Siebold R., Schuhmacher P., Fernandez F., Śmigielski R., Fink C., Brehmer A. et al. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial "C"-shaped insertion site. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(11):3136-3142. doi: 10.1007/s00167-014-3058-6.
22. Śmigielski R., Zdanowicz U., Drwięga M., Ciszek B., Ciszowska-Lysoń B., Siebold R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(11):3143-3150. doi: 10.1007/s00167-014-3146-7.
23. Shino K., Nakata K., Nakamura N., Toritsuka Y., Horibe S., Nakagawa S. et al. Rectangular tunnel double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone graft to mimic natural fiber arrangement. *Arthroscopy*. 2008;24(10):1178-1183. doi: 10.1016/j.arthro.2008.06.010.
24. Hospodar S.J., Miller M.D. Controversies in ACL reconstruction: bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction remains the gold standard. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2009;17(4):242-246. doi: 10.1097/JSA.0b013e3181c14841.
25. Kaeding C.C., Pedroza A.D., Reinke E.K., Huston L.J., MOON Consortium, Spindler K.P. Risk Factors and Predictors of Subsequent ACL Injury in Either Knee After ACL Reconstruction: Prospective Analysis of 2488 Primary ACL Reconstructions From the MOON Cohort. *Am J Sports Med*. 2015;43(7):1583-1590. doi: 10.1177/0363546515578836.
26. Murgier J., Hansom D., Clatworthy M. Current evidence around patellar tendon graft in ACLR for high-risk patients: current concepts. *J ISAKOS*. 2020;5(1):32-35. doi: 10.1136/jisako-2019-000399.
27. Murgier J., Powell A., Young S., Clatworthy M. Effectiveness of thicker hamstring or patella tendon grafts to reduce graft failure rate in anterior cruciate ligament reconstruction in young patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(3):725-731. doi: 10.1007/s00167-020-05973-y.
28. Tuca M., Valderrama I., Eriksson K., Tapasvi S. Current trends in anterior cruciate ligament surgery. A worldwide benchmark study. *J ISAKOS*. 2023;8(1):2-10. doi: 10.1016/j.jisako.2022.08.009.
29. MOON Knee Group, Spindler K.P., Huston L.J., Zajichek A., Reinke E.K., Amendola A. et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in High School and College-Aged Athletes: Does Autograft Choice Influence Anterior Cruciate Ligament Revision Rates? *Am J Sports Med*. 2020;48(2):298-309. doi: 10.1177/0363546519892991.
30. Rahr-Wagner L., Thillemann T.M., Pedersen A.B., Lind M. Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population-based cohort study: results from the danish registry of knee ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2014;42(2):278-284. doi: 10.1177/0363546513509220.
31. Aglietti P., Buzzi R., D'Andria S., Zaccherotti G. Long-term study of anterior cruciate ligament reconstruction for chronic instability using the central one-third patellar tendon and a lateral extraarticular tenodesis. *Am J Sports Med*. 1992;20(1):38-45. doi: 10.1177/036354659202000111.
32. Kohn D., Sander-Beuermann A. Donor-site morbidity after harvest of a bone-tendon-bone patellar tendon autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1994;2(4):219-223. doi: 10.1007/BF01845591.
33. Kartus J., Movin T., Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy*. 2001;17(9):971-980. doi: 10.1053/jars.2001.28979.
34. Adriani E., Mariani P.P., Maresca G., Santori N. Healing of the patellar tendon after harvesting of its mid-third for anterior cruciate ligament reconstruction and evolution of the unclosed donor site defect. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1995;3(3):138-143. doi: 10.1007/BF01565472.
35. Brandsson S., Faxén E., Eriksson B.I., Kålebo P., Swärd L., Lundin O. et al. Closing patellar tendon defects after anterior cruciate ligament reconstruction: absence of any benefit. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1998;6(2):82-87. doi: 10.1007/s001670050077.
36. Cerullo G., Puddu G., Gianni E., Damiani A., Pigozzi F. Anterior cruciate ligament patellar tendon reconstruction: it is probably better to leave the tendon defect open! *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1995;3(1):14-17. doi: 10.1007/BF01553519.
37. Muellner T., Kaltenbrunner W., Nikolic A., Mittlboeck M., Schabus R., Vécsei V. Shortening of the patellar tendon after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 1998;14(6):592-596. doi: 10.1016/s0749-8063(98)70055-6.

38. Eilerman M., Thomas J., Marsalka D. The effect of harvesting the central one-third of the patellar tendon on patellofemoral contact pressure. *Am J Sports Med.* 1992;20(6):738-741. doi: 10.1177/036354659202000616.
39. Lidén M., Movin T., Ejerhed L., Papadogiannakis N., Blomén E., Hultenby K., Kartus J. A histological and ultrastructural evaluation of the patellar tendon 10 years after reharvesting its central third. *Am J Sports Med.* 2008;36(4):781-788. doi: 10.1177/0363546507311092.
40. Insall J., Salvati E. Patella position in the normal knee joint. *Radiology.* 1971;101(1):101-104. doi: 10.1148/101.1.10.
41. Balendra G., Jones M., Borque K.A., Willinger L., Pinheiro V.H., Williams A. Factors affecting return to play and graft re-rupture after primary ACL reconstruction in professional footballers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(7):2200-2208. doi: 10.1007/s00167-021-06765-8.
42. Kartus J., Lindahl S., Stener S., Eriksson B.I., Karlsson J. Magnetic resonance imaging of the patellar tendon after harvesting its central third: a comparison between traditional and subcutaneous harvesting techniques. *Arthroscopy.* 1999;15(6):587-593. doi: 10.1053/ar.1999.v15.015058.
43. Svensson M., Kartus J., Ejerhed L., Lindahl S., Karlsson J. Does the patellar tendon normalize after harvesting its central third?: a prospective long-term MRI study. *Am J Sports Med.* 2004;32(1):34-38. doi: 10.1177/0363546503258935.
44. Coupens S.D., Yates C.K., Sheldon C., Ward C. Magnetic resonance imaging evaluation of the patellar tendon after use of its central one-third for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1992;20(3):332-335. doi: 10.1177/036354659202000317.

---

## Authors' information

✉ Pavel A. Trachuk

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

<https://orcid.org/0000-0002-4442-5831>

e-mail: trachukpav@gmail.com

Aleksandr P. Trachuk — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0005-5457-0003>

e-mail: trachukalex@mail.ru

Oleg E. Bogopolskiy

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

e-mail: 9202211@gmail.com

## Bone-Patellar Tendon-Bone vs Hamstring Tendon Autograft for Anatomical Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Outcomes at a Mean Follow-Up of 8 Years

Thatchinamoorthy Santhamoorthy<sup>1</sup>, Anish Anto Xavier<sup>1</sup>, Lalithambigai Chellamuthu<sup>2</sup>, Arun Kaliaperumal<sup>3</sup>, Dharamveer Kumar Dubey<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Indhira Gandhi Government General Hospital and Post Graduate Institute, Puducherry, India

<sup>2</sup> Mahatma Gandhi Medical College and Research Institute, Piliyarkuppam, Puducherry, India

<sup>3</sup> Indhira Gandhi Medical College and Research Institute, Kadirkamam, Puducherry, India

### Abstract

**Background.** Anterior cruciate ligament (ACL) tear is a common ligament injury of the knee joint. Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) using autografts or allografts is the standard of treatment for complete ACL tear. Anatomical tunnel positioning provides a better rotational as well as anteroposterior stability following ACLR. Nevertheless, a well-performed anatomical ACLR does fail due to various reasons. Graft selection may be one of the contributing factors.

**The aim of the study** is to compare the outcome of anatomical anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone autograft and hamstring tendon autograft at a mean follow-up of 8 years.

**Methods.** The study enrolled 150 patients who underwent primary anatomical anterior cruciate ligament reconstruction using either bone-patellar tendon-bone (BPTB) or hamstring tendon (HT) autograft. Plain radiography was used to differentiate anatomical and nonanatomical reconstruction. Eighty patients (BPTB — 36, HT — 44) with anatomical reconstruction were then compared for their clinico-radiological outcome at a mean follow-up of 8 years.

**Results.** The BPTB group showed better outcome over the HT group in terms of increased rotational and anteroposterior stability at long-term follow-up (pivot-shift test,  $p = 0.001$ ; anterior drawer test,  $p = 0.001$ ; the Lachman's test,  $p = 0.001$ ; radiological Lachman's test,  $p = 0.001$ ). There was no difference between the groups in terms of objective and subjective IKDC forms ( $p = 0.363$  and  $p = 0.154$ , relatively), the Lysholm score ( $p = 0.894$ ), anterior knee pain ( $p = 0.678$ ), single-leg hop testing ( $p = 0.248$ ) and osteoarthritic change ( $p = 0.550$ ) at a mean follow-up of 8 years.

**Conclusions.** Bone-patellar tendon-bone autograft resulted in superior clinical outcome over hamstring tendon autograft in terms of increased knee stability. No difference was observed between the grafts in other clinical outcomes and osteoarthritic change at a mean follow-up of 8 years.

**Keywords:** anatomical anterior cruciate ligament reconstruction, bone-patellar tendon-bone autograft, hamstring tendon autograft.

**Cite as:** Santhamoorthy T., Xavier A.A., Chellamuthu L., Kaliaperumal A., Dubey D.K. Bone-Patellar Tendon-Bone vs Hamstring Tendon Autograft for Anatomical Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Outcomes at a Mean Follow-Up of 8 Years. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):72-81. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17529>.

✉ Thatchinamoorthy Santhamoorthy; e-mail: santhamoorthyt@yahoo.com

Submitted: 20.04.2024. Accepted: 26.06.2024. Published online: 20.11.2024.

© Santhamoorthy T., Xavier A.A., Chellamuthu L., Kaliaperumal A., Dubey D.K., 2024

## Сравнительные результаты анатомической реконструкции ПКС ауто трансплантатом ВТВ и ауто трансплантатом из подколенных сухожилий: средний срок наблюдения восемь лет

Татчинамурти Сантамурти<sup>1</sup>, Аниш Анто Ксавье<sup>1</sup>, Лалитамбигай Челламуту<sup>2</sup>,  
Арун Калиаперумал<sup>3</sup>, Дхарамвир Кумар Дубей<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Indhira Gandhi Government General Hospital and Post Graduate Institute, Пондичерри, Индия*

<sup>2</sup> *Mahatma Gandhi Medical College and Research Institute, Пиллаияркуннам, Пондичерри, Индия*

<sup>3</sup> *Indhira Gandhi Medical College and Research Institute, Кадиркамам, Пондичерри, Индия*

### Реферат

**Актуальность.** Разрыв передней крестообразной связки (ПКС) — распространенное повреждение коленного сустава. Реконструкция передней крестообразной связки (рПКС) с использованием ауто трансплантата или аллотрансплантата является стандартом в лечении полного разрыва ПКС. Анатомическое расположение туннеля обеспечивает более высокую ротационную и переднезаднюю стабильность сустава после операции. Однако под влиянием разных факторов даже качественно выполненная рПКС иногда не дает желаемых результатов. Одним из таких факторов может быть выбор трансплантата.

**Цель исследования** — сравнить результаты реконструкции передней крестообразной связки с использованием ауто трансплантата из связки надколенника «кость-сухожилие-кость» и ауто трансплантата из подколенных сухожилий в средний срок наблюдения 8 лет.

**Материал и методы.** В исследование вошли 150 пациентов, которым была выполнена первичная реконструкция ПКС с использованием ауто трансплантата «кость-сухожилие-кость» (bone-patellar tendon-bone — ВРТВ) или ауто трансплантата из подколенных сухожилий (hamstring tendon — НТ). Для дифференциации анатомической реконструкции от неанатомической применялась обзорная рентгенография. В результате рентгенографии были отобраны 80 пациентов с анатомической реконструкцией (ВРТВ — 36, НТ — 44). Сравнение клинико-рентгенологических результатов проводилось в средний срок наблюдения 8 лет.

**Результаты.** Группа ВРТВ показала более высокие результаты, чем группа НТ, по показателям ротационной и переднезадней стабильности сустава при долгосрочном наблюдении (pivot-shift тест,  $p = 0,001$ ; тест переднего «выдвижного ящика»,  $p = 0,001$ ; тест Лахмана,  $p = 0,001$ ; рентгенологический тест Лахмана,  $p = 0,001$ ). Не было выявлено разницы между группами по показателям объективной и субъективной форм IKDC ( $p = 0,363$  и  $p = 0,154$  соответственно), шкалы Lysholm ( $p = 0,894$ ), боли в передней части колена ( $p = 0,678$ ), тестирования прыжка на одной ноге ( $p = 0,248$ ) и остеоартритических изменений ( $p = 0,550$ ) в средний срок наблюдения 8 лет.

**Заключение.** Ауто трансплантат из связки надколенника «кость-сухожилие-кость» обеспечивает лучший клинический исход в отношении стабильности коленного сустава по сравнению с ауто трансплантатом из подколенных сухожилий. Разницы между трансплантатами в отношении других клинических результатов и остеоартритических изменений не наблюдалось.

**Ключевые слова:** анатомическая реконструкция передней крестообразной связки, ауто трансплантат из связки надколенника «кость-сухожилие-кость», ауто трансплантат из подколенных сухожилий.

 **Для цитирования:** Сантамурти Т., Ксавье А.А., Челламуту Л., Калиаперумал А., Дубей Д.К. Сравнительные результаты анатомической реконструкции ПКС ауто трансплантатом ВТВ и ауто трансплантатом подколенных сухожилий: средний срок наблюдения восемь лет. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):72-81. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17529>.

 Сантамурти Татчинамурти; e-mail: santhamoorthyt@yahoo.com

Рукопись получена: 20.04.2024. Рукопись одобрена: 26.06.2024. Статья опубликована онлайн: 20.11.2024.

© Сантамурти Т., Ксавье А.А., Челламуту Л., Калиаперумал А., Дубей Д.К., 2024

## INTRODUCTION

Anterior cruciate ligament (ACL) tear is a common ligament injury of the knee joint. Approximately one third of the injuries develop persisting knee instability and osteoarthritic (OA) change over the long term if not being treated surgically [1]. Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) using autografts or allografts is the standard of treatment for complete ACL tear. In the last two decades, concepts in ACLR evolved in terms of tunnel positioning, graft selection, fixation methods, timing from injury to surgery, postoperative rehabilitation and so on. Anatomical tunnel positioning provides a better rotational as well as anteroposterior stability following ACLR [2, 3]. Nevertheless, a well-performed anatomical ACLR does fail due to various reasons. Graft selection may be one of the contributing factors. Though both autografts and allografts are used commonly, majority of the studies favours autografts over allografts [4, 5]. The most commonly studied autografts are bone-patellar tendon-bone (BPTB) and hamstring tendon (HT) autografts. Many studies favour both the grafts with their merits and demerits, leaving a space for further search for an ideal graft. Furthermore, the debate on long-term OA changes using these two grafts still remains unanswered [6, 7]. Most of the clinical studies comparing the grafts retrospectively have not considered anatomical tunnel positions on the femoral and tibial side. Therefore, there is a scope for studying the outcome of anatomically performed ACLR using these two grafts. This would possibly reduce or eliminate the confounding effect of nonanatomical tunnel positions on the final outcome.

*The aim of the study* is to compare the outcome of anatomical anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone autograft and hamstring tendon autograft at a mean follow-up of 8 years.

## METHODS

### Study design

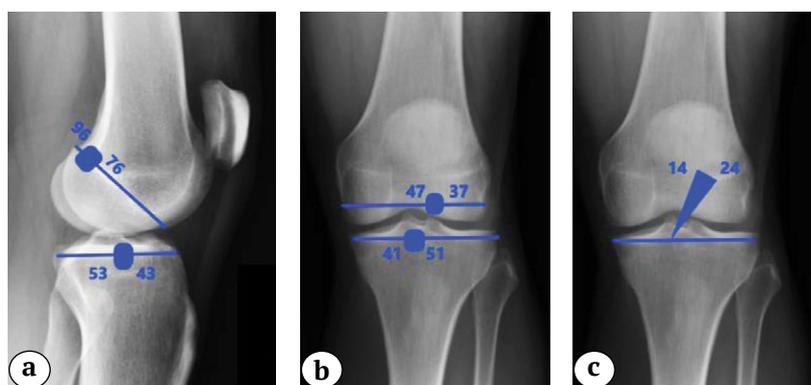
This was a retrospective single-center study conducted at a tertiary care hospital in South India. Data of patients who had underwent primary arthroscopic ACLR during the period of January 2013 to January 2016 were selected from the hospital registry. Patients aged between 18 and 50 of both sexes who had underwent single-bundle ACLR for only isolated ACL tear using either BPTB or HT autografts were included in this study. Patients with associated meniscal injuries, the Kellgren–Lawrence (KL) grading >2 [8], multiligamentous knee injuries, ipsilateral limb fractures, generalized ligament laxity and postoperative infections were excluded from the study.

### Surgical procedure and postoperative rehabilitation

The recruited patients who fulfilled the primary inclusion criteria had underwent arthroscopic single-bundle ACLR using either BPTB or quadrupled HT autografts harvested from ipsilateral limb. A single fellowship-trained arthroscopic surgeon performed the surgery in all the patients. Transportal (TP) technique was used for femoral tunnel creation. Titanium interference screws (Stryker, USA) were used for both femoral and tibial side graft fixation. All the patients recruited for the study underwent standard postoperative rehabilitation as per hospital protocol.

### Evaluation of clinical and radiological outcomes

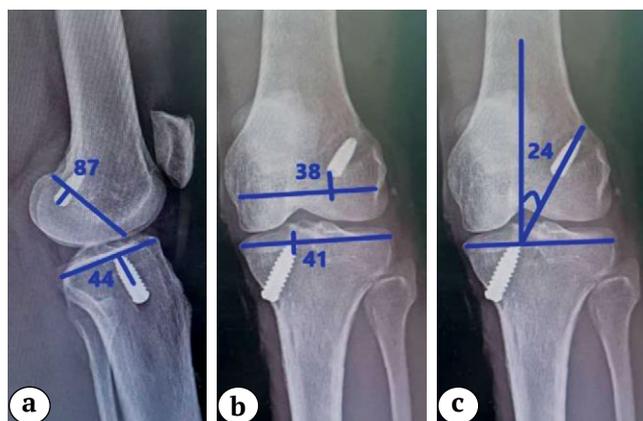
The selected cohort was subjected to radiological examination to differentiate anatomical and non-anatomical ACLR. Plain radiography of both knees in standing anteroposterior view with 0° knee flexion, pasteroanterior view with 30° knee flexion and lateral view with 30° knee flexion were taken. All X-ray images were interpreted in DICOM format in PACS (version 8.2). The anatomical nature of reconstruction was assessed as per the radiological landmarks described by L.A. Pinczewski et al. [9] (Figure 1).



**Figure 1.** Plain X-rays of the knee joint showing anatomical tunnel parameters and GIA:

- a – sagittal tunnel positions;
- b – coronal tunnel positions;
- c – graft inclination angle

Accordingly, the tunnel parameters analysed in the selected cohort were coronal femoral tunnel position, sagittal femoral tunnel position, coronal tibial tunnel position, sagittal tibial tunnel position and graft inclination angle (GIA). Patients found to have anatomical tunnel position and GIA were then subjected to final analysis (Figure 2). Those who were found to have nonanatomical tunnel position and GIA were excluded from the study.



**Figure 2.** A patient’s postoperative X-rays showing anatomical tunnel parameters and GIA: a – sagittal tunnel positions; b – coronal tunnel positions; c – graft inclination angle

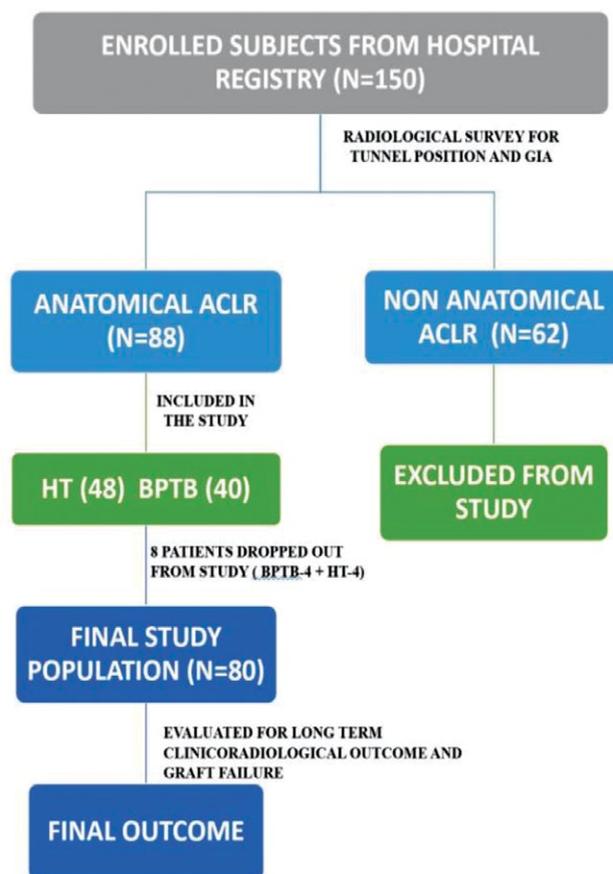
Patients with anatomical ACLR were divided into two groups based on the autograft used (BPTB group and HT group). Patients in each group were evaluated for clinical (subjective and objective) and radiological outcomes at their latest follow-up. The outcome parameters used in the study were as follows:

- I – Subjective clinical outcome parameters
  - 1) International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective knee evaluation form
  - 2) The Lysholm score
  - 3) Anterior knee pain
- II – Objective clinical outcome parameters
  - 1) International Knee Documentation Committee (IKDC) objective knee evaluation form
  - 2) Single leg-hop testing (SLHT)
  - 3) Pivot-shift test (PST)
  - 4) Anterior drawer test (ADT)
  - 5) Manual Lachman’s test (MLT)
- III – Radiological outcome parameters
  - 1) Radiological laxometry test (RLT)
  - 2) Osteoarthritic change

The objective clinical parameters were graded as per IKDC objective knee evaluation form. Radiological laxometry test was performed at 25° of knee flexion using 134 N (13.5 kg) weight to quantitate the anteroposterior stability (modified J.L. Lerat

method) [10]. The contralateral uninjured knee served as reference for comparing the knee stability tests. The results of stability tests were graded as per IKDC objective knee scoring system. Osteoarthritic change was assessed by comparing the preoperative weight-bearing plain X-rays of injured knee with the latest postoperative plain X-rays using the KL grading. Radiological evaluation was done by two radiologists with reliable inter- and intra-observer correlation.

From the hospital registry 150 patients were enrolled for the study. They were subjected to radiological examination for tunnel positions and GIA. Among them, 88 patients (BPTB group – 40, HT group – 48) had anatomical ACLR. Remaining 62 subjects who had nonanatomical tunnel positions and GIA in both groups were excluded from the study. Due to various reasons 8 patients out of 88 study subjects dropped out from the study, leaving a total of 80 (BPTB group – 36, HT group – 44). They were finally evaluated for clinico-radiological outcome measures. The flow chart of patient selection for the study shown in Figure 3.



**Figure 3.** Flowchart showing patient selection for the study

**Statistical analysis**

A statistician performed all the data analyses using IBM SPSS Statistics v. 23.0 (IBM Corp, Armonk, NY, USA). Demographic variables were summarized with standard descriptive statistics, such as frequency, mean (standard deviation) or median (interquartile range). The subjective clinical outcome between the two groups was compared using the Pearson’s chi-square test and the Mann–Whitney U test. Statistical difference between the two groups in terms of objective clinical and radiological outcome was performed with the Student’s t-test. The level of significance was 5% (two-tailed) for all analyses. The clinical and radiological outcome parameters were dichotomized for the purpose of statistical analysis (Table 1).

**Table 1**  
**Dichotomization of clinical and radiological outcome parameters**

Variable	Dichotomization
Pivot-shift test	Grade A Grade B, C and D
IKDC (objective)	Grade A and B Grade C and D
Single leg-hop testing	Grade A and B Grade C and D
Anterior drawer test	Grade A Grade B, C and D
Manual Lachman’s test	Grade A Grade B, C and D
Radiological laxometry test	Grade A Grade B, C and D
Kellgren–Lawrence grading Grade	Normal and Grade 1 Grade 2, 3 and 4

**RESULTS**

A total of 80 patients, comprising 36 (45%) in BPTB and 44 (55%) in HT group, were analysed for the clinico-radiological outcome. The results were analysed at a mean follow-up of 8±2 years after ACLR. The mean (SD) age of the study subjects was observed to be 31.25±6.83. Around 34 (42.5%), 32 (40%) and 14 (17.5%) of them belonged to the age group 20-29 years, 30-39 years and 40-49 years, respectively. Male and female subjects accounted for 71 (88.8%) and 9 (11.3%), respectively. Road traffic accidents — 34 (42.5%), injury from a fall — 24 (30%) and sports injury — 22 (27.5%) were reported to be the different modes of injury among the study subjects. The median time from injury to surgery was found to be 90 (30-180) days. The mean (SD) follow-up time for patients was 98.59±13.78 months (8±2 years). The demographic profile between the two groups was comparable with no statistical difference (Table 2).

**Table 2**

**Demographic profile of patients from the BPTB and HT groups**

Demographic profile	BPTB	HT	p-value
Age, years	31.28	31.23	0.248
Sex			
male	32	39	0.724
female	4	5	
Time since injury, days	144.64	128.23	0.241
Mechanism of injury			
road traffic accident	15	19	0.881
injury from a fall	10	14	
sports injury	11	11	
Follow-up time, months	94.44	101.98	0.31732
Side of injury			
right	20	26	0.971
left	16	18	

**Preoperative parameters**

The subjective, objective and radiological preoperative parameters were comparable between the two groups as shown in Table 3. The distribution of clinical and radiological outcome in the BPTB and HT groups are shown graphically in Figure 4 and Figure 5.

**Table 3**  
**Comparison of preoperative parameters between the BPTB and HT groups**

Clinical and radiological parameters	HT	BPTB	p-value
<b>Pivot-shift test</b>			
Grade A	1	1	0.886
Grade B, C and D	43	35	
<b>IKDC objective form</b>			
Grade A and B	0	1	0.266
Grade C and D	44	35	
<b>Single leg-hop testing</b>			
Grade A and B	2	0	0.279
Grade C and D	42	36	
<b>Anterior drawer test</b>			
Grade A	1	1	0.886
Grade B, C and D	43	35	
<b>Manual Lachman’s test</b>			
Grade A	2	0	0.195
Grade B, C and D	42	36	
<b>Radiological laxometry test</b>			
Grade A	2	0	0.195
Grade B, C and D	42	36	
<b>Kellgren–Lawrence grading</b>			
Normal and Grade 1	40	34	0.550
Grade 2, 3, 4	4	2	

End of Table 3

Clinical and radiological parameters	HT	BPTB	p-value
<b>IKDC subjective form</b>			
Mean	50.680	48.086	0.121
Minimum	6.9	33.3	
Maximum	71.3	67.8	
Standard deviation	10.7046	8.659	
<b>Lysholm score</b>			
Mean	37.32	39.50	0.841
Minimum	2	24	
Maximum	66	58	
Standard deviation	12.0	10.953	

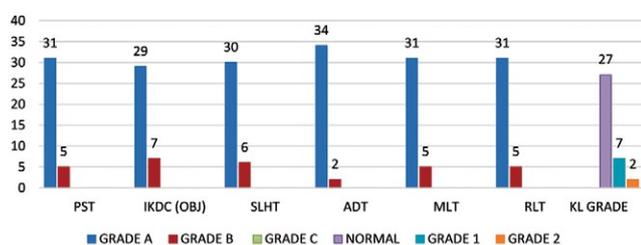


Figure 4. Distribution of objective clinical and radiological outcomes in the BPTB group

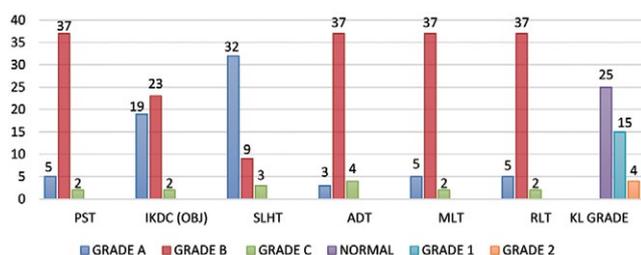


Figure 5. Distribution of objective clinical and radiological outcomes in the HT group

### Postoperative clinical outcome

There was no difference between the two groups in terms of subjective clinical outcomes such as postoperative IKDC subjective form (p-value 0.154), the Lysholm score (p-value 0.894) and anterior knee pain (p-value 0.678) (Table 4). There was no statistical difference between the two groups in terms of IKDC objective form (p-value 0.363) and single leg-hop testing (p-value 0.248), although two patients in the HT group exhibited Grade C according to IKDC objective form and SLHT, while none in the BPTB group had Grade C with regard to these two parameters. In

contrast, the objective clinical outcome in terms of postoperative PST, ADT and MLT were found to be superior in the BPTB group over the HT group (BPTB/HT) as follows:

PST – Grade A – 31/5, Grade B – 5/37, Grade C – 0/2; ADT – Grade A – 34/3, Grade B – 2/37, Grade C – 0/4; MLT – Grade A – 31/5, Grade B – 5/37, Grade C – 0/2.

The difference was statistically significant in all these three parameters (p = 0.001) as shown in Table 5.

Table 4

### Comparison of postoperative subjective clinical outcome parameters between the BPTB and HT groups

Subjective clinical outcome parameters	HT	BPTB	p-value
<b>IKDC subjective form</b>			
Mean	90.361	92.019	0.154
Minimum	50	77	
Maximum	98.9	97.7	
Standard deviation	6.7138	5.1267	
<b>Lysholm score</b>			
Mean	93.86	94.31	0.894
Minimum	50	85	
Maximum	100	100	
Standard deviation	5.147	4.439	
<b>Anterior knee pain</b>			
Present	1	2	0.678
Absent	43	34	

Table 5

### Comparison of postoperative objective clinical outcome parameters between the BPTB and HT groups

Objective clinical outcome parameters	HT	BPTB	p-value
<b>Pivot-shift test</b>			
Grade A	5	31	0.001
Grade B, C and D	39	5	
<b>IKDC objective form</b>			
Grade A and B	43	36	0.363
Grade C and D	1	0	
<b>Single leg-hop testing</b>			
Grade A and B	41	36	0.248
Grade C and D	3	0	
<b>Anterior drawer test</b>			
Grade A	3	34	0.001
Grade B, C and D	41	2	
<b>Manual Lachman's test</b>			
Grade A	5	31	0.001
Grade B, C and D	39	5	

### Postoperative radiological outcome

The postoperative radiological laxometry test assessment has shown better outcome in the BPTB group compared to the HT group (BPTB/HT) as follows: (Grade A – 31/5, Grade B – 5/37 and Grade C – 0/2) and the difference was statistically significant ( $p = 0.001$ ). There was no difference in OA change between the two groups ( $p = 0.550$ ) (Table 6). Interestingly, none of the patients has shown progression of osteoarthritis at long-term evaluation and the current postoperative KL grading remains the same as that of their preoperative KL grading in all the patients.

Table 6

**Comparison of postoperative radiological outcome parameters between the BPTB and HT groups**

Radiological outcome parameters	HT	BPTB	p-value
<b>Radiological laxometry test</b>			
Grade A	5	31	0.001
Grade B, C and D	39	5	
<b>Kellgren–Lawrence grading</b>			
Normal and Grade 1	40	34	0.550
Grade 2, 3, 4	4	2	

### DISCUSSION

The primary finding in our study was that patients in the BPTB group have shown superior clinical outcome over the HT group in terms of improved rotational as well as anteroposterior stability. These results were statistically significant, and more importantly the difference was found at a mean follow-up of  $8 \pm 2$  years after ACLR. There was no difference between the two groups in terms of demography, fixation method, femoral and tibial tunnel drilling technique, IKDC forms (objective and subjective), SLHT, the Lysholm score and OA change. The distinct feature of the current study was that we evaluated the outcome only in anatomically reconstructed ACL, in order to avoid confounding effect of nonanatomical tunnel parameters on the final outcome. Majority of the clinical studies in the past compared the outcome of BPTB and HT autografts either at short- or mid-term (<5 years) follow-up [11, 12, 13]. Only few studies have a long-term follow-up of >5 years [14, 15, 16]. In all these studies, when comparing the grafts, either the tunnel parameters were not considered or nonanatomical tunnels have not been excluded using radiography. The current study was distinct from the above ones in that we aimed to compare the outcome of these two grafts only in anatomically reconstructed ACL using plain radiography at a mean follow-up of 8 years.

M.C. Ciccotti et al. in their systemic review on mid-to long-term follow-up studies on anatomical ACLR via independent tunnel drilling (transportal technique), comparing BPTB and HT autografts, found no difference between the grafts in terms of clinical outcome scores and graft failure rates. However, they noted that the BPTB autograft causes greater anterior knee pain and OA change. On the other side, HT autografts showed increased laxity and less knee flexion strength. They have not analysed tunnel parameters radiologically for confirming anatomical ACLR. The authors probably considered independent tunnel drilling as a way of anatomical ACLR [17]. In our study, though, all the patients underwent ACLR by transportal technique. We carried out radiological evaluation of tunnel positions and graft inclination angle to ensure only anatomical ACLR is used for comparing the outcomes between these two grafts. We found no difference between these two grafts in terms of subjective outcome, but the BPTB autograft has shown a better rotational and anteroposterior stability over the HT autograft. Although many studies mentioned anterior knee pain was more so associated with the BPTB autograft [17, 18, 19], the current study results have shown that only two patients in the BPTB and one in the HT group had anterior knee pain and the difference was insignificant. M. Suri et al. have recently studied anterior knee pain in patients who underwent ACLR using BPTB autograft and found that functional anterior knee pain was less, compared to literature, using this graft [20].

R. Cristiani et al. conducted a comparative study between BPTB and HT autografts on 5462 patients for knee laxity and patient-reported outcome measures following primary ACLR. Their study showed greater anterior laxity and more surgical failures using HT autografts over BPTB autografts at the 1-year follow-up. Their study has no differentiation between anatomical and nonanatomical tunnel positions [11]. Our study results also showed similar results, but more importantly at a mean follow-up of 8 years in anatomical ACLR.

L.A. Pinczewski et al. reported a significantly higher incidence of radiographic arthritic changes in the BPTB group compared with the HT group in their long-term prospective study [9]. In a mid-term study, S.L. Keays et al. found a significantly higher incidence of tibiofemoral osteoarthritis in the BPTB group (62% BPTB vs 33% HT) [21]. I. Holm et al. at 10 years of follow-up compared BPTB and HT autografts. They found that the prevalence of osteoarthritis was significantly higher in the operated leg than in the contralateral leg, but there were no significant differences between the two groups. They concluded that the choice of graft type after an anterior cruciate ligament injury has minimal influence on the prevalence of osteoarthritis 10 years after surgery [6].

In the current study, we could not find any difference between the grafts in terms of OA changes at a mean follow-up of 8 years. In our study, patients who had no OA change at the time of surgery were found to have no OA change in the operated knee in both groups. Interestingly, patients who had preexisting Grade 1 and Grade 2 OA changes at the time of surgery also did not show any deterioration of OA change at their latest follow-up in both groups. Similar results were also shown in other studies [22, 23]. This indicates that apart from graft selection other factors like tunnel parameters, concomitant meniscal or chondral injuries may be a major contributory factor for OA changes as described in previous studies [24]. Since our study population had no concomitant meniscal or focal chondral injuries, the above findings may be attributed to this. Another possible reason could be that we used transportal technique in all our patients. Studies have shown that anatomical ACLR using TP technique results in less OA changes at long-term follow-up [23, 24]. It was also shown in previous studies that patients who underwent ACLR using transtibial (TT) technique demonstrated OA change at long-term follow-up in contrast to the TP technique. B. Barenius et al. in their study found that more than half of transtibial ACLR patients demonstrated radiographic evidence of Grade 2 or higher joint degenerative changes at 14 years [25]. Similarly, L.A. Pinczewski et al. performed a study on 200 patients who underwent ACL reconstruction for clinical and radiological assessment at the 7-year follow-up. The authors reported that a more vertical graft in the coronal plane was significantly correlated to inferior rotational stability and an increased level of OA [9]. Since we excluded nonanatomical ACLR in our study, we obviously eliminated vertical grafts. This could be another possible reason for absence of OA changes in our study population.

The novelty of our study was that we compared the results of two grafts only in patients with anatomical ACLR. Many studies showed that anatomical ACLR results in superior long-term clinical outcome and low graft failures [2, 3]. Hence, we believed that by excluding nonanatomical ACLR in the study population one could eliminate the confounding effect of tunnel positions on the final outcome, making the comparability meaningful. In order to achieve the anatomical ACLR, one should place the femoral and tibial tunnels in centre of the native foot prints. Though it was argued that transportal drilling would aid in achieving anatomical ACLR on the femoral side, one cannot assume that all patients with this technique will have anatomical ACLR, as studies have shown that nonanatomical femoral tunnel placement equally exists in both TP and TT technique [26]. On the tibial side, anatomical tibial tunnel position in ACLR would be difficult to

determine by preoperative images, intraoperative arthroscopy landmarks or intraoperative fluoroscopy [27, 28]. Hence, we believe that the best way to assess the anatomical ACLR is evaluation using postoperative plain X-rays or CT scans. Though CT scanning has more precision among the two, higher radiation exposure and cost precludes its use in our region. Thus, we used only plain radiography in the current study to evaluate tunnel positions as described by L.A. Pinczewski et al. [9] to include only those subjects who had tunnel parameters in the anatomical range for comparing the outcome of two grafts. P. Sadoghi et al. carried out a comparative study on clinical outcome between BPTB and HT autografts using postoperative 3D CT images for assessing tunnel positions and found that anatomical tunnel positioning showed better clinical outcome [2]. Although they used CT images for assessing tunnel positions, their study did not exclude nonanatomical ACLR. The authors compared single-bundle (SB)-BPTB and double-bundle (DB)-HT autografts while we compared SB-BPTB and SB-HT autografts in our study. Furthermore, their study period was only 1 year whereas our study has 8-year mean follow-up.

### Limitations

We performed a retrospective study, having a retrospective data collection. Consequently, a possible selection bias of study population was unavoidable. Though we attempted to exclude nonanatomical tunnels using plain radiography, the accuracy of this method needs to be validated, since subtle rotations of the knee joint in plain radiography are possible. Besides, the graft diameter was not comparable as the HT group had more graft diameter variability (from 7 to 10 mm) opposed to the BPTB group, which had constant 9 or 10 mm graft diameter in all patients. We did not compare other outcome parameters such as time taken for return to sports or return to preinjury level between the two groups, which has an implication on early graft incorporation. The other limitation was that we have not assessed the rotational or anteroposterior stability by instrumented arthrometers like KT-1000 Arthrometer, although we used stress radiography in all the study population and compared to contralateral knee for anteroposterior stability (radiological laxometry test).

### CONCLUSIONS

Bone-patellar tendon-bone autografts have shown superior clinical outcome over hamstring tendon autografts in terms of rotational and anteroposterior knee stability at a mean follow-up of 8 years after anatomical ACLR. There was no difference between these two grafts in terms of other clinical parameters and osteoarthritic change. Future long-term prospective randomized studies on this subject are recommended to validate our results.

**DISCLAIMERS****Acknowledgements**

We sincerely acknowledge our fellow radiologists (Dr. Samjee Smile and Dr. Edward) who were involved in this study.

**Author contribution**

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

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

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

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

**Ethics approval.** Institutional review board approval and ethical committee clearance was obtained for the study (IEC No. EC/NEW/INST/2021/2200).

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

**ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]**

- McDaniel W.J. Jr., Dameron T.B. Jr. The untreated anterior cruciate ligament rupture. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(172):158-163.
- Sadoghi P., Kröpfl A., Jansson V., Müller P.E., Pietschmann M.F., Fischmeister M.F. Impact of tibial and femoral tunnel position on clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2011;27(3):355-364. doi: 10.1016/j.arthro.2010.08.015.
- Lim H.C., Yoon Y.C., Wang J.H., Bae J.H. Anatomical versus non-anatomical single bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of comparison of knee stability. *Clin Orthop Surg.* 2012;4(4):249-255. doi: 10.4055/cios.2012.4.4.249.
- MARS Group. Effect of graft choice on the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction in the Multicenter ACL Revision Study (MARS) Cohort. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2301-2310. doi: 10.1177/0363546514549005.
- Grassi A., Nitri M., Moulton S.G., Marcheggiani Muccioli G.M., Bondi A., Romagnoli M. et al. Does the type of graft affect the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction? a meta-analysis of 32 studies. *Bone Joint J.* 2017;99-B(6):714-723. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-0929.R2.
- Holm I., Oiestad B.E., Risberg M.A., Aune A.K. No difference in knee function or prevalence of osteoarthritis after reconstruction of the anterior cruciate ligament with 4-strand hamstring autograft versus patellar tendon-bone autograft: a randomized study with 10-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2010;38(3):448-454. doi: 10.1177/0363546509350301.
- Sajovic M., Stropnik D., Skaza K. Long-term Comparison of Semitendinosus and Gracilis Tendon Versus Patellar Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 17-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2018;46(8):1800-1808. doi: 10.1177/0363546518768768.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ****Благодарность**

Мы искренне благодарим наших коллег-рентгенологов (д-ра Самджи Смайла и д-ра Эдварда), которые принимали участие в этом исследовании.

**Заявленный вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Для проведения исследования было получено одобрение локального наблюдательного совета и разрешение этического комитета (IEC № EC/NEW/INST/2021/2200).

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

- Kellgren J.H., Lawrence J.S. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502. doi: 10.1136/ard.16.4.494.
- Pinczewski L.A., Salmon L.J., Jackson W.F., von Bormann R.B., Haslam P.G., Tashiro S. Radiological landmarks for placement of the tunnels in single-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(2):172-179. doi: 10.1302/0301-620X.90B2.20104.
- Lerat J.L., Moyon B., Jenny J.Y., Perrier J.P. A comparison of preoperative evaluation of anterior knee laxity by dynamic X-rays and by the arthrometer KT 1000. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1(1):54-59. doi: 10.1007/BF01552160.
- Cristiani R., Sarakatsianos V., Engström B., Samuelsson K., Forssblad M., Stålmán A. Increased knee laxity with hamstring tendon autograft compared to patellar tendon autograft: a cohort study of 5462 patients with primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(2):381-388. doi: 10.1007/s00167-018-5029-9.
- Sadeghpour A., Ebrahimpour A., Attar B., Azizian Z. Comparison of patellar versus hamstring tendon autografts in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: A 6-month follow-up of a randomized clinical trial. *J Res Med Sci.* 2017;22:105. doi: 10.4103/jrms.JRMS\_939\_16.
- Arida C., Tsirikas C.G., Mastrokalos D.S., Panagopoulos A., Vlamis J., Triantafyllopoulos I.K. Comparison of bone-patella tendon-bone and four-strand hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study. *Cureus.* 2021;13(11):e19197. doi: 10.7759/cureus.19197.
- Webster K.E., Feller J.A., Hartnett N., Leigh W.B., Richmond A.K. Comparison of Patellar Tendon and Hamstring Tendon Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 15-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2016;44(1):83-90. doi: 10.1177/0363546515611886.

15. Thompson S.M., Salmon L.J., Waller A., Linklater J., Roe J.P., Pinczewski L.A. Twenty-Year Outcome of a Longitudinal Prospective Evaluation of Isolated Endoscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Patellar Tendon or Hamstring Autograft. *Am J Sports Med.* 2016;44(12):3083-3094. doi: 10.1177/0363546516658041.
16. Sajovic M., Stropnik D., Skaza K. Long-term Comparison of Semitendinosus and Gracilis Tendon Versus Patellar Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 17-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2018;46(8):1800-1808. doi: 10.1177/0363546518768768.
17. Ciccotti M.C., Secrist E., Tjoumakaris F., Ciccotti M.G., Freedman K.B. Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction via Independent Tunnel Drilling: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials Comparing Patellar Tendon and Hamstring Autografts. *Arthroscopy.* 2017;33(5):1062-1071.e5. doi: 10.1016/j.arthro.2017.01.033.
18. Zhao L., Lu M., Deng M., Xing J., He L., Wang C. Outcome of bone-patellar tendon-bone vs hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of randomized controlled trials with a 5-year minimum follow-up. *Medicine (Baltimore).* 2022;101(34):e29873. doi: 10.1097/MD.00000000000023476.
19. Freedman K.B., D'Amato M.J., Nedeff D.D., Kaz A., Bach B.R. Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):2-11. doi: 10.1177/03635465030310011501.
20. Suri M., Verma A., Khalid M.A., Nammour M., Godshaw B. Functional Anterior Knee Pain and Return to Sport Following Bone-Patellar Tendon-Bone Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Ochsner J.* 2023;23(1):27-33. doi: 10.31486/toj.22.0085.
21. Keays S.L., Newcombe P.A., Bullock-Saxton J.E., Bullock M.I., Keays A.C. Factors involved in the development of osteoarthritis after anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med.* 2010;38(3):455-463. doi: 10.1177/0363546509350914.
22. Belk J.W., Kraeutler M.J., Houck D.A., McCarty E.C. Knee Osteoarthritis After Single-Bundle Versus Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy.* 2019;35(3):996-1003. doi: 10.1016/j.arthro.2018.10.127.
23. Wipfler B., Donner S., Zechmann C.M., Springer J., Siebold R., Paessler H.H. Anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon: a prospective comparative study with 9-year follow-up. *Arthroscopy.* 2011;27(5):653-665. doi: 10.1016/j.arthro.2011.01.015.
24. Gerhard P., Bolt R., Dück K., Mayer R., Friederich N.F., Hirschmann M.T. Long-term results of arthroscopically assisted anatomical single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft: are there any predictors for the development of osteoarthritis? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):957-964. doi: 10.1007/s00167-012-2001-y.
25. Barenius B., Ponzer S., Shalabi A., Bujak R., Norlén L., Eriksson K. Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2014;42(5):1049-1057. doi: 10.1177/0363546514526139.
26. Jaecker V., Zapf T., Naendrup J.H., Pfeiffer T., Kanakamedala A.C., Wafaisade A. et al. High non-anatomic tunnel position rates in ACL reconstruction failure using both transtibial and anteromedial tunnel drilling techniques. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(9):1293-1299. doi: 10.1007/s00402-017-2738-3.
27. Sullivan J.P., Cook S., Gao Y., Wolf B.R. Radiographic Anatomy of the Native Anterior Cruciate Ligament: a Systematic Review. *HSS J.* 2015;11(2):154-165. doi: 10.1007/s11420-014-9417-5.
28. Kasten P., Szczodry M., Irrgang J., Kropf E., Costello J., Fu F.H. What is the role of intra-operative fluoroscopic measurements to determine tibial tunnel placement in anatomical anterior cruciate ligament reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(9):1169-1175. doi: 10.1007/s00167-010-1082-8.

#### Authors' information

✉ *Thatchinamoorthy Santhamoorthy*, MBBS, MS (Ortho)  
Address: 1 Victor Simonel st., Puducherry-605001, India  
<https://orcid.org/0009-0002-3501-2776>  
e-mail: santhamoorthyt@yahoo.com

*Anish Anto Xavier*, MBBS, MBA, D. Ph, MRCEM  
<https://orcid.org/0009-0004-1374-6466>  
e-mail: dr.anishxavier@gmail.com

*Lalithambigai Chellamuthu*, MBBS, MD (PSM)  
<https://orcid.org/0000-0002-2799-4549>  
e-mail: Lalli.muthu@gmail.com

*Arun Kaliaperumal*, MBBS, DNB (Ortho)  
<https://orcid.org/0000-0002-3968-8717>  
e-mail: karun83@gmail.com

*Dharamveer Kumar Dubey*, MBBS, MS (Ortho)  
<https://orcid.org/0009-0008-8316-4903>  
e-mail: dk64dubey@yahoo.com

#### Сведения об авторах

✉ *Татчинамурти Сантамурти*  
Адрес: 1 Victor Simonel st., Puducherry-605001, India  
<https://orcid.org/0009-0002-3501-2776>  
e-mail: santhamoorthyt@yahoo.com

*Аниш Анто Ксавье*  
<https://orcid.org/0009-0004-1374-6466>  
e-mail: dr.anishxavier@gmail.com

*Лалитамбигай Челламуту*  
<https://orcid.org/0000-0002-2799-4549>  
e-mail: Lalli.muthu@gmail.com

*Арун Калиаперумал*  
<https://orcid.org/0000-0002-3968-8717>  
e-mail: karun83@gmail.com

*Дхарамвир Кумар Дубей*  
<https://orcid.org/0009-0008-8316-4903>  
e-mail: dk64dubey@yahoo.com

## Primary Repair vs Arthroscopic Reconstruction for Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: A Comparative Study

Sergey A. Gerasimov<sup>1,4</sup>, Ekaterina A. Morozova<sup>1,4</sup>, Daria A. Naida<sup>2,4</sup>, Denis O. Kolmakov<sup>3,4</sup>, Andrey A. Zykin<sup>1</sup>, Ekaterina V. Khramtsova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Central Clinical Hospital "RZD-Medicine", Moscow, Russia

<sup>4</sup> Orthopaedic Research Projects, Nizhny Novgorod, Russia

### Abstract

**Background.** Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is the gold standard surgical option for ACL tears. Another treatment method is primary ACL repair. The latter has some limitations such as a small range of indications – proximal tears only. However, they still constitute a significant portion of ACL injuries. Although the primary repair has been known for a long time and is still developing, recent publications show conflicting opinions regarding its application.

**The aim of study** is to compare functional outcomes of patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction and primary repair.

**Methods.** In the period from 2020 to 2023, we conducted randomized prospective multicenter control comparative study, which enrolled 170 patients with the ACL tear types A, B, E according to the Gächter classification. The injuries were no older than 3 months. The patients were divided into two groups: Group 1 – primary repair of the ACL, Group 2 – standard technique of the ACL reconstruction with a tendon auto graft. Knee function was assessed before surgery and 3, 6, 12, 24 months postoperatively using the IKDC 2000 and Lysholm Knee Score.

**Results.** Type E of ACL injury prevailed in the sample. The most common associated injury in both cohorts was medial meniscus tear – 39.3±0.05% and 45.3±0.05% for Group 1 and 2, relatively. Chondrolabral defects were observed in 15.5±0.04% of patients with primary repair, and in 10.5±0.03% of patients from the reconstruction group. Pain relief therapy in the form of opioid analgesics received 46.03±0.06% patients in Group 2 and 25.35±0.05% in Group 1 ( $p<0.05$ ). The proportion of patients requiring reoperation for ACL injury in Group 1 was 3.5% and 1.2% in Group 2 ( $p>0.05$ ). Both groups had a statistically significant increase in functional outcomes according to the scales at 3, 6, 12 months ( $p<0.05$ ). The difference in knee function between the groups was not statistically significant ( $p>0.05$ ).

**Conclusion.** Primary ACL repair still retains a large number of limitations. It cannot and should not replace ACL reconstruction. However, with strict adherence to the indications and surgical technique, primary ACL repair demonstrates comparable functional outcomes.

**Keywords:** anterior cruciate ligament injury, ACL reconstruction, primary repair, arthroscopy, knee joint instability.

---

**Cite as:** Gerasimov S.A., Morozova E.A., Naida D.A., Kolmakov D.O., Zykin A.A., Khramtsova E.V. Primary Repair vs Arthroscopic Reconstruction for Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: A Comparative Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):82-91. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17562>.

✉ Ekaterina A. Morozova; e-mail: [ekaterina.m.96@mail.ru](mailto:ekaterina.m.96@mail.ru)

Submitted: 04.06.2024. Accepted: 19.08.2024. Published Online: 08.11.2024.

© Gerasimov S.A., Morozova E.A., Naida D.A., Kolmakov D.O., Zykin A.A., Khramtsova E.V., 2024

## Реинсерции или аутопластика передней крестообразной связки при ее проксимальных разрывах: сравнительное исследование

С.А. Герасимов<sup>1,4</sup>, Е.А. Морозова<sup>1,4</sup>, Д.А. Найда<sup>2,4</sup>, Д.О. Колмаков<sup>3,4</sup>, А.А. Зыкин<sup>1</sup>, Е.В. Храмцова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> ЧУЗ «Центральная клиническая больница «РЖД-Медицина», г. Москва, Россия

<sup>4</sup> АНО «Ортопедические исследовательские проекты», г. Нижний Новгород, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Золотым стандартом восстановления передней крестообразной связки (ПКС) принято считать артроскопическую аутопластику. Иным вариантом лечения является реинсерция. Последняя имеет свои ограничения, в частности выполняется только при проксимальных разрывах, однако они составляют достаточную долю в структуре повреждений ПКС. Несмотря на то, что реинсерция известна давно и развивается с течением времени, в современных публикациях описаны противоречивые мнения о целесообразности ее применения.

**Цель исследования** — сравнить функциональные результаты лечения пациентов, перенесших артроскопическое восстановление передней крестообразной связки с помощью реинсерции и сухожильной аутопластики.

**Материал и методы.** С 2020 по 2023 г. в многоцентровое проспективное рандомизированное контролируемое сравнительное исследование было включено 170 пациентов с повреждением ПКС типов А, В, Е согласно классификации Gächter и давностью травмы не более 3 мес. В первой группе пациентов выполнялась реинсерция, пациентов второй группы оперировали с применением стандартной техники аутопластики сухожильным трансплантатом. Оценка функционального состояния коленного сустава проводилась в предоперационном периоде, а также в сроки 3, 6, 12, 24 мес. после операции с помощью шкал IKDC 2000 и Lysholm Knee Score.

**Результаты.** В общей выборке преобладал тип Е повреждения ПКС. Наиболее распространенным сопутствующим повреждением смежных структур в обеих группах был разрыв внутреннего мениска — 39,3±0,05% и 45,3±0,05% соответственно. Хондральные дефекты выявлены у 15,5±0,04% в группе реинсерции и у 10,5±0,03% — в группе пластики. В группе пластики обезболивающую терапию в виде сильнодействующих препаратов получали 46,03±0,06% пациентов, в группе реинсерции — 25,35±0,05% ( $p<0,05$ ). Доля пациентов с необходимостью повторной операции по поводу повреждения ПКС в группе реинсерции составила 3,5%, в группе пластики — 1,2%. В обеих группах выявлен статистически значимый прирост баллов по шкалам до операции и в сроки 3, 6, 12 мес. ( $p<0,05$ ). Функциональная оценка состояния коленного сустава по шкалам в предоперационном периоде и в контрольные сроки наблюдения в группах были сопоставимы ( $p>0,05$ ).

**Заключение.** Реинсерция передней крестообразной связки, являясь одним из методов стабилизации коленного сустава, на сегодняшний день сохраняет большое количество ограничений, не может и не должна заменить сухожильную аутопластику, но при четком соблюдении показаний и техники хирургии демонстрирует сравнимые функциональные результаты.

**Ключевые слова:** повреждение передней крестообразной связки, аутопластика ПКС, реинсерция, артроскопия, нестабильность коленного сустава.

 **Для цитирования:** Герасимов С.А., Морозова Е.А., Найда Д.А., Колмаков Д.О., Зыкин А.А., Храмцова Е.В. Реинсерции или аутопластика передней крестообразной связки при проксимальных разрывах ПКС: сравнительное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):82-91. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17562>.

 Морозова Екатерина Александровна; e-mail: [ekaterina.m.96@mail.ru](mailto:ekaterina.m.96@mail.ru)

Рукопись получена: 04.06.2024. Рукопись одобрена: 19.08.2024. Статья опубликована онлайн: 08.11.2024.

© Герасимов С.А., Морозова Е.А., Найда Д.А., Колмаков Д.О., Зыкин А.А., Храмцова Е.В., 2024

## INTRODUCTION

Anterior cruciate ligament (ACL) tear is one of the most common injuries of the knee joint [1]. According to registry data, the incidence of ACL injuries varies across different countries: in Scandinavian countries, this figure is approximately 37 people per 100,000 population, while in the United States, it reaches 69 per 100,000 population [2]. Most patients with ACL injuries are young, active people engaged in sports [3]. Based on a systematic review by A.V. Montalvo et al., the prevalence of ACL injuries among male athletes is approximately 2%, while for female athletes, it is 3.5%, with amateur athletes being more prone to such injuries than professionals [4].

Currently, the gold standard for treating ACL tears is arthroscopic reconstruction using an autograft, which restores knee stability, prevents damage to adjacent structures that inevitably occurs with prolonged instability, and slows the joint's degenerative process [5, 6]. This surgical procedure is widely practiced: in Sweden, approximately 4,000 interventions are performed annually [7], in the United Kingdom — more than 2,000 [8], and in Norway — around 2,000 [9]. Reliable data on the prevalence of this procedure in Russia are unavailable due to the absence of a national registry.

Over the past two decades, surgical and graft fixation techniques have been significantly improved, yet some complications and adverse effects remain, such as neuropathy, pain at the graft harvesting site, muscle hypotrophy, and failure of fixation [10, 11, 12]. All these factors influence the overall functional outcome. Moreover, recurrent instability due to ACL graft failure remains a serious issue, with reported rates reaching up to 17%, necessitating careful consideration when choosing between single-stage or two-stage revision reconstruction [13].

Another method for restoring knee joint stability is primary ACL repair, which involves reattaching the ACL stump to its footprint on the femur. This technique dates back to the late 19<sup>th</sup> century, when A. Mayo-Robson performed an open ACL repair at the proximal attachment site in a 41-year-old male, achieving favorable clinical and functional results after six years of follow-up [14]. With advances in arthroscopic surgery and contemporary understanding of

knee anatomy and biomechanics, primary ACL repair has reached a new level of precision and efficacy. However, this procedure has more stringent indications. Some authors recommend performing ACL repair for acute tears within three months of injury, citing the expression of ligament repair factors, whose levels significantly decrease after this period [15]. The most critical limitation, however, is the type of ACL injury — primary repair is only applicable for proximal ACL tears without fiber retraction, where their reposition is possible [16]. Nonetheless, according to some authors, such injuries occur in 15-40% of ACL injury cases [17, 18, 19].

Recent publications present conflicting data regarding the functional outcomes of primary ACL fixation, leading to cautious use of this technique among surgeons [20, 21]. As a result, most physicians prefer reconstruction using autografts for acute proximal ACL tears due to its more extensively studied and predictable nature.

*The aim of the study* is to compare the functional outcomes of patients who underwent arthroscopic repair of proximal anterior cruciate ligament tears using primary fixation and tendon autografting methods.

## METHODS

### Study design

A multicenter prospective randomized controlled comparative study is being conducted across three medical centers. Patient enrollment and evaluation of treatment outcomes began in 2020 and is ongoing (Figure 1).

The study included patients who underwent arthroscopic ACL reconstruction.

#### *Inclusion criteria:*

- patient age from 16 to 45 years;
- proximal ACL injury without fiber retraction, with possible repositioning according to Gächter types A, B, and E classification [22];
- chondromalacia of one compartment not exceeding grade III according to the Outerbridge classification [23];
- compliant patients available for follow-up and monitoring.

#### *Exclusion criteria:*

- patients with chronic ACL rupture (injury duration exceeding 3 months);
- body mass index (BMI) over 35;
- ligamentous injuries of the knee joint in

both limbs;  
 – concomitant injury to the medial or lateral collateral ligament;  
 – previous reconstructive operations on the knee ligamentous complex;  
 – non-compliant patients.

A total of 170 patients met the inclusion criteria and were divided into two groups: the repair group, in which ACL restoration was performed using the primary repair method (84 patients), and the autograft group, treated with tendon autograft reconstruction (86 patients).

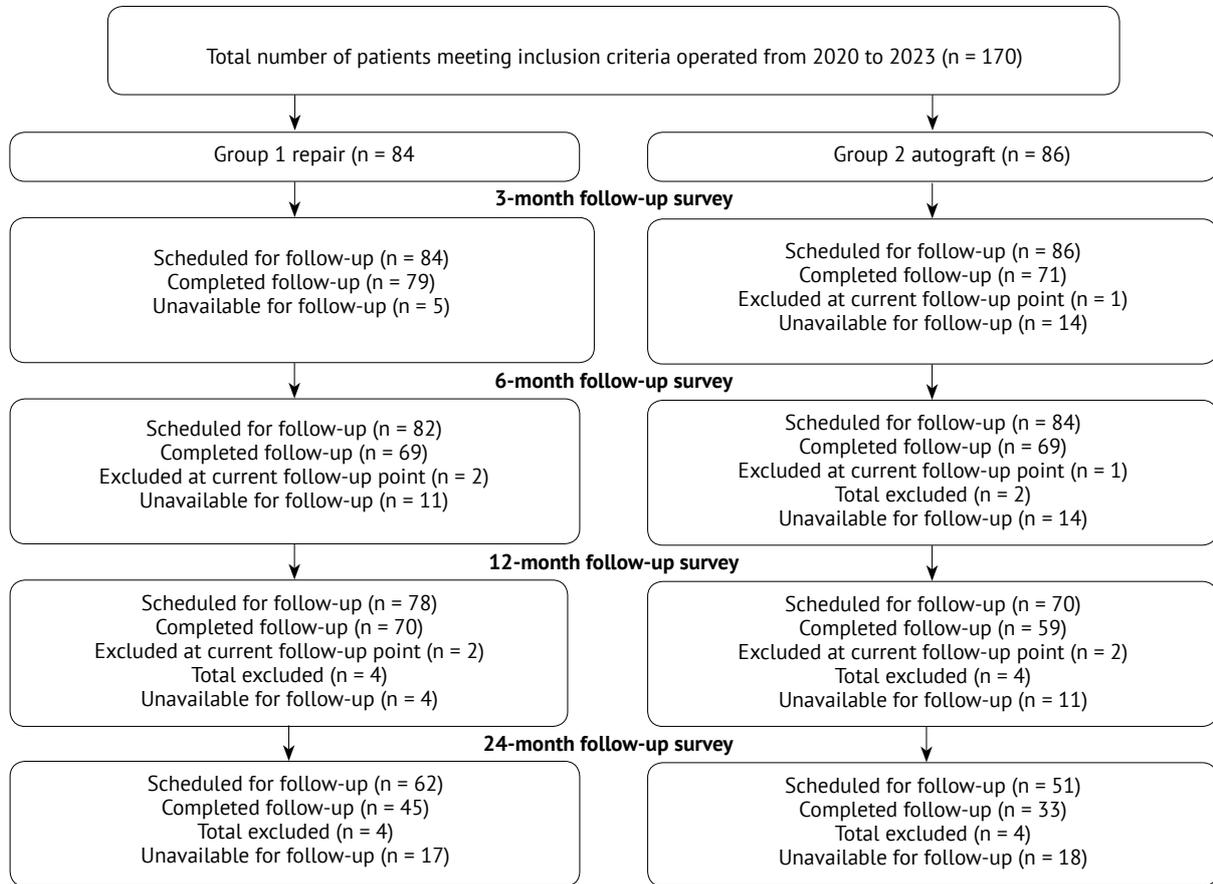


Figure 1. Study design flowchart

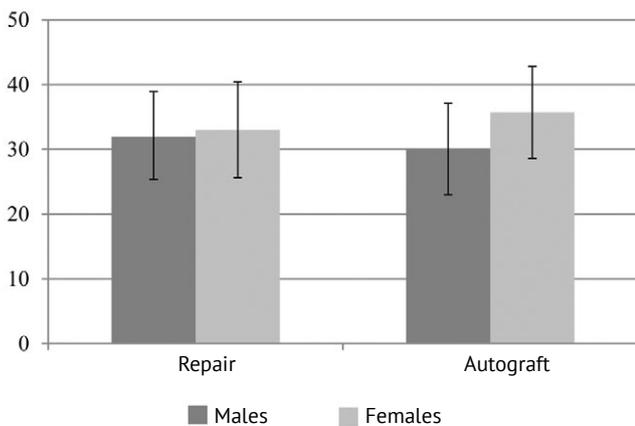


Figure 2. Distribution of patients by age in the groups

**Patients**

Both groups were predominantly male: in the repair group, 73.8±0.04% (62 patients) were male, while in the autograft group, 80.9±0.04% (67 patients) were male. Women accounted for 26.2±0.04% (22 patients) and 22.1±0.04% (19 patients) in the repair and autograft groups, respectively (p>0.05). The groups were also comparable by age (p>0.05) (Figure 2).

Clinical evaluation of anterior knee instability before surgery was performed using Lachman and anterior drawer tests. Magnetic resonance imaging (MRI) with a magnetic field strength of at least 1.5 was utilized for visualizing intra-articular knee structures. The final decision on

the feasibility of either surgical method was made intraoperatively following arthroscopic examination of the ACL and confirmation of the injury type's adherence to the study's inclusion criteria (Figure 3).



**Figure 3.** Arthroscopic image of the ACL injury of type A (Gächter classification)

### Surgical technique

Arthroscopic primary ACL repair was performed using the technique described by G.S. DiFelice et al. [26], involving stitching of the ACL stump with free sutures, preparation of the footprint area until “pinpoint bleeding” appeared, threading the sutures through an anchor loop, inserting it into a pre-prepared bone tunnel, and final fixation after tensioning the sutures and repositioning the ACL stump at the footprint (Figure 4).

Reconstruction of the ACL with a tendon autograft was carried out using the standard



**Figure 4.** Arthroscopic image of the primary ACL repair

technique, harvesting the semitendinosus and gracilis tendons. Femoral fixation of the graft was achieved using a button with adjustable loop size; tibial fixation was performed with a screw.

### Postoperative period

Postoperative recommendations were consistent for all patients and included the use of crutches for 3 weeks, wearing a brace for 4 weeks, and limiting physical activity for 3 months. From the third week, knee flexion in the operated joint was allowed up to 30°, gradually increasing to 90° by the end of the first month.

### Assessment methods

A subjective assessment of the knee function was carried out preoperatively and at follow-up intervals of 3, 6, 12, and 24 months using IKDC 2000 [24] and Lysholm Knee Score [25] scales, with treatment outcomes assessed via phone interviews.

Dynamic MRI monitoring was not mandatory for all patients due to the wide geographic distribution of patients.

### Statistical analysis

Statistical data processing was performed using Statistica v. 13.3 software (TIBCO Software Inc). The data were tested for normality using the Kolmogorov-Smirnov test and quantile-quantile plots. Depending on the distribution, quantitative data are presented as  $M \pm SD$  ( $M$  – mean value,  $SD$  – standard deviation) or as  $Me [IQR]$  ( $Me$  – median,  $IQR$  – interquartile range). Qualitative data are presented as  $P \pm \sigma$  ( $P$  – percentage,  $\sigma$  – standard deviation of the percentage). The Mann-Whitney U test was used to compare two independent groups with non-normally distributed data. Comparisons of dependent variables with non-normal distributions were conducted using the Wilcoxon signed-rank test. Differences were considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

### RESULTS

In the repair group, the mean waiting period for surgery after injury was 64.5 [50.0; 74.5] days, while in the autograft group, it was 68.5 [55; 77] days ( $p > 0.05$ ). In both groups, the torn ACL was commonly attached to the posterior cruciate ligament, corresponding to type E according to the Gächter classification (Table 1).

**Table 1**  
**Patient distribution by the types of ACL injury according to the Gächter classification, n (P±σp)**

Type of ACL injury	Repair (n = 84)	Autograft (n = 86)
A	34 (40.5±0.05)	30 (34.9±0.05)
B	5 (5.9±0.02)	4 (4.6±0.02)
E	45 (53.6±0.05)	52 (60.5±0.05)

p>0.05.

Patients undergoing ACL reconstruction with a tendon autograft had a longer surgery duration than those having primary repair: 40 [35; 48] vs 33 [25; 45] minutes (p<0.05). Non-absorbable synthetic 2 mm tape (32.2±0.05%) and No. 1 non-absorbable sutures (67.8±0.05%) were used as suturing material for primary repair, with fixation achieved through knotless anchor systems.

ACL reconstruction was consistently performed using semitendinosus and gracilis tendon autografts. The graft diameters were as follows: 33 cases (38.30±0.05%) had a diameter of 7.5 mm; 23 (26.70±0.04%) had 7 mm; 20 (23.20±0.04%) had 8 mm; 5 (5.80±0.02%) had 8.5 mm; 2 (2.30±0.02%) had 6.5 and 9 mm; and 1 (1.20±0.01%) had 6 mm. Seven patients (8.10±0.03%) required additional autograft

augmentation with 2 mm Fiber Tape due to insufficient graft diameter: four cases involved 7 mm, while three cases involved 7.5, 6, and 6.5 mm diameters. In all ACL autograft reconstructions, TightRope adjustable button was used for femoral fixation, while either bioabsorbable or polyetheretherketone screws were used for the tibial fixation.

Among the repair group, 51.20±0.05% had concomitant meniscal injuries, compared to 59.30±0.05% in the autograft group (p>0.05) (Table 2). Meniscal resections were most common across both groups. When suturing the meniscus, the all-inside technique predominated (27 cases; 71.10±0.03%), followed by combined all-inside and outside-in (7 cases; 18.40±0.03%) and isolated outside-in technique (4 cases; 10.50±0.02%) (p<0.05) (Table 3).

In addition to concomitant meniscal injuries, each group included patients with chondral defects. In the repair group, their share was 15.50±0.04% (13 patients), while in the autograft group it was 10.50±0.03% (9 patients) (p>0.05).

Approximately half of the patients (46.03±0.06%) who underwent ACL reconstruction received strong analgesic therapy during their hospital stay, compared to only a quarter (25.35±0.05%) in the repair group (p<0.05).

Within two years postop, 6 patients in the repair group experienced re-injuries, presenting with complaints of joint swelling and instability. MRI

**Table 2**  
**Assessment of the menisci condition, n (P±σp)**

Condition of the menisci	Repair (n = 84)	Autograft (n = 86)
Intact	41 (48.80±0.05)	35 (40.70±0.05)
A medial meniscus tear	33 (39.30±0.05)	39 (45.30±0.05)
A lateral meniscus tear	9 (10.70±0.03)	7 (8.20±0.03)
Injury of both menisci	1 (1.20±0.01)	5 (5.80±0.03)

p>0.05.

**Table 3**  
**Surgical approach for concomitant meniscal injuries, n (P±σp)**

Group	Resection	Suture	p
Repair (n = 43)	26 (60.50±0.07%)	17 (39.50±0.07%)	<0.05
Autograft (n = 51)	30 (58.80±0.06%)	21 (41.2±0.06%)	>0.05

confirmed re-injury of the ACL in only 3 of these patients, who subsequently underwent tendon autografting. One patient had a medial meniscus tear requiring resection of the damaged part. In the autograft group, 2 patients experienced re-injuries; one required a repeated intervention due to a meniscal suture failure, leading to resection. The second patient underwent revision reconstruction due to graft damage. Additionally, 2 patients developed complications related to instability of the fixation screw, with one case caused by infection. Therefore, the share of primary repair patients requiring revision operation due to ACL re-injury was  $3.50 \pm 0.02\%$ , which was 2.5 times higher than in the reconstruction group, where the rate was  $1.20 \pm 0.01\%$ .

Functional state assessment before surgery and at all follow-up intervals using IKDC 2000 and Lysholm Knee Score questionnaires showed comparable results between groups ( $p > 0.05$ ) (Table 4).

Both groups demonstrated a statistically significant increase in IKDC 2000 and Lysholm Knee Score values when comparing preoperative status with outcomes at 3, 6, and 12 months ( $p < 0.05$ ). Pain syndrome, evaluated using IKDC 2000 pain subscale, decreased over the observation period in both groups. Scores for IKDC 2000 (pain) before surgery and one year postop showed statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in both the repair and the autograft groups.

Table 4

**Functional state assessment using questionnaires before surgery and at follow-up intervals after surgery, Me [Q1; Q3]**

Group	Interval	IKDC 2000	IKDC 2000 (pain)	Lysholm Knee Score
Repair	Before surgery (n = 84)	46.5 [37.3; 59.2]	5.0 [3.0; 6.0]	53.5 [42.5; 67.5]
	3 months (n = 79)	66.6 [57.5; 76.0]	2.0 [1.0; 4.0]	77.0 [66.0; 88.0]
	6 months (n = 70)	78.1 [65.5; 87.3]	2.0 [0.0; 4.0]	85.0 [74.0; 95.0]
	12 months (n = 70)	85.0 [75.8; 90.8]	1.0 [0.0; 3.0]	90.0 [83.0; 95.0]
	24 months (n = 45)	87.3 [82.7; 91.9]	0 [0.0; 2.0]	91.0 [87.0; 98.0]
Autograft	After surgery (n = 86)	52.0 [39.0; 58.7]	5.0 [3.0; 7.0]	63.0 [45.0; 71.0]
	3 months (n = 71)	67.8 [57.5; 77.0]	2.0 [0.0; 4.0]	76.0 [68.0; 90.0]
	6 months (n = 69)	77.0 [68.9; 84.0]	2.0 [0.0; 4.0]	84.0 [72.0; 93.0]
	12 months (n = 59)	83.9 [72.4; 90.8]	2.0 [0.0; 3.0]	89.0 [79.0; 98.0]
	24 months (n = 33)	90.8 [78.1; 94.2]	0 [0.0; 3.0]	91.0 [83.0; 98.0]

**DISCUSSION**

The idea of ACL refixation is not new. However, after an initial phase of enthusiasm and popularity for this procedure, the vast majority of surgeons moved away from its use, favoring arthroscopic reconstruction instead. This shift was due to unsatisfactory treatment outcomes. It is important to note that in most of the studies reporting poor results, outdated techniques were used, involving simple suturing of the torn ACL fragments or applying the procedure in cases with poor ligament stump quality or concomitant collateral ligament injuries [19, 21, 26]. With advances in surgical

techniques, modern implant fixation systems, and the visualization of intra-articular injuries using improved MRI technology, arthroscopic primary ACL repair has seen a resurgence. Surgeons have since focused on identifying factors that might predict negative treatment outcomes [26, 27].

In our study, we excluded patients whose injury occurred more than 3 months before surgery, as it was traditionally believed that this procedure should be performed as soon as possible post-injury. H.D. Vermeijden et al. analysed outcomes for patients operated on between 15 and 285 days post-injury, finding similar clinical and

functional results at short- and mid-term follow-ups. The authors concluded that the most critical success factors for reinsertion are likely the quality of the remaining ligament fragment and its length, rather than the time elapsed before surgery [28]. Supporting this hypothesis, many researchers have noted that the type of ACL injury plays a crucial role in its re-fixation prognosis. Proximal tears near the femoral footprint demonstrate the greatest potential for success [26, 28, 29].

In our work, we used the ACL injury classification proposed by A. Gächter, based on arthroscopic findings [22]. According to this system, types A, B, and E injuries can be repaired using either tendon autografts or repair techniques. The literature also describes novel methods for addressing ACL tears in the middle and distal segments, incorporating fibrin clots and collagen matrices combined with various cell technologies, though such studies involve small patient groups [29, 30].

In our study, we limited patient age to 45 years, assuming that older age might affect clinical outcomes. However, G.S. DiFelice et al. reported comparable results in patients aged 17 to 57 years [26].

According to various authors, failure and recurrent instability rates after ACL repair range from 7 to 11%, with primary causes being re-injury and rehabilitation protocol violation [31, 32]. In our current study, these factors led to a 3.5% re-injury rate, slightly lower than the figures reported by foreign colleagues. It is undeniable that the recurrence of instability due to re-injury is typically higher in the repair group compared to tendon autografts [33, 34]. Many researchers affirm this, emphasizing, however, that revision operation in such cases is comparable to primary reconstruction in terms of surgical complexity and functional outcomes. This is not necessarily the case with revisions after ACL tendon autografts, which may require two-stage surgeries, thereby prolonging overall treatment duration and reducing functional outcomes [35, 36].

For many years, ACL reconstruction has been a well-established method for restoring knee stability, consistently delivering predictable and high functional outcomes [37]. However, numerous studies also show excellent functional results with primary ACL repair — exceeding 85%

of the maximum scores according to commonly used scales. In our study, we achieved comparable results using IKDC 2000 and Lysholm Knee Score scales at the 12-month follow-up, with median scores of 85.0 [75.8; 90.8] and 90.0 [83.0; 98.0], respectively.

Undoubtedly, the final functional outcome depends not only on the stabilization method but also on the condition and surgical treatment of other knee joint structures, such as meniscus and articular cartilage. Our study groups were comparable in these parameters.

## CONCLUSIONS

Primary anterior cruciate ligament repair, as a method for stabilizing the knee joint, still presents numerous limitations and cannot — and should not — replace arthroscopic reconstruction. However, with strict adherence to surgical indications and technique, this method demonstrates comparable functional outcomes and may be recommended for use.

## DISCLAIMERS

### *Author contribution*

*Gerasimov S.A.* — study concept and design, drafting and editing the manuscript.

*Morozova E.A.* — data acquisition, data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Naida D.A.* — study concept and design, drafting the manuscript.

*Kolmakov D.O.* — study concept and design.

*Zykin A.A.* — study concept and design.

*Khramtsova E.V.* — literature search and review.

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

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

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

**Ethics approval.** The study was approved by the local ethics committee of Privolzhsky Research Medical University, protocol No 11, 18.02.2020.

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

## REFERENCES

- Kaarre J., Zsidai B., Narup E., Horvath A., Svantesson E., Senorski E.H. et al. Scoping Review on ACL Surgery and Registry Data. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2022;15(5):385-393. doi: 10.1007/s12178-022-09775-2.
- Sanders T.L., Kremers M.H., Bryan A.J., Larson D.R., Dahm D.L., Levy B.A. et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1502-1507. doi: 10.1177/0363546516629944.
- Anastasieva E.A., Simagaev R.O., Kirilova I.A. Surgical treatment of anterior cruciate ligament injury (review). *Genij Ortopedii.* 2020;26(1):117-128. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-117-128.
- Montalvo A.V., Schneider D.K., Yut L., Webster K.E., Beynon B., Kocher M.S. et al. What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2019;53(16):1003-1012. doi: 10.1136/bjsports-2016-096274.
- Stone J.A., Perrone G.S., Nezwik T.A., Cui Q., Vlad S.C., Richmond J.C. et al. Delayed ACL reconstruction in patients 40 years of age is associated with increased risk of medial meniscal injury at 1 year. *Am J Sports Med.* 2019;47(3):584-589. doi: 10.1177/0363546518817749.
- Heusdens C.H.W., Hopper G.P., Dossche L., Roelant E., Mackey G.M. Anterior cruciate ligament repair with Independent Suture Tape Reinforcement: a case series with 2-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(1):60-67. doi: 10.1007/s00167-018-5239-1.
- The Swedish national knee ligament Registry. Annual reports 2022. Available from: <https://aclregister.nu/documents/>.
- The National Ligament Registry. The Seventh Annual Report (2022). Available from: <https://www.uknlr.co.uk/media.php/>.
- Annual report 2021. Norwegian National Advisory Unit on Arthroplasty and Hip Fractures. Norwegian Arthroplasty Register. Norwegian Cruciate Ligament Register. Norwegian Hip Fracture Register. Norwegian Paediatric Hip Register. Available from: <https://10.13140/RG.2.2.34266.26566>.
- Houck D.A., Kraeutler M.J., Belk J.W., Goode J.A., Mulcahey M.K., Bravman T.J. Primary arthroscopic repair of the anterior cruciate ligament: a systematic review of clinical outcomes. *Arthroscopy.* 2019;35(12):3318-3327. doi: 10.1016/j.arthro.2019.06.034.
- Nyland J., Gamble C., Franklin T., Caborn D.N.M. Permanent knee sensorimotor system changes following ACL injury and surgery. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25:1461-1474. doi: 10.1007/s00167-017-4432-y.
- Cinque M.E., Dornan G.J., Chahla J., Moatshe G., LaPrade R.F. High rates of osteoarthritis develop after anterior cruciate ligament surgery: an analysis of 4108 patients. *Am J Sports Med.* 2018;46(8):2011-2019. doi: 10.1177/0363546517730072.
- Sanders T.L., Pareek A., Hewett T.E., Levy B.A., Dahm D.L., Stuart M.J. et al. Long-term rate of graft failure after ACL reconstruction: a geographic population cohort analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(1):222-228. doi: 10.1007/s00167-016-4275-y.
- Robson A.W. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg.* 1903;37(5):716-718.
- Novaretti J.V., Astur D.C., Casadio D., Nicolini A.P., de Castro Pochini A., Andreoli C.V. et al. Higher gene expression of healing factors in anterior cruciate ligament remnant in acute anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med.* 2018;46(7):1583-1591. doi: 10.1177/0363546518760577.
- van der List J.P., DiFelice G.S. Role of tear location on outcomes of open primary repair of the anterior cruciate ligament: A systematic review of historical studies. *Knee.* 2017;24(5):898-908. doi: 10.1016/j.knee.2017.05.009.
- van der List J.P., Mintz D.N., DiFelice G.S. The location of anterior cruciate ligament tears: a prevalence study using magnetic resonance imaging. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(6):2325967117709966. doi: 10.1177/2325967117709966.
- Sherman M.F., Lieber L., Bonamo J.R., Podesta L., Reiter I. The long-term followup of primary anterior cruciate ligament repair. Defining a rationale for augmentation. *Am J Sports Med.* 1991;19(3):243-255. doi: 10.1177/036354659101900307.
- Henle P., Bieri K.S., Brand M., Aghayev E., Bettfuehr J., Haeberli J. et al. Patient and surgical characteristics that affect revision risk in dynamic intraligamentary stabilization of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2018;26(4):1182-1189. doi: 10.1007/s00167-017-4574-y.
- Mahapatra P., Horriat S., Anand B.S. Anterior cruciate ligament repair – past, present and future. *J Exp Orthop.* 2018;5(1):20. doi: 10.1186/s40634-018-0136-6.
- Krismer A.M., Gousopoulos L., Kohl S., Ateschrang A., Kohlhof H., Ahmad S.S. Factors influencing the success of anterior cruciate ligament repair with dynamic intraligamentary stabilisation. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25(12):3923-3928. doi: 10.1007/s00167-017-4445-6.
- Gächter A. The various faces of anterior cruciate ligament tears during arthroscopic examination. In: Jakob R.P., Staubli H.U., eds. *The knee and the cruciate ligaments.* Berlin: Springer-Verlag; 1992. P. 190-192.
- Outerbridge R.E. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B:752-757. doi: 10.1302/0301-620X.43B4.752.
- Irrgang J.J., Anderson A.F., Boland A.L., Harner C.D., Kurosaka M., Neyret P. et al. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29(5):600-613. doi: 10.1177/03635465010290051301.
- Tegner Y., Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;(198):43-49.
- DiFelice G.S., Villegas C., Taylor S. Anterior cruciate ligament preservation: early results of a novel arthroscopic technique for suture anchor primary anterior cruciate ligament repair. *Arthroscopy.* 2015;31(11):2162-2171. doi: 10.1016/j.arthro.2015.08.010.
- van der List J.P., DiFelice G.S. Preoperative magnetic resonance imaging predicts eligibility for arthroscopic primary anterior cruciate ligament repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(2):660-671. doi: 10.1007/s00167-017-4646-z.

28. Vermeijden H.D., van der List J.P., O'Brien R., DiFelice G.S. Patients forget about their operated knee more following arthroscopic primary repair of the anterior cruciate ligament than following reconstruction. *Arthroscopy*. 2020;36(3):797-804. doi: 10.1016/j.arthro.2019.09.041.
29. Vermeijden H.D., van der List J.P., DiFelice G.S. Acute and delayed anterior cruciate ligament repair results in similar short to mid-term outcomes. *Knee*. 2021;29:142-149. doi: 10.1016/j.knee.2021.01.028.
30. Matsumoto T., Kubo S., Sasaki K., Kawakami Y., Oka S., Sasaki H. et al. Acceleration of tendon-bone healing of anterior cruciate ligament graft using autologous ruptured tissue. *Am J Sports Med*. 2012;40(6):1296-1302. doi: 10.1177/0363546512439026.
31. Mukhopadhyay R., Shah N., Vakta R., Bhatt J. ACL femoral avulsion repair using suture pull-out technique: A case series of thirteen patients. *Chin J Traumatol*. 2018;21(6):352-355. doi: 10.1016/j.cjtee.2018.07.001.
32. Heusdens C.H.W., Blockhuys K., Roelant E., Dossche L., Van Glabbeek F., Dyck P.V. Suture tape augmentation ACL repair, stable knee, and favorable PROMs, but a re-rupture rate of 11% within 2 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(11):3706-3714. doi: 10.1007/s00167-020-06399-2.
33. Houck D.A., Kraeutler M.J., Belk J.W., Goode J.A., Mulcahey M.K., Bravman J.T. Primary Arthroscopic Repair of the Anterior Cruciate Ligament: A Systematic Review of Clinical Outcomes. *Arthroscopy*. 2019;35(12):3318-3327. doi: 10.1016/j.arthro.2019.06.034.
34. Achtnich A., Herbst E., Forkel P., Metzclaff S., Sprenger F., Imhoff A.B. et al. Acute Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: Outcomes After Arthroscopic Suture Anchor Repair Versus Anatomic Single-Bundle Reconstruction. *Arthroscopy*. 2016;32(12):2562-2569. doi: 10.1016/j.arthro.2016.04.031.
35. Kraeutler M.J., Welton K.L., McCarty E.C., Bravman J.T. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(19):1689-1696. doi: 10.2106/JBJS.17.00412.
36. Lefevre N., Klouche S., Mirouse G., Herman S., Gerometta A., Bohu Y. Return to sport after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective comparative study of 552 patients from the FAST cohort. *Am J Sports Med*. 2017;45(1):34-41. doi: 10.1177/0363546516660075.
37. Sollberger V.D., Korthaus A., Barg A., Pagenstert G. Long-term results after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon autograft with a minimum follow-up of 10 years – a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(7):4277-4289. doi: 10.1007/s00402-022-04687-9.

## Authors' information

✉ Ekaterina A. Morozova

Address: 10/1, Minin and Pozharsky sq., Nizhny Novgorod, 603005, 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

Daria A. Naida – Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-4567-2612>

e-mail: dariaanayda@gmail.com

Denis O. Kolmakov

<https://orcid.org/0009-0005-6669-0838>

e-mail: doctor.kolmakov@mail.ru

Andrey A. Zykin – Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>

e-mail: dr.zykin@mail.ru

Ekaterina V. Khramtsova

<https://orcid.org/0000-0003-1737-1214>

e-mail: e.v.khramtsova@bk.ru



## Структура обращаемости и способов лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена

Е.В. Вебер, А.П. Завьялов, А.И. Авдеев, М.А. Жогина, С.С. Смирнов

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

### Реферат

**Актуальность.** Количество травм кисти и кистевого сустава ежегодно растет. Лечение таких пациентов в условиях стационара влечет за собой увеличение финансовых и временных затрат медицинских организаций. В связи с этим изучение структуры контингента пациентов, обратившихся в приемное отделение, позволило бы более объективно принимать решение по организации оказания медицинской помощи.

**Цель исследования** — изучить структуру обращаемости и способы лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в приемном отделении НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена.

**Материал и методы.** Произведена выборка 18 848 пациентов, обратившихся в приемное отделение НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с травмой кисти и кистевого сустава в период с 2020 по 2023 годы в базе данных медицинской информационной системы Медиалог.

**Результаты.** Наиболее частыми типами травм кисти и кистевого сустава были переломы фаланг пальцев и пястных костей, повреждения кожи и подкожной клетчатки, сухожилий пальцев, повреждения нервов. Из хирургических операций наиболее часто выполняли остеосинтез спицами, первичный шов сухожилий разгибателей и сгибателей пальцев. Значительно реже выполнялась первичная хирургическая обработка ран, шов нервов, сосудов, реплантация и реваскуляризация. Около 20% пациентов с травмами кисти неотложная медицинская помощь может быть оказана в травмпунктах Санкт-Петербурга, тем самым уменьшится очередь на оказание хирургической помощи в приемном отделении Центра.

**Заключение.** Для лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава требуется комплексный подход с привлечением врачей разных специальностей на каждом этапе лечения. Правильная организация медицинской помощи таким пациентам позволит улучшить качество и результаты лечения.

**Ключевые слова:** травма кисти и кистевого сустава, повреждение сухожилий сгибателей и разгибателей, повреждение нервов кисти, неотложная медицинская помощь, организация здравоохранения.

**Для цитирования:** Вебер Е.В., Завьялов А.П., Авдеев А.И., Жогина М.А., Смирнов С.С. Структура обращаемости и способов лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):92-100. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17608>.

Вебер Евгений Валерьевич; e-mail: wjhon@yandex.ru

Рукопись получена: 23.09.2024. Рукопись одобрена: 01.11.2024. Статья опубликована: 06.12.2024.

© Вебер Е.В., Завьялов А.П., Авдеев А.И., Жогина М.А., Смирнов С.С., 2024

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17608>

## Outpatient Visits and Treatment Methods of Patients with Hand and Wrist Injuries in Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Eugeniy V. Veber, Alexander P. Zavyalov, Alexander I. Avdeev, Margarita A. Zhogina, Sergey S. Smirnov

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

### Abstract

**Background.** Number of injuries of the hand and wrist is constantly growing from year to year. Inpatient treatment of these patients increases both time and financial costs for healthcare organizations. Thus, analysing the structure of patients who applied to the emergency department would make it possible to take more objective decisions on the organization of healthcare delivery.

**The aim** — to analyse outpatient visits and treatment methods of patients with hand and wrist injuries who applied to the emergency department of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics.

**Methods.** A sample of 18.848 patients who applied to the emergency department with hand and wrist injury in the period from 2020 to 2023 was drawn in the database of the Medialog medical information system of the Center.

**Results.** The most common types of hand and wrist injuries were: metacarpal and phalangeal fractures, damage to the skin and subcutaneous tissue, damage to the finger flexor tendons and nerves. Of the operations performed, K-wire osteosynthesis and primary suture of the extensor or flexor tendons of the fingers were most often used. Significantly less common were the following operations: primary surgical debridement, suture of nerves and blood vessels, replantation and revascularization. About 20% of patients with hand injuries can receive emergency medical care in emergency rooms of Saint Petersburg, thereby reducing the queue for surgical service in the Center's emergency department.

**Conclusion.** Treatment of patients with hand and wrist injuries requires comprehensive approach involving doctors of various specialties at each stage of the treatment. Proper organization of such patients' treatment will significantly improve the quality of medical care and the treatment outcomes.

**Keywords:** hand injury, wrist injury, flexor and extensor tendon injuries, nerve damage in the hand, emergency medical care, health care organization.

---

**Cite as:** Veber E.V., Zavyalov A.P., Avdeev A.I., Zhogina M.A., Smirnov S.S. Outpatient Visits and Treatment Methods of Patients with Hand and Wrist Injuries in Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):92-100. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17608>.

✉ *Eugeniy V. Veber*; e-mail: [wjhon@yandex.ru](mailto:wjhon@yandex.ru)

Submitted: 23.09.2024. Accepted: 01.11.2024. Published: 06.12.2024.

© Veber E.V., Zavyalov A.P., Avdeev A.I., Zhogina M.A., Smirnov S.S., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Травмы кисти и кистевого сустава имеют свою сезонность. Их количество из года в год растет. Лечение таких пациентов в условиях стационара влечет за собой увеличение затрат медицинских организаций, как финансовых, так и временных. В связи с этим изучение структуры контингента пациентов, обратившихся в приемное отделение медицинской организации, позволило бы более объективно принимать решение по организации оказания медицинской помощи.

На сегодняшний день существуют публикации, отражающие работу приемного отделения зарубежных больниц по лечению пациентов с травмой кисти и кистевого сустава [1, 2, 7], но в российской научной литературе изучаемый вопрос освещен скромно.

*Цель исследования* — изучить структуру обращаемости и способы лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в приемном отделении ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

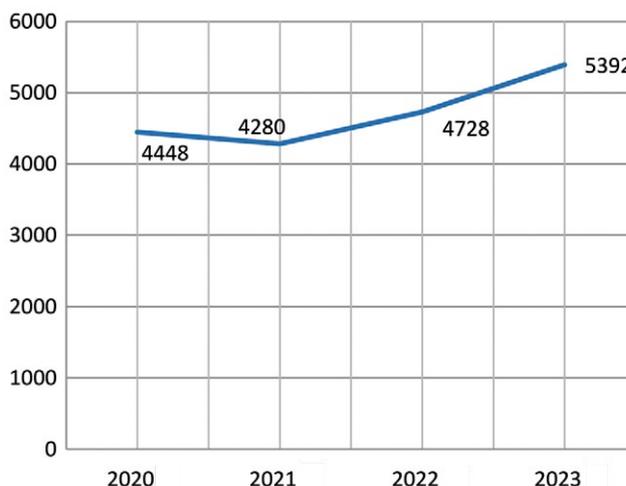
Используя базу данных медицинской информационной системы (МИС) Медиалог Центра, произведена выборка 18 848 пациентов, обратившихся в приемное отделение с травмой кисти и кистевого сустава в период с 2020 по 2023 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами был проведен анализ 24 135 обращений в приемное отделение Центра за 4 года с 2020 по 2023 г. Из них было отобрано 18 848 пациента с травмой кисти и кистевого сустава (рис. 1), т.е. приблизительно 80% от всех обращений. Остальные обращения были по поводу травм ключицы, плеча и предплечья, нижних конечностей.

В 2021 г. по сравнению с 2020 г. количество обратившихся в приемное отделение пациентов уменьшилось почти на 200 (4%) человек.

Это может быть связано с проведением противоэпидемиологических мероприятий при новой коронавирусной инфекции [3]. С каждым последующим годом количество пациентов увеличивалось примерно на 500 человек, т.е. прирост составлял 10–15% ежегодно. Так, уже в 2023 г. обратилось 5392 человека.



**Рис. 1.** Количество пациентов, обратившихся в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с травмой кисти и кистевого сустава в 2020–2023 гг.

**Figure 1.** Number of patients with hand and wrist injuries who applied to the Center in 2020-2023

Анализ гендерного состава пациентов в среднем за 4 года показал, что мужчин было стабильно больше, чем женщин (3:1) — среди обратившихся было 74,41% мужчин и 25,79% женщин (рис. 2). Это согласуется с данными других подобных исследований [2, 4, 5].

Средний возраст пациентов составил 39,8 года, средний рост — 175 см, средний вес — 76,9 кг, а средний ИМТ — 24,6 (табл. 1).



**Рис. 2.** Соотношение мужчин и женщин среди пациентов с травмами кисти и кистевого сустава

**Figure 2.** Male/female ratio among patients with hand and wrist injuries

Таблица 1

Средние антропометрические данные обратившихся пациентов

Показатель	2020	2021	2022	2023	Среднее значение за все годы
Возраст, лет	38,7	39,3	40,5	40,8	39,8
Рост, см	175,7	176,2	173,8	174,2	175,0
Вес, кг	77,6	77,4	76,1	76,4	76,9
ИМТ	24,5	24,5	24,7	24,7	24,6

Анализ базы данных показал, что чаще всего в клинику обращались мужчины молодого возраста (по классификации ВОЗ — до 44 лет) и нормального телосложения. При этом наблюдается стойкая тенденция к незначительному увеличению возраста травмированных пациентов. По данным других исследований, средний возраст пациентов с травмой кисти составляет 25–29 лет [3, 6, 7, 8].

Анализ трудовой деятельности обратившихся за 4 года пациентов показал следующие результаты (рис. 3):



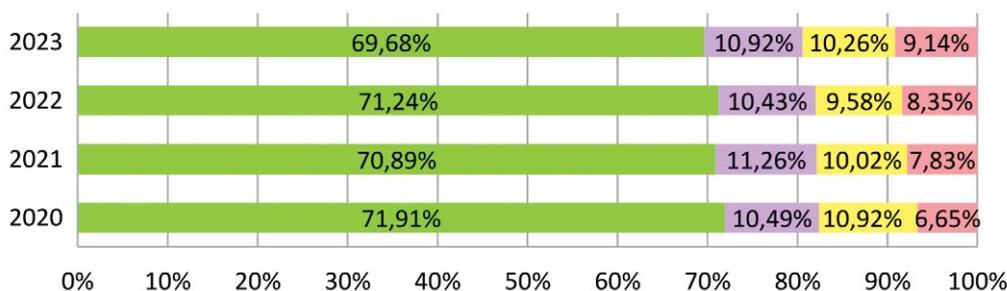
Рис. 3. Трудовая деятельность обратившихся пациентов, %

Figure 3. Work activity of patients who applied, %

- официально трудоустроенные — 52%,
- обучающиеся в колледжах и вузах — 3%,
- не предоставили данные о месте работы — 45% (самозанятые и неофициально трудоустроенные, пенсионеры, домохозяйки и прочие).

Обучающиеся получают травмы кисти и кистевого сустава крайне редко, а пациенты, официально работающие и без данных о месте работы, составляют в среднем по всем годам около 97%. По данным исследования, проведенного в 2021 г., в Мехико студенты и домохозяйки составили половину из всех обратившихся пациентов с травмой кисти. В Саудовской Аравии студенты обращались в 35,1% случаев [1, 9].

Анализ пациентов по месту их жительства показал, что обращались преимущественно жители Санкт-Петербурга и Ленинградской области, реже — имеющие прописку в других регионах страны и иностранцы (рис. 4). В динамике виден рост доли жителей Ленобласти и других регионов России, а также иностранцев. Среди иностранцев, обратившихся за медицинской помощью, большинство составили граждане стран СНГ. Помимо этого, обращались граждане Ближнего Востока, Евросоюза, Китая и США.



	2020	2021	2022	2023
■ Санкт-Петербург	3199	3034	3368	3757
■ Ленинградская область	467	482	512	589
■ Другие регионы России	486	429	453	553
■ Другие страны	296	335	395	493

Рис. 4. География пациентов

Figure 4. Geographic distribution of the patients

Самой частой причиной обращения за медицинской помощью являлись переломы — 57,53% от всех травм, что сравнимо с данными других источников [10, 11]. В структуре всех переломов можно выделить переломы пястных костей — 48,33%,

переломы фаланг — 40,67%, переломы дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЭЛК) — 8,03%, переломы костей запястья — 2,97% (рис. 5), которые повреждаются чаще остальных костей кисти и кистевого сустава [8,12].



**Рис. 5.** Обращения с переломами костей кисти и кистевого сустава  
**Figure 5.** Patients' visits for hand and wrist fractures

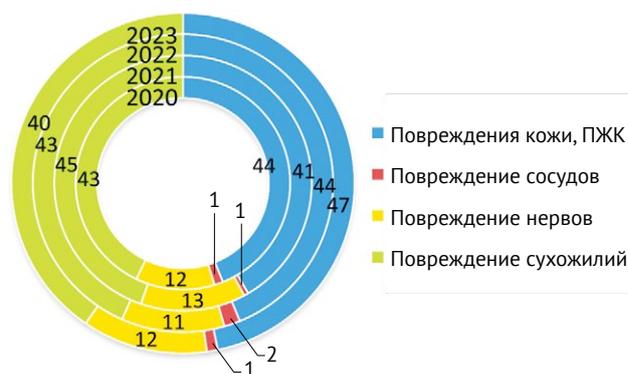
С каждым годом количество пациентов, обратившихся по поводу переломов, неуклонно росло. Динамика обращений выглядит следующим образом:

- а) переломы фаланг — за 4 года их количество увеличилось на 11,7%;
- б) переломы пястных костей — на 8,3%;
- в) переломы костей запястья — на 4,5%;
- г) переломы ДМЭЛК — на 97%.

Ранения мягких тканей с повреждением только кожи и подкожной клетчатки стали причиной обращения в приемное отделение Центра в среднем за четыре года в 16% случаях от общего числа пациентов с травмой кисти и кистевого сустава, а также повреждение сухожилий — 15%, нервов — 4%, сосудов — 1% (рис. 6). По данным Д.В. Овчинникова с соавторами, частота встречаемости поврежденных сухожилий составляет 17,8%, что схоже с нашими показателями [4].

Всего с повреждением мягкотканых структур обратилось 6672 пациента за 4 года, что составляет приблизительно 35% от всех травм кисти и кистевого сустава. При осуществлении анализа полученных данных отмечается тенденция к ежегодному росту количества пациентов с мягкоткаными повреждениями (табл. 2).

Следующим этапом был осуществлен анализ сезонной обращаемости пациентов с травмами кисти (рис. 7). Наиболее показательным явился 2020 г., когда больше всего пациентов поступало зимой и летом. В 2021 и 2022 гг. доминирующими явились весенний и летний сезоны по всем нозологическим формам, а в 2023 г. — летний и осенний. Полученные данные однозначно выделяют летний период в качестве лидирующего по количеству обращений с травмами кисти и кистевого сустава.

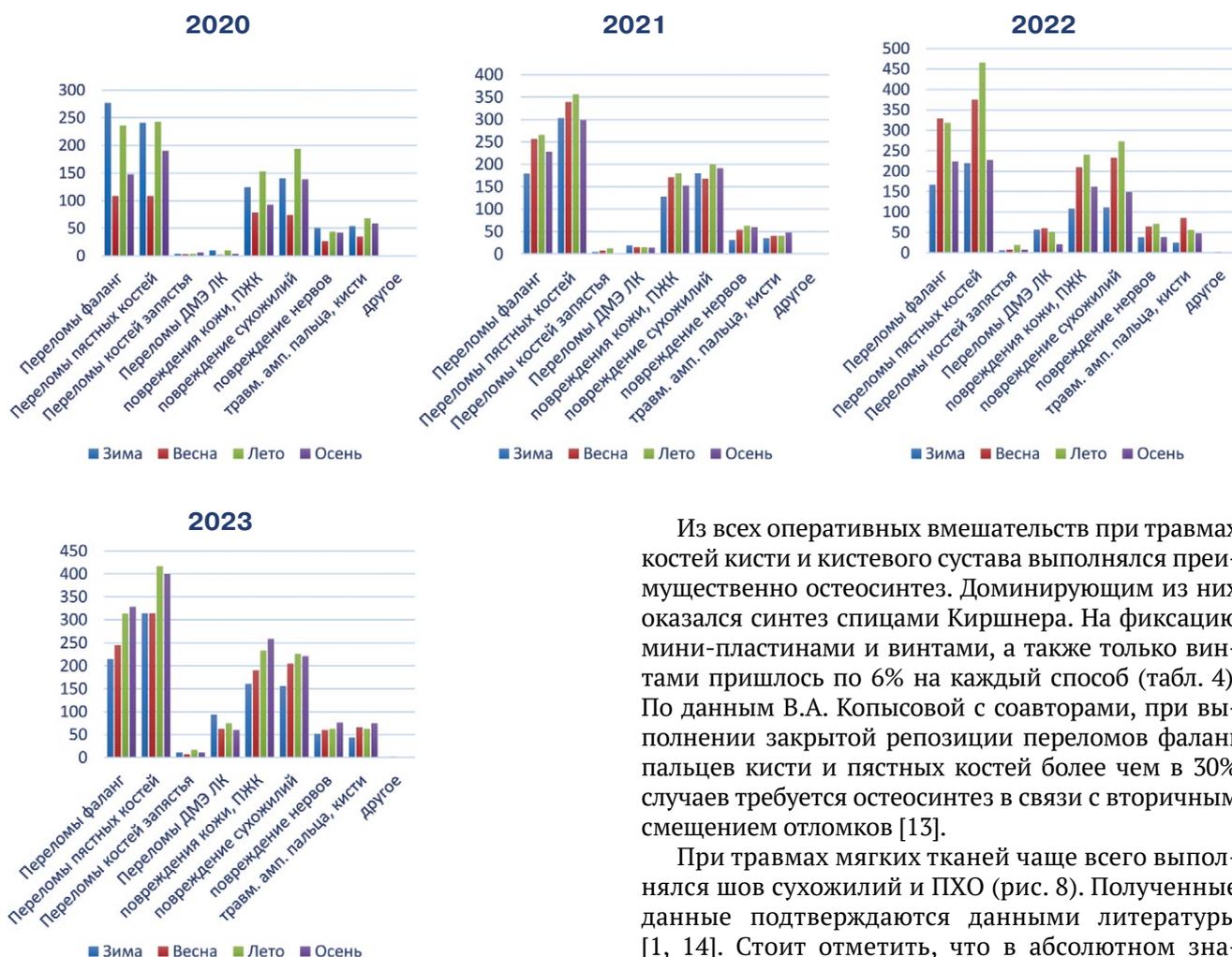


**Рис. 6.** Повреждения мягкотканых структур, %  
**Figure 6.** Soft tissue injuries, %

Таблица 2

**Количество пациентов с мягкоткаными повреждениями**

Повреждения	2020	2021	2022	2023
Кожа, ПЖК	608	667	761	909
Нервы	165	212	193	230
Сухожилия	593	718	753	786



**Рис. 7.** Число обращений пациентов с разными травмами в зависимости от сезона года  
**Figure 7.** Seasonal variation of patients' visits for various injuries

Оперативное вмешательство было выполнено 72% пациентов (13 565 человек), а консервативное — 28% (5283 человек). Распределение по годам отражено в таблице 3.

Из всех оперативных вмешательств при травмах костей кисти и кистевого сустава выполнялся преимущественно остеосинтез. Доминирующим из них оказался синтез спицами Киршнера. На фиксацию мини-пластинами и винтами, а также только винтами пришлось по 6% на каждый способ (табл. 4). По данным В.А. Копысовой с соавторами, при выполнении закрытой репозиции переломов фаланг пальцев кисти и пястных костей более чем в 30% случаев требуется остеосинтез в связи с вторичным смещением отломков [13].

При травмах мягких тканей чаще всего выполнялся шов сухожилий и ПХО (рис. 8). Полученные данные подтверждаются данными литературы [1, 14]. Стоит отметить, что в абсолютном значении количество реплантаций за четыре года выросло на четыре, а реваскуляризаций — на семнадцать, в то время как в процентном соотношении наблюдается обратная динамика (табл. 5).

Соотношение доли пролеченных пациентов с травмой сгибателей и разгибателей представлено на рисунке 8. В среднем за четыре года получается пропорция 40% сгибателей к 60% разгибателей. По данным литературы, в США и Мексике встречаются похожие результаты [1].

Таблица 3

**Виды лечения пациентов с травмой кисти и кистевого сустава в приемном отделении**

Вид лечения	2020		2021		2022		2023	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Оперативное	3122	70	3146	73	3369	71	3928	72
Консервативное	1326	30	1134	27	1359	29	1464	28

Таблица 4

**Виды операций, выполненных при костных повреждениях кисти и кистевого сустава**

Операция	2020	2021	2022	2023	Всего
Остеосинтез (всего)	1770	1710	1785	2030	7295
Остеосинтез спицами	1185	1038	1182	1435	4840
Остеосинтез винтами	289	365	317	278	1249
Остеосинтез мини-пластиной и винтами	296	307	286	317	1206
Вправление вывиха	52	51	43	45	191
Артродез пальцев кисти	27	26	11	14	78
Ампутация пальца	250	179	219	248	896



**Рис. 8.** Частота встречаемости шва сгибателей и разгибателей  
**Figure 8.** Incidence of the extensor and flexor tendons suture

Таблица 5

**Виды операций, выполненных при повреждениях мягких тканей кисти и кистевого сустава**

Операция	2020	2021	2022	2023	Всего
Первичная хирургическая обработка	633	575	619	772	2599
Шов сухожилия (всего):	619	597	672	734	2622
сгибателей	248	264	257	310	1079
разгибателей	371	333	415	424	1543
Шов нерва	142	205	187	211	745
Сосудистый шов	20	18	18	17	73
Реплантации	8	11	7	14	40
Реваскуляризация	5	15	17	23	60
Местная кожная пластика	142	153	88	73	456
Свободная кожная пластика	77	73	52	64	266
Пластика на сосудистой ножке	18	21	15	20	74

**ОБСУЖДЕНИЕ**

По данным исследования D.L. Colen с соавторами, в США в период с 2009 по 2012 г. количество пациентов, обратившихся в отделения неотложной помощи с травмой кисти и кистевого сустава, выросло на 5% [15], а по нашим результатам, в период с 2019 по 2023 г. прирост составил 15%. В большинстве стран мужчины обращаются с травмой кисти чаще, чем женщины [2, 4, 5, 7, 11]. Приблизительно половина обратившихся — работающие, и полученная травма делала их временно нетрудоспособными, что может нести за собой профессиональные и экономические потери. Это согласуется с мнениями других авторов [1, 3, 6, 7, 8, 9]. В Непале, Мексике и Саудовской Аравии количество пострадавших студентов больше — достигает 33%, что значительно превышает наши данные [1, 7, 9].

Из всех пациентов, обратившихся в Центр, иностранные граждане составили 8%, то есть каждый

12-й пациент, большинство из них были гражданами стран СНГ.

Более чем в половине случаев причиной обращения за медицинской помощью служили переломы, преимущественно фаланг пальцев и пястных костей, достаточно часто причинами были повреждения мягких тканей и сухожилий. Схожие показатели опубликованы авторами из Мексики и США [1, 15]. Более редкими оказались переломы костей запястья, в том числе ладьевидной кости, а также повреждения артерий запястья, кисти и пальцев. Самыми частыми оперативными вмешательствами являлись остеосинтез спицами, первичная хирургическая обработка раны, шов сухожилия (в 60% случаях шов разгибателей). Реже выполнялись открытые вправления вывихов, сосудистый шов, реплантация и реваскуляризация, свободная пластика и пластика на сосудистой ножке, артродез пальцев кисти. В 2% процентах случаев паци-

енты повторно обращались в рамках одного клинического случая.

Анализируя полученные данные об оказанной хирургической помощи в приемном отделении, можно констатировать, что большинство пациентов, которым были выполнены ПХО и шов сухожилий разгибателей пальцев кисти, являлись сугубо амбулаторными и не требовали стационарного лечения. В связи с этим около 20% пациентов может быть оказана медицинская помощь на уровне травмпунктов Санкт-Петербурга, что сократит очередь ожидающих оказания хирургической помощи в приемном отделении Центра. Для остальных 80% в Санкт-Петербурге имеются дежурные бригады травматологов-ортопедов в центре хирургии кисти ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, оказывающие квалифицированную медицинскую помощь пациентам с травмой кисти и кистевого сустава и при необходимости выполняющие микрохирургические операции по восстановлению отчлененных сегментов (пальцы, кисть).

Всем пациентам после выполнения той или иной операции предстоит дальнейшее наблюдение в травмпункте по месту жительства, где осуществляются перевязки, снятие швов и наблюдение за пациентами с иммобилизационной повязкой. Но помимо этого после швов сухожилий сгибателей пальцев кисти пациентам требуется полноценная поэтапная реабилитация под наблюдением опытного реабилитолога («кистевое терапевта») и физиотерапевта. К сожалению, в нашем городе таких специалистов очень мало, и пациент действует не всегда так, как ему объяснял врач в Центре. Это еще раз подчеркивает важность комплексного подхода к лечению пациентов с травмой кисти

и кистевого сустава с задействованием врачей разных специальностей на каждом этапе лечения. При правильной организации лечения таких пациентов заметно улучшится качество оказания медицинской помощи и результат лечения.

Наше исследование следует рассматривать в контексте следующих ограничений. Вся информация была получена из базы данных медицинской информационной системы Медиалог НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена. Мы не проводили анализ и оценку результатов лечения пациентов в дальнейшем. В связи с этим сложно сказать, выполнял ли пациент реабилитационные мероприятия после хирургического лечения или нет, и какова его удовлетворенность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее частыми типами травм кисти и кистевого сустава были переломы фаланг пальцев и пястных костей, повреждения кожи и подкожной клетчатки, сухожилий пальцев, повреждения нервов.

Из хирургических операций наиболее часто выполняли остеосинтез спицами, реже — первичную хирургическую обработку ран. Достаточно часто осуществляли первичный шов сухожилий разгибателей и сгибателей пальцев. Значительно реже выполняли шов нервов, сосудов, реплантацию и реваскуляризацию — для таких манипуляций требуется микроскопическое оборудование. В лечении пациентов с травмой кисти и кистевого сустава требуется комплексный подход с задействованием врачей разных специальностей на каждом этапе лечения. При правильной организации лечения таких пациентов заметно улучшится качество оказания медицинской помощи и результат лечения.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### **Заявленный вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** 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.

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Arroyo-Berezowsky C., Quinzanos-Fresnedo J. Epidemiology of hand and wrist injuries treated in a reference specialty center over a year. *Acta Ortop Mex.* 2021;35(5):429-435. (In English).
2. Moellhoff N., Throner V., Frank K., Benne A., Coenen M., Giunta R.E. et al. Epidemiology of hand injuries that presented to a tertiary care facility in Germany: a study including 435 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(3):1715-1724. doi: 10.1007/s00402-022-04617-9.
3. Fylos A., Varitimidis S., Papageorgiou F., Karamanis N., Alexiou K., Veloni A. et al. Upper extremity emergencies during SARS-COV-2 pandemic: Turnout trends. *Injury.* 2021;52(3):387-394. doi: 10.1016/j.injury.2020.11.045.
4. Овчинников Д.В., Питенин Ю.И., Целищев А.И. Повреждение сухожилий пальцев кисти в практике дневного хирургического стационара. *Стационарзамещающие технологии. Амбулаторная хирургия.* 2012;(1):19-21.  
Ovchinnikov D.V., Pitenin Yu.I., Tselishev A.I. Injuries to the tendons of the fingers in the day surgery practice. *Hospital-replacing technologies. Ambulatory Surgery.* 2012;(1):19-21. (In Russian).
5. Золотухина И.Ю., Авдеев А.И., Родоманова Л.А. Особенности организации оказания высокотехнологичной и специализированной медицинской помощи пациентам с травмой кисти в национальном медицинском исследовательском центре травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена. *Джанелидзевикие чтения.* 2023;59-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=lncejl&ysclid=m413o652yb218594497>.  
Zolotukhina I.Yu., Avdeev A.I., Rodomanova L.A. Features of organizing high-technology specialized medical care delivery for patients with hand injury in Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. *Djanelidze's readings.* 2023;59-61. (In Russian). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=lncejl&ysclid=m413o652yb218594497>.
6. Robinson L.S., O'Brien L. Description and cost-analysis of emergency department attendances for hand and wrist injuries. *Emerg Med Australas.* 2019;31(5):772-779. doi: 10.1111/1742-6723.13246.
7. Thapa A.S., Rai S.M., Nakarmi K.K., Karki B., Gharti Magar M., Nagarkoti K.K. et al. Hand Injury among Patients Visiting Emergency Department in a Tertiary Care Centre: A Descriptive Cross-sectional Study. *JNMA J Nepal Med Assoc.* 2023;61(257):5-9. doi: 10.31729/jnma.7969.
8. Jørgsholm P., Ossowski D., Thomsen N., Björkman A. Epidemiology of scaphoid fractures and non-unions: A systematic review. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2020;52(05):374-381. doi: 10.1055/a-1250-8190.
9. Alhumaid F.A., Alturki S.T., Alshareef S.H., Alobaidan O.S., Alhuwaymil A.A., Alohaideb N.S., Bhatti A.Z. Epidemiology of hand fractures at a tertiary care setting in Saudi Arabia. *Saudi Med J.* 2019;40(7):732-736. doi: 10.15537/smj.2019.7.24286.
10. van Leerdam R.H., Krijnen P., Panneman M.J., Schipper I.B.. Incidence and treatment of hand and wrist injuries in Dutch emergency departments. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(6):4327-4332.
11. Manley O.W.G., Wormald J.C.R., Furniss D. The changing shape of hand trauma: an analysis of Hospital Episode Statistics in England. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019;44(5):532-536. doi: 10.1177/1753193419828986.
12. Sanderson M., Mohr B., Abraham M.K. The Emergent Evaluation and Treatment of Hand and Wrist Injuries: An Update. *Emerg Med Clin North Am.* 2020;38(1):61-79. doi: 10.1016/j.emc.2019.09.004.
13. Копысова В.А., Мирофанов А.В., Селиванов Д.П., Самсонов А.В., Смолоногов С.В. Лечение неосложненных переломов костей кисти в амбулаторных условиях. *Гений ортопедии.* 2014;(3):5-11.  
Kopysova V.A., Miromanov A.V., Selivanov D.P., Samsonov A.V., Smolonogov S.V. Outpatient treatment of patients with uncomplicated fractures of the hand bones. *Genij Ortopedii.* 2014;(3):5-11. (In Russian).
14. Вашедский В.Е., Кирпичев И.В., Климин Д.Н., Рослова Э.П. Структура травм сухожилий разгибателей пальцев кисти в Ивановской области. *Травматология и ортопедия России.* 2016;(2):80-85.  
Vashetsky V.E., Kirpichev I.V., Klimin D.N., Roslova E.P. Injury patterns of finger extensor tendons in population of Ivanovo region. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22(2): 80-86. (In Russian).
15. Colen D.L., Fox J.P., Chang B., Lin I.C. Burden of Hand Maladies in US Emergency Departments. *Hand (NY).* 2018;13(2):228-236. doi: 10.1177/1558944717695749.

## Сведения об авторах

✉ Вебер Евгений Валерьевич — канд. мед. наук  
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,

ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0000-0002-0212-925X>

e-mail: wjhon@yandex.ru

Завьялов Александр Павлович

<https://orcid.org/0009-0000-6125-3149>

e-mail: alpzavyalov@yandex.ru

Авдеев Александр Игоревич — канд. мед. наук

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

e-mail: spaceship1961@gmail.com

Жоги́на Маргарита Алексе́евна

<https://orcid.org/0000-0001-8825-8222>

e-mail: zhoginamargo@mail.ru

Смирнов Сергей Сергеевич

<https://orcid.org/0000-0002-3210-9962>

e-mail: smirnovss\_md@mail.ru

## Authors' information

✉ Eugeny V. Veber — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0002-0212-925X>

e-mail: wjhon@yandex.ru

Alexander P. Zavyalov

<https://orcid.org/0009-0000-6125-3149>

e-mail: alpzavyalov@yandex.ru

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

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

e-mail: spaceship1961@gmail.com

Margarita A. Zhogina

<https://orcid.org/0000-0001-8825-8222>

e-mail: zhoginamargo@mail.ru

Sergey S. Smirnov

<https://orcid.org/0000-0002-3210-9962>

e-mail: smirnovss\_md@mail.ru

Научная статья

УДК 616.728.2-089.844-089.193.4:615.466

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17564>

## Замещение дефектов вертлужной впадины методом импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: биомеханические аспекты

В.Н. Гольник<sup>1</sup>, Н.В. Федорова<sup>2</sup>, А.Ю. Ларичкин<sup>2</sup>, С.В. Бойко<sup>2</sup>, А.А. Панченко<sup>3</sup>,  
А.М. Косинов<sup>2</sup>, В.А. Пелеганчук<sup>1</sup>, В.В. Павлов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России,  
г. Барнаул, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева» СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> ООО «ЛОГИКС Медицинские системы», г. Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»  
Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Важное значение для обеспечения длительной выживаемости эндопротезов, установленных с применением импакционной костной пластики, имеют механические свойства трансплантата.

**Цель исследования** — изучить механические свойства костно-пластического материала и определить возможное влияние циклических нагрузок на изменение пространственного положения тазового компонента после ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием импакционной костной пластики.

**Материал и методы.** Проведен эксперимент по оценке влияния циклических нагрузок на механические свойства костно-пластического материала. Первым этапом проведены испытания на одноцикловое стесненное сжатие, вторым этапом выполнены циклические испытания. С учетом присутствия в ране крови была предусмотрена модель с добавлением 45% водного раствора глицерина. Клиническая интерпретация механических явлений проводилась на основании данных рентгенографии в динамике у двух пациентов, перенесших ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава с импакционной костной пластикой — оценивали изменение положения центра ротации и ориентации тазового компонента.

**Результаты.** При одноцикловом нагружении была выявлена зависимость напряжений от деформаций при стесненном сжатии. При циклических испытаниях было получено увеличение мгновенного модуля упругости в 2,6 раз для «сухого» образца и в 3,9–4,7 раза — для образцов с жидкостью. На рентгенограммах у обоих пациентов отмечалось смещение центра ротации краниально и латерально: в первом случае на 2,4 и 1,5 мм, во втором — на 14,9 и 9,5 мм соответственно, изменение инклинации тазового компонента составило 18,7° в первом случае и 19,8° — во втором. Оценка функционального состояния по модифицированной шкале NHS составила 97 баллов у первого пациента и 53 балла — у второго.

**Заключение.** Используемый для импакционной костной пластики материал подвержен деформации как во время операции, так и в послеоперационном периоде. Испытания на сжатие позволили предположить, что деформация измельченного импактированного костно-пластического материала в послеоперационном периоде постепенно стремится к выходу на плато, а с завершением деформации прекращается миграция тазового компонента. Смещение центра ротации и изменение положения ацетабулярного компонента при отсутствии рентгенопрозрачной линии не является абсолютным признаком расшатывания.

**Ключевые слова:** биомеханика, циклические нагрузки, импакционная костная пластика, костный дефект, трансплантат, ревизионное эндопротезирование.

**Для цитирования:** Гольник В.Н., Федорова Н.В., Ларичкин А.Ю., Бойко С.В., Панченко А.А., Косинов А.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В. Замещение дефектов вертлужной впадины методом импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: биомеханические аспекты. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):101-113. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17564>.

Гольник Вадим Николаевич; e-mail: [vgolnik@mail.ru](mailto:vgolnik@mail.ru)

Рукопись получена: 03.06.2024. Рукопись одобрена: 05.08.2024. Статья опубликована онлайн: 05.11.2024.

© Гольник В.Н., Федорова Н.В., Ларичкин А.Ю., Бойко С.В., Панченко А.А., Косинов А.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В., 2024

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17564>

## Impaction Bone Grafting for Acetabular Bone Defects Replacement in Revision Hip Arthroplasty: Biomechanical Aspects

Vadim N. Golnik<sup>1</sup>, Natalia V. Fedorova<sup>2</sup>, Alexey Yu. Larichkin<sup>2</sup>, Svetlana V. Boyko<sup>2</sup>, Andrey A. Panchenko<sup>3</sup>, Alexandr M. Kosinov<sup>2</sup>, Vladimir A. Peleganchuk<sup>1</sup>, Vitaliy V. Pavlov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Barnaul, Russia

<sup>2</sup> Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> LOGEEKS MS LLC, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

### Abstract

**Background.** The leading role in long-term survival of the prosthesis installed using impaction bone grafting is given to the mechanical properties of the graft.

**The aim of the study** is to explore the mechanical properties of osteoplastic material and determine the potential impact of cyclic loads on dynamic changes in the position of the acetabular component after revision hip arthroplasty using impaction bone grafting.

**Methods.** We conducted an experiment evaluating the impact of cyclic loads on the mechanical properties of osteoplastic material. At the first stage, a single-cycle tension-compression testing was carried out. Cyclic tests were carried out at the second stage of the experiment. Taking into account the presence of blood in the wound, we provided for a model with an aqueous solution of 45% glycerin. Clinical interpretation of biomechanics was carried out basing on the dynamic radiography data of two patients who underwent revision hip arthroplasty with the use of impaction bone grafting (IBG). The changes in the position of the rotation center and acetabular component were assessed.

**Results.** During a single-cycle loading, we observed stress-strain dependences and instantaneous elastic moduli for each specimen. During cyclic tests, we obtained the increase of the instantaneous elastic modulus by 2.6 times for a “dry” specimen and from 3.9 to 4.7 times for the ones with liquid. X-rays of both patients showed the shift of the center rotation cranially and laterally: 2.4 and 1.5 mm in the first case and 14.9 and 9.5 mm in the second one, respectively. In the first case the change in the inclination was 18.7°, in the second case — 19.8°. The Hip Harris Score (HHS) was 97 points for the first patient, 53 points — for the second one.

**Conclusions.** The material used for IBG is subject to deformation both in the intraoperative and postoperative period. Compression tests have suggested that the deformation of morselized impacted bone graft gradually tends to reach a plateau in the postoperative period, and with the completion of the deformation, migration of the acetabular component stops. The change in the position of the rotation center and acetabular component in the absence of a radiolucent line is not an absolute sign of loosening.

**Keywords:** biomechanics, cyclic loads, impact bone grafting, bone defect, graft, revision arthroplasty.

**Cite as:** Golnik V.N., Fedorova N.V., Larichkin A.Yu., Boyko S.V., Panchenko A.A., Kosinov A.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V. Impaction Bone Grafting for Acetabular Bone Defects Replacement in Revision Hip Arthroplasty: Biomechanical Aspects. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):101-113. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17564>.

✉ Vadim N. Golnik; e-mail: [vgolnik@mail.ru](mailto:vgolnik@mail.ru)

Submitted: 03.06.2024. Accepted: 05.08.2024. Published online: 05.11.2024.

© Golnik V.N., Fedorova N.V., Larichkin A.Yu., Boyko S.V., Panchenko A.A., Kosinov A.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Современными особенностями ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава (ТБС) являются увеличение числа ранних ревизий и относительно молодой возраст пациентов, в том числе в связи с расширением показаний к эндопротезированию, увеличением продолжительности жизни и снижением среднего возраста пациентов, перенесших первичное эндопротезирование [1]. Некоторым из них может понадобиться две или более ревизии в течение жизни. Неоднократные ревизионные вмешательства сопряжены с существенной потерей костной массы в области эндопротеза [2, 3].

Для возмещения костных дефектов в настоящее время существует множество решений: начиная от заполнения дефектов костным цементом и заканчивая применением различных модульных ревизионных систем с аугментами и аддитивных технологий [4, 5]. Тем не менее вопрос восполнения костного дефицита с помощью различных костно-пластических материалов (КПМ) у данной категории пациентов особенно актуален [6]. В определенных случаях достаточно эффективно это может быть достигнуто с использованием импакционной костной пластики (ИКП). Данная технология позволяет обеспечить стабильную фиксацию имплантата с последующей реставрацией костного дефекта путем частичного замещения КПМ собственной костью, что является привлекательной опцией, позволяющей вернуть костный статус близко к исходному. Несмотря на то, что ИКП позиционируется как способ биологической реставрации в расчете на инкорпорацию и перестройку импактированной кости [7], ведущее значение в обеспечении длительной выживаемости эндопротезов отводится изучению механических свойств используемого трансплантата и возможности улучшить их с помощью разнообразных методик уплотнения и комбинации различных видов КПМ [8, 9, 10, 11, 12].

**Цель исследования** — изучить в динамике механические свойства костно-пластических материалов и определить возможное влияние циклических нагрузок на изменение пространственного положения тазового компонента после ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием импакционной костной пластики.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

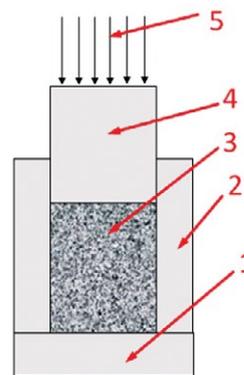
Нами была проведена экспериментальная работа по оценке влияния циклических нагрузок на механические свойства КПМ, подобного тому, который используется нами в клинической практике для замещения костных дефектов вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании тазо-

бедренного сустава [6]. Фрагменты КПМ для пяти образцов были приготовлены вручную с помощью кусачек Люэра из кости крупного рогатого скота, приближенной по механическим свойствам к человеческой и часто используемой в клинической практике в качестве ксенотрансплантата [13].

Для объективизации данных было необходимо получить числовые значения основных физических параметров костно-пластического материала, такие как модуль Юнга (модуль нормальной упругости), характеризующий способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации, и коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации), показывающий зависимость между продольными и поперечными деформациями элемента [14]. Коэффициент Пуассона и модуль Юнга полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала.

Всего было подготовлено пять образцов. Учитывая, что механические и трибологические свойства КПМ могут меняться в зависимости от присутствия раневой крови, была предусмотрена модель с добавлением 45% водного раствора глицерина, вязкость которого во время испытаний при комнатной температуре соответствовала вязкости крови 5,3 мПа·с [15]. Таким образом, эксперименты в двух случаях проводились на «сухом» образце и в трех случаях — с жидкостью.

Экспериментальную часть работы проводили на универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z100 (Германия). Схема испытания представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема испытания ксенокости на стесненное сжатие в разрезе:

- 1 — круглая платформа;
- 2 — цилиндр (полый или с отверстиями);
- 3 — образец ксенотрансплантата; 4 — штамп;
- 5 — нагрузка 1500 Н, прикладываемая к образцу

**Figure 1.** Scheme of testing xenobone for constrained compression in section:

- 1 — round platform;
- 2 — cylinder (hollow or with holes);
- 3 — xenograft specimen; 4 — stamp;
- 5 — load of 1500 N applied to the specimen

Образцы КПМ помещались в полый металлический цилиндр со съемной платформой для извлечения образцов. Было использовано 2 вида полых цилиндров: один со сплошной боковой поверхностью и второй с отверстиями на боковой поверхности для дренирования излишков жидкости, что соответствовало открытому и межфрагментарному пространству частиц КПМ при ревизионных операциях. Последний был использован в одном случае с образцом с жидкостью (рис. 2). Для компрессии КПМ в цилиндре использовался штамп, соответствующий внутреннему диаметру цилиндра.



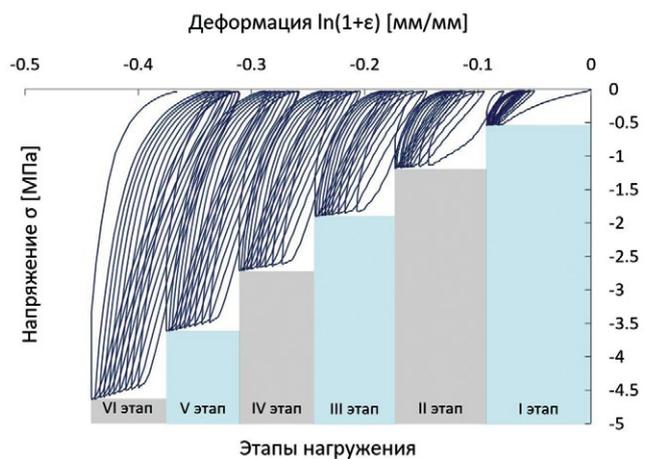
**Рис. 2.** Образец № 4 в цилиндре с отверстиями и добавлением водного раствора глицерина, моделирующего кровь в эксперименте

**Figure 2.** Specimen No. 4 in a cylinder with holes and with the addition of an aqueous glycerol solution simulating blood in the experiment

Первым этапом в эксперименте на одноцикловое стесненное сжатие в каждом образце сначала задавалось перемещение штампа на 5 мм, что моделировало первичное уплотнение КПМ хирургом с помощью специализированного инструментария. Затем образцы нагружались однократно с силой до 1500 Н за 30 сек., что моделировало нагрузку весом пациента 150 кг. Спрессованные образцы КПМ извлекались из цилиндра, помещались на платформу и подвергались сжатию на 30%. Фотофиксация процесса сжатия образца производилась с помощью системы Vic-3D (Великобритания) с частотой съемки 1 кадр в сек. Коэффициент Пуассона для каждого из образцов определяли по двум ракурсам на полученных кадрах, сравнивая изменение размеров образца до и после сжатия.

На втором этапе исследования проведены циклические испытания на образцах № 2–5 через 2 мес. в связи со значительной релаксацией материала, полученной на первом этапе. Образцы

хранились в холодильнике при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . Каждый образец циклически нагружался в 6 этапов. Начальная сжимающая нагрузка составила около 980 Н. Каждый этап состоял из 10 циклов нагружения при постоянном значении нагрузки. После каждого 10-го цикла происходила релаксация напряжений, т.е. на 10-м цикле штамп сжимал материал и оставался в положении максимального сжатия на 300 сек. В течение этого времени напряжения в сжатом материале ксенокости снижались за счет процесса релаксации, когда происходит перестроение материала на микроструктурном уровне в стремлении к состоянию равновесия и минимуму полной энергии системы. Например, этот процесс релаксации хорошо виден на VI этапе нагружения на последнем 10-м цикле (рис. 3.), когда от пиковых значений напряжения падают по прямой от 4,7 МПа до 3,2 МПа при постоянном значении деформаций 0,43. Затем по истечении 300 сек. происходила полная разгрузка образца. После этого начинался следующий этап, нагрузка увеличивалась на 1000 Н, и образец снова сжимался в течение 10 циклов при новом постоянном значении нагрузки с последующим процессом релаксации. Описанная методика повторялась на каждом из 6 этапов эксперимента. Предполагалось, что за счет увеличения нагрузки на каждом этапе материал будет уплотняться, и, соответственно, будет увеличиваться модуль Юнга. Процесс релаксации в эксперименте моделировал периоды отдыха пациента, когда аллокость находится в статическом состоянии сжатия без воздействия циклического нагружения.



**Рис. 3.** Циклическое нагружение на примере образца № 2 в 6 этапов

**Figure 3.** Cyclic loading of specimen No. 2 in 6 stages

С целью клинической интерпретации полученных результатов биомеханического эксперимента и косвенной оценки поведения КПМ в дефекте вертлужной впадины после оперативного вмешательства под влиянием циклических нагрузок от естественной физиологической активности (ходьба) произведены измерения показателей положения вертлужного компонента эндопротеза ТБС в динамике у двух пациентов, перенесших ревизионную операцию на ТБС с применением импакционной костной пластики с отсутствием и наличием клинических признаков расшатывания тазового компонента после реэндопротезирования. На обзорных рентгенограммах таза производили измерение инклинации и оценку расположения центра ротации сустава относительно «фигуры слезы» в двухмерной системе координат по методике, описанной W.S. Vorland с соавторами [16]: по оси X оценивали латеральное смещение, по оси Y производили оценку краниального смещения. Дополнительно производили измерение антеверсии тазового компонента. Данные параметры оценивались непосредственно после операции и в среднесрочном периоде во время двух визитов. Измерения производили после калибровки изображений в DICOM-файлах с помощью программного обеспечения для планирования операций VonaPlanner 2D с использованием функции «послеоперационный контроль». При оценке признаков расшатывания тазового компонента использовали критерии, описанные J.G. DeLee и J. Charnley [17].

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

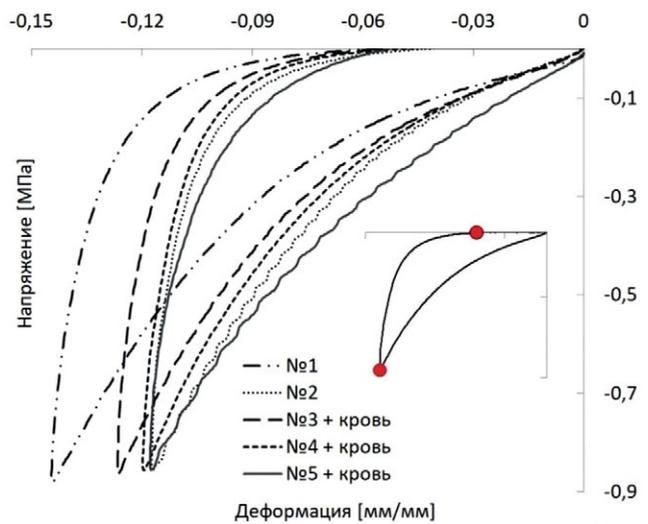
В результате испытаний на одноцикловое нагружение были получены зависимости напряжений от деформаций при стесненном сжатии для каждого образца. Характер нагружения и разгрузки является нелинейным.

Модуль Юнга (мгновенный модуль упругости) вычислялся по формуле [18]:

$$E_{ic} = \frac{(\sigma^{\max} - \sigma^{\min})}{(\varepsilon^{\max} - \varepsilon^{\min})},$$

где  $\sigma^{\max}$  — осевое напряжение в конце нагрузки;  $\sigma^{\min}$  — осевое напряжение в конце разгрузки, близкое к нулю;  $\varepsilon^{\max}$  — осевая деформация в конце нагрузки;  $\varepsilon^{\min}$  — осевая деформация в конце разгрузки. Точки, в которых определялись эти значения, выделены на уменьшенной схеме (рис. 4).

При определении коэффициента Пуассона в процессе эксперимента наблюдалось частичное нарушение целостности образцов № 2 и № 4 (откальвались частицы). При сжатии образца № 3 (с жидкостью) изменения радиальных размеров не произошло, поэтому коэффициент Пуассона определить для него не удалось.



**Рис. 4.** Диаграмма зависимости напряжений от деформации для образцов при однократном сжатии  
**Figure 4.** Stress-strain diagram for specimens under single-stage compression

Результаты определения мгновенного модуля упругости и коэффициента Пуассона при одноцикловом всестороннем сжатии представлены в таблице 1. Эти механические параметры материала соответствуют начальному состоянию аллокости сразу после операции до воздействия какого-либо циклического нагружения.

При циклических испытаниях образцов мгновенные модули упругости  $E_j^i, j = 1...6$  определялись по наклону кривой  $\sigma - \varepsilon$  диаграммы (рис. 3) на участках нагружения перед участками релаксации напряжений (табл. 2). Модуль  $E_0^j$  определялся методом секущей прямой.

Таблица 1

**Механические параметры при одноцикловом всестороннем сжатии**

Показатель	Образец				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Мгновенный модуль упругости $E_{ic}$ , МПа	10,780	12,190	12,840	13,020	14,020
Коэффициент Пуассона	0,348	0,240	-	0,123	0,109

Таблица 2  
Значения мгновенного модуля упругости  $E_0$ , МПа

Номер цикла	Образец			
	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
10	17,4	15,8	15,0	16,2
20	24,9	23,1	26,2	25,2
30	31,8	33,2	40,6	34,6
40	37,2	41,2	48,0	48,9
50	41,8	48,7	57,2	57,4
60	45,8	61,6	71,2	65,4
Относительное изменение значения	2,6	3,9	4,7	4,0

В начале нагружения значения мгновенных модулей упругости для всех образцов приблизительно равны. С увеличением циклов нагружения модули упругости растут, что указывает на уплотнение материала и уменьшение его объема (рис. 5). То есть параметры модели материала будут зависеть от относительного изменения объема

образца  $E = E(j)$ . Необходимо отметить, что значения модулей упругости образцов с жидкостью оказались выше. Было получено увеличение мгновенного модуля упругости в 2,6 раз для «сухого» образца, а для образцов с жидкостью в диапазоне от 3,9 до 4,7 раз, что может свидетельствовать о большем уплотнении и уменьшении объема импактированного КПП *in vivo* в присутствии крови.

Уплотнение материала и уменьшение его объема при увеличении числа циклов нагрузки можно пояснить клиническими примерами. Проведена оценка результатов рентгенологического исследования в динамике у пациентки 59 лет (пациент 1), перенесшей двухэтапное ревизионное эндопротезирование по поводу инфицированной нестабильности компонентов эндопротеза с использованием ИКП на заключительном этапе (рис. 6). Для анализа динамики миграции тазового компонента выбраны обзорные рентгенограммы таза, полученные непосредственно после операции, через 3 года после оперативного вмешательства и на последнем контрольном осмотре через 7 лет (рис. 7). Абсолютные значения представлены в таблице 3.

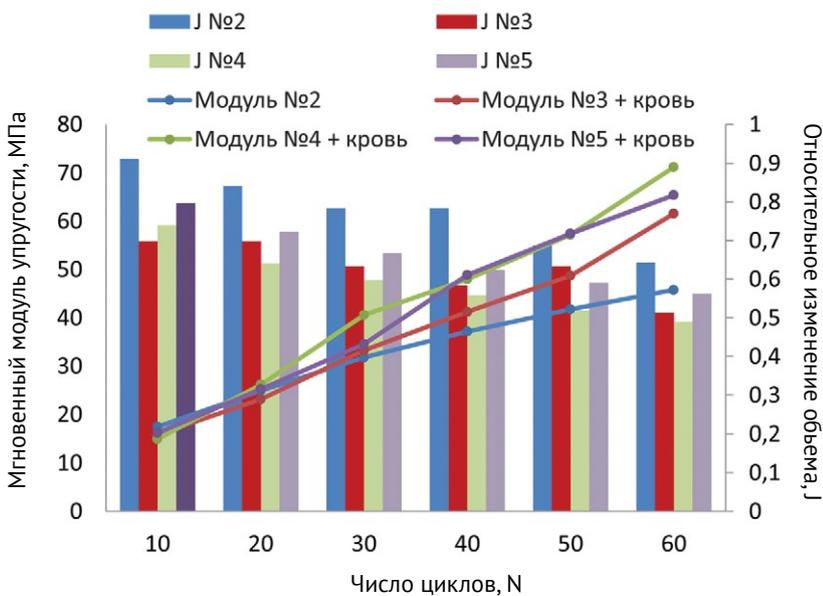
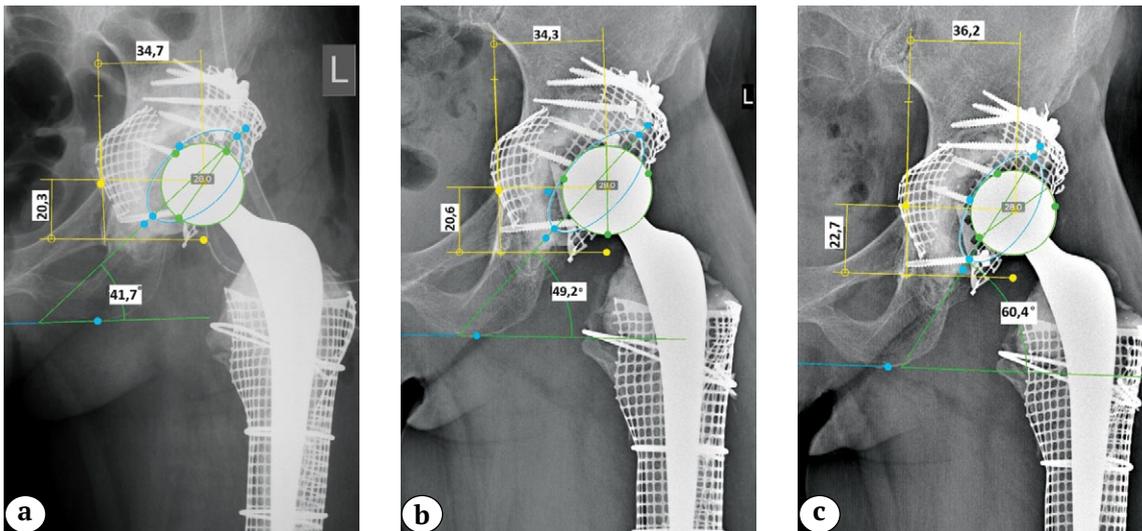


Рис. 5. Мгновенные модули упругости и относительное изменение объема в зависимости от количества циклов  
Figure 5. Instantaneous elastic moduli and relative volume change depending on the number of cycles



Рис. 6. Обзорная рентгенограмма таза пациента 1 с признаками расшатывания тазового и бедренного компонентов эндопротеза левого ТБС, остеолитом бедренной кости слева

Figure 6. Plain X-ray of the pelvis of patient 1. Signs of loosening of the pelvic and femoral components of the left hip joint endoprosthesis and femoral osteolysis on the left are observed



**Рис. 7.** Клинический пример миграции тазового компонента у пациента 1 без развития расшатывания: а – после операции; б – через 3 года; с – через 7 лет (смещение проксимально и латерально, увеличение инклинации и изменение антеверсии)

**Figure 7.** Clinical example of the pelvic component migration in patient 1 without subsequent loosening: a – after surgery; b – in 3 years; c – in 7 years (proximal and lateral displacement, increased inclination, change in anteversion)

Таблица 3

**Показатели позиции тазового компонента эндопротеза левого тазобедренного сустава у пациента 1 на различных сроках наблюдения**

Показатель	После операции	Через 3 года	Через 7 лет	Δ
Расположение центра ротации по оси Y, мм	20,3	20,6	22,7	2,4
Расположение центра ротации по оси X, мм	34,7	34,3	36,2	1,5
Инклинация, град.	41,7	49,2	60,4	18,7
Антеверсия, град.	34,0	27,8	30,8	3,2

В динамике спустя 7 лет отмечается смещение центра ротации в большей степени в краниальном направлении, увеличение инклинации тазового компонента и изменение угла антеверсии. При этом классических рентгенологических признаков расшатывания тазового компонента по Charnley в виде рентгенопрозрачных линий на границе интерфейсов кость – цемент не выявлено. Клиническая оценка функционального результата по модифицированной шкале NHS на момент последнего клинического осмотра составила 97 баллов.

Проведен анализ обзорных рентгенограмм таза пациента 53 лет (пациент 2), перенесшего ревизионное эндопротезирование левого тазобедренного сустава по поводу асептического расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава с применением ИКП на тазовом и бедренном сегментах (рис. 8).



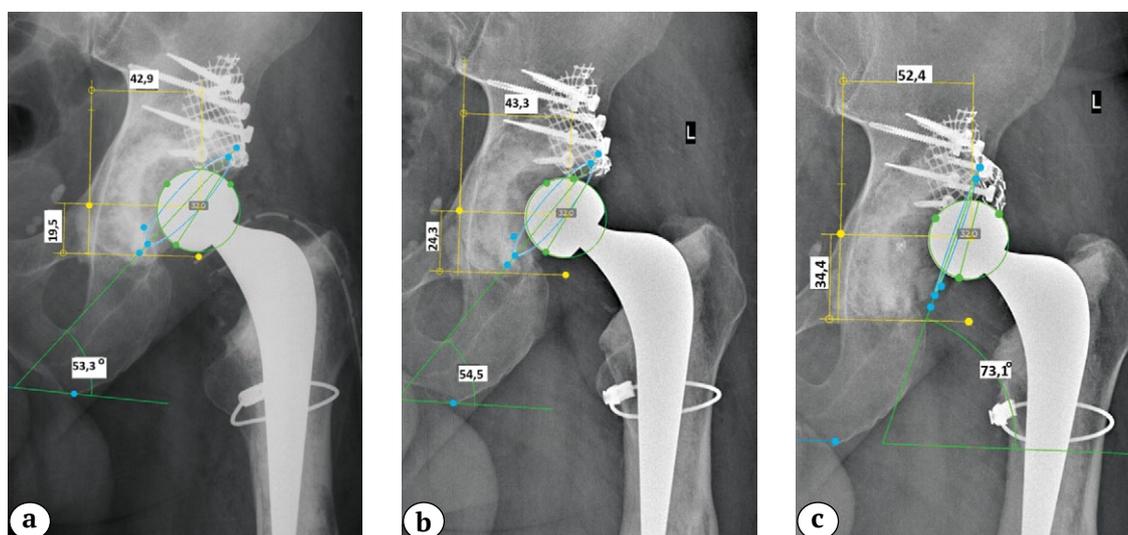
**Рис. 8.** Обзорная рентгенограмма таза пациента 2 с признаками расшатывания тазового и бедренного компонентов эндопротеза левого ТБС с остеолитом бедренной кости слева

**Figure 8.** Plain X-ray of the pelvis of patient 2. Signs of loosening of the pelvic and femoral components of the left hip joint endoprosthesis and femoral osteolysis on the left are observed

Для оценки рентгенологической динамики выбраны снимки, выполненные непосредственно после операции, через 1 год и на последнем контрольном осмотре через 5 лет с момента операции, на который пациент явился с жалобами на боли в области левого тазобедренного сустава (рис. 9). Функциональная оценка по модифицированной шкале HHS на момент последнего осмотра составила 53 балла. При оценке рентгенограмм в динамике после ревизионного эндопротезирования отмечается постепенное смещение центра ротации краниально до 14,9 мм и латерально до 9,5 мм, увеличение инклинации и изменение антеверсии тазового компонента (табл. 4). Несмотря на отсутствие рентгенологических линий просветления на границе интерфейсов данная миграция тазового компонента в совокупности с болевым синдромом была расценена как расшатывание тазового компонента.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Одной из серьезных проблем при анализе результатов ИКП как методики, интерпретации данных литературы и собственных данных является большое количество переменных и способов оценки результатов. Особенно это касается признаков расшатывания компонентов и корреляции между рентгенологическими, гистологическими и клиническими данными. Многие авторы сообщают о хорошей перестройке костно-пластического материала, однако нет единых критериев для оценки такой перестройки, а рентгенологические признаки могут значительно отличаться от клинической бессимптомной ситуации с формированием синдрома «клинико-рентгенологических ножниц». С учетом данных обстоятельств в обеспечении первичной стабильной фиксации приоритет, по нашему мнению, следует отводить именно механическим



**Рис. 9.** Клинический пример миграции тазового компонента с развитием расшатывания у пациента 2: а — после операции; б — через 1 год; с — через 5 лет (смещение центра ротации проксимально и кнаружи, увеличение инклинации, уменьшение антеверсии)

**Figure 9.** Clinical example of the pelvic component migration with subsequent loosening: a — after surgery; b — in 1 year; c — in 5 years (shift of the rotation center proximally and outward, increased inclination, decreased anteversion)

Таблица 4

**Показатели позиции тазового компонента эндопротеза левого тазобедренного сустава у пациента 2 на различных сроках**

Показатель	После операции	Через 1 год	Через 5 лет	Δ
Расположение центра ротации по оси Y, мм	19,5	24,3	34,4	14,9
Расположение центра ротации по оси X, мм	42,9	43,3	52,4	9,5
Инклинация, град.	53,3	54,5	73,1	19,8
Антеверсия, град.	13,6	12,6	2,8	10,8

параметрам используемого костно-пластического материала.

Самым важным и наиболее трудоемким этапом при выполнении ИКП является уплотнение костно-пластического материала, которое достигается путем повторных энергичных ударов импактором. Именно после уплотнения фрагмент губчатой кости становится достаточно прочным, чтобы выдержать нагрузку под весом пациента и силами, действующими в результате физиологической активности. На степень уплотнения в основном влияют сила удара и количество циклов. Во время процесса уплотнения трансплантата происходят пластическая деформация и смещение фрагментов КПМ друг относительно друга, что приводит к их более близкому расположению и уменьшению объема [19].

Наши эксперименты по изучению поведения напряжения и деформации, хотя и дали предварительные кривые напряжения и деформации, ни в коем случае не были исчерпывающими. Тем не менее в этих первоначальных экспериментах мы тестировали нативный костный ксеноматериал в условиях, моделирующих циклические нагрузки, воздействующие на трансплантат, и получили результаты, дающие представление о природе механических явлений, происходящих с КПМ в клинической практике. В циклических испытаниях образцов мы получили увеличение модуля упругости с каждой серией циклов, что говорит об увеличении плотности образцов и повышении способности противостоять нагрузкам. С другой стороны, при каждой серии циклических нагрузок на фоне уплотнения трансплантата отмечалось относительное изменение объема образцов, что в клинической практике обязательно приводит к изменению положения компонентов эндопротеза и проявляется в виде различной степени миграции — «цементный ацетабулярный компонент следует за уплотняющимся трансплантатом, при сохранении с ним непосредственного контакта по всей поверхности».

Е. Ornstein с соавторами провели радиостереометрический анализ миграции тазового компонента после выполненной ИКП с использованием вертлужной впадины цементной фиксации в 21 случае у 20 пациентов. Во время операции авторы внедряли танталовые шарики диаметром 0,8 мм в область ацетабулярного компонента, седалищного бугра и крыши вертлужной впадины с последующей оценкой их положения через 1,5; 3; 6; 12; 18 и 24 мес. после операции. Все, кроме одного из 21 компонентов, мигрировали в течение 2 лет в проксимальном направлении, медиана составила 2,1 (0,5–6,4) мм; 6 компонентов — в медиальном направлении, медиана составила 0,8 (0,4–1,2) мм; 6 — в латеральном направлении, медиана состави-

ла 0,8 (0,4–2,0) мм; 14 — в заднем направлении, медиана составила 0,8 (0,3–2,3) мм; 1 ацетабулярный компонент мигрировал на 0,6 мм в переднем направлении. Миграция постепенно замедлялась с течением времени во всех случаях, однако в 7 наблюдениях компоненты продолжали смещаться в период 1,5–2,0 года. Авторы подчеркнули, что в данном исследовании миграция показала большее смещение, чем в аналогичном исследовании с применением обычной цементной ревизии и комбинации цемента с аллографтом [20], что не противоречит данным нашего исследования.

Позднее М. Mohaddes с соавторами в исследовании, также основанном на радиостереометрическом анализе миграции тазового компонента в течение 17 лет после операции ревизионного эндопротезирования с использованием ИКП, показали результаты, сопоставимые с данными, описанными Е. Ornstein с соавторами [21].

В работе А. Philips с соавторами, аналогичной нашей, было показано, что при постоянном уровне нагрузки с увеличением количества циклов значения модуля упругости выходят на некоторое плато, что, таким образом, подчеркивает важность хорошего уплотнения КПМ во время операции для уменьшения развития пластических деформаций, приводящих к миграции чашки эндопротеза после операции [18].

Представленные нами клинические примеры иллюстрируют описанные выше явления. В обоих случаях в среднесрочном периоде мы идентифицировали развившиеся под воздействием циклических нагрузок признаки миграции тазового компонента со смещением центра ротации, как описывалось выше, в краниальном и латеральном направлениях, а также увеличение угла инклинации и изменение антеверсии. Достаточно критическая инклинация впадины обусловлена уплотнением КПМ преимущественно в I зоне. Однако классические признаки расшатывания компонентов в виде рентгенопрозрачных линий толщиной 2 мм и более отсутствуют. Тем не менее у пациента 2 с учетом оценки функционального результата по шкале HSS в 53 балла и жалоб на боль ситуация с миграцией ацетабулярного компонента может быть расценена как развивающееся расшатывание, служить показанием к проведению ревизионного вмешательства.

С другой стороны, некоторыми авторами сообщалось о наличии рентгенопрозрачных линий в клинически здоровом суставе после ИКП, однако их значение в прогнозе выживаемости отдельного имплантата не ясно [22].

T. Slooff с соавторами, подробно описавшие процедуру ИКП на тазовом сегменте, подчеркивали, что она сильно зависит от хирургической

техники [23]. Клиническое наблюдение с использованием оценки функции ТБС широко распространено и вполне может быть уместным, однако рентгенографическая оценка сложна и может быть ненадежной для оценки интеграции и ремоделирования КПМ [24].

С точки зрения биомеханики первичная стабильная фиксация может быть гарантированно достигнута при использовании так называемой идеальной смеси костных фрагментов, имеющих градиент физических размеров, которые отмывались от жира и оптимально уплотнялась. Несмотря на то, что эти этапы достаточно произвольны и не имеют конкретных параметров, они тем не менее влияют на биологические процессы, связанные с перестройкой КПМ. Применение измельченного костного трансплантата таким способом может быть изучено через механику грунта и механику уплотнения, а сам трансплантат может быть описан как материал в виде частиц и, более конкретно, как рыхлый агломерат или агрегат [25]. В технических науках уплотнение и поведение материалов в виде частиц в относительно простых напряженных состояниях не совсем понятны, а в совокупности с механическими параметрами кости применение этих знаний весьма ограничено [26].

Некоторые исследователи попытались оптимизировать механические характеристики измельченного костного трансплантата при импакции, экспериментируя с размером фрагментов и их градацией, а также пытались смешивать с частицами других материалов, более прочных и плотных, чем кость, экспериментировали со способами уплотнения [27, 28, 29].

Также важную роль в уплотнении играет жидкость. Содержание влаги в грунте является оптимальным, когда ее достаточно, чтобы смазывать частицы, способствуя их относительному движению, но не настолько, чтобы в жидкости развивалось давление и частицы были разделены. Одной из особенностей КПМ является высокое содержание жидкости (обычно 52% воды и 31% жира), что является избыточным для непосредственного использования в клинической практике. Обычно перед применением КПМ проводится промывание костных фрагментов теплым физраствором для удаления жировой, фиброретикулярной ткани в межтрабекулярном пространстве губчатой кости. Экспериментальные исследования *in vivo* на взрослых свиньях показали, что удаление жира увеличивает начальную стабильность импактированной костной массы [25]. Таким образом, промывание костных фрагментов повышает стабильность КПМ путем улучшения прочности на сдвиг трансплантата [25].

В наших экспериментах были выявлены определенные закономерности при работе с «сухими»

образцами и с добавлением раствора глицерина, приближенного по реологическим свойствам к крови. В образцах с добавлением жидкости были получены более высокие модули упругости за счет проявления пороупругих эффектов. Несмотря на полученные данные, коррелирующие с результатами других авторов, они не являются абсолютными, поскольку тестировали нативный костный ксеноматериал в условиях, которые отличаются от условий *in vivo*, когда в ране также присутствуют клеточный дебрис, белки и др.

Поведение сложных многокомпонентных систем под влиянием сил различных величины и направления, связанных с деятельностью пациента, также находится в сфере интересов биомеханики. А. Phillips с соавторами с помощью двухмерного конечно-элементного анализа в экспериментах описали поведение тазового компонента и КПМ под действием постоянной и переменной сил. В ходе анализа контролировали развитие смещения и поворота вертлужного компонента по часовой стрелке, сравнивая впадины диаметром 44 мм и 56 мм. Было показано, что с большей впадиной пластические деформации трансплантата развивались в меньшей степени, что может быть интерпретировано как преимущество использования компонентов большего размера в сочетании с ИКП [30]. Позднее те же авторы, проведя анализ влияния физиологических нагрузок на миграцию тазового компонента при естественной активности, выявили, что при ходьбе наибольшее воздействие приходится на верхний край вертлужной впадины и приводит к миграции вверх. Присаживание и вставание были по своему эффекту схожи и вызывали миграцию впадины кзади. При оценке сил, приводящих к смещению во время ходьбы, выявлена ротация вокруг сагиттальной оси, приводящая к абдукции и демонстрирующая типичный в ревизионном эндопротезировании механизм развития расшатывания тазового компонента. Напротив, при вставании и присаживании происходит ротация вокруг фронтальной и вертикальной осей. Это происходит из-за результирующей силы, действующей в основном в верхнем направлении во время ходьбы и в заднем направлении во время присаживания и вставания [31].

W. Nele с соавторами в своем биомеханическом исследовании провели сравнительную оценку давления, торсионной нагрузки и отрыва впадины после проведенной ИКП в условиях различных сегментарных дефектов вертлужной впадины. Дефекты типа ПВ по Paprosky были фрезерованы на 15 полутазах свиньи с углами сегментных дефектов 40°, 80° и 120°. После ИКП в каждом случае имплантировали полиэтиленовую чашку цементной фиксации. Чашки с ИКП показали асимптоматическую миграцию в среднем на  $0,26 \pm 0,11$  мм. В итоге ИКП

не показала худших биомеханических свойств при углах дефекта сегментарного типа ПВ до 80° по сравнению с чашками без дефектов [32].

Безусловно, важным фактором, также влияющим на стабильность подобной сложной биомеханической системы, являются биологические процессы перестройки КПМ, связанные как с дегенерацией, так и с костеобразованием. Существуют определенные противоречия в вопросе необходимости полной остеоинтеграции или возможности обеспечить приемлемую степень стабильности в долгосрочной перспективе за счет врастания волокнистой ткани. Данные аспекты в нашем исследовании не рассматривались.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Гольник В.Н.* — оценка и интерпретация данных клинического этапа, написание текста рукописи.

*Фёдорова Н.В.* — оценка и интерпретация данных экспериментального этапа.

*Ларичкин А.Ю.* — экспериментальная работа, обработка данных, анализ, написание и редактирование текста рукописи.

*Бойко С.В.* — экспериментальная работа, анализ и интерпретация данных.

*Панченко А.А.* — экспериментальная работа, анализ и интерпретация данных.

*Косинов А.М.* — экспериментальная работа, анализ и интерпретация данных.

*Пелеганчук В.А.* — дизайн исследования, написание и редактирование текста рукописи.

*Павлов В.В.* — дизайн исследования, научное руководство, редактирование текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

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

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Денисов А.О., Ахмедиллов М.А., Черный А.Ж., Тотоев З.А. и др. Что изменилось в структуре ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава в последние годы? *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(4):9-27. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемый для импакционной костной пластики материал подвержен деформации как во время операции, так и в послеоперационном периоде. Испытания на сжатие позволили предположить, что деформация измельченного импактированного костно-пластического материала в послеоперационном периоде постепенно стремится к выходу на плато, а с завершением деформации прекращается миграция тазового компонента. Смещение центра ротации и изменение положения ацетабулярного компонента при отсутствии рентгенопрозрачной линии не является абсолютным признаком расшатывания.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Vadim N. Golnik* — data analysis and interpretation of clinical stage, drafting the manuscript.

*Natalia V. Fedorova* — data analysis and interpretation of experimental stage.

*Alexey Yu. Larichkin* — performance of the experiment, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

*Svetlana V. Boyko* — performance of the experiment, data analysis and interpretation.

*Andrey A. Panchenko* — performance of the experiment, data analysis and interpretation.

*Alexandr M. Kosinov* — performance of the experiment, data analysis and interpretation.

*Vladimir A. Peleganchuk* — study design, drafting and editing the manuscript.

*Vitaliy V. Pavlov* — study design, scientific management, editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Denisov A.O., Akhmedilov M.A., Cherny A.Zh., 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 Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27.

2. Kummerant J., Wirries N., Derksen A., Budde S., Windhagen H., Floerkemeier T. The etiology of revision total hip arthroplasty: current trends in a retrospective survey of 3450 cases. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(9):1265-1273. doi: 10.1007/s00402-020-03514-3.
3. Oltean-Dan D., Apostu D., Tomoaia G., Kerekes K., Păiușan M.G., Bardas C.A. et al. Causes of revision after total hip arthroplasty in an orthopedics and traumatology regional center. *Med Pharm Rep.* 2022;95(2):179-184. doi: 10.15386/mpr-2136.
4. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Kovalenko A.N., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I. Standard Versus Custom-Made Acetabular Implants in Revision Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2022;37(1):119-125. doi: 10.1016/j.arth.2021.09.003.
5. Гольник В.Н., Джухаев Д.А., Красовский И.Б., Павлов В.В., Пелеганчук В.А. Хирургические аспекты позиционирования индивидуальных трехфланцевых имплантатов при замещении дефектов тазовой кости в ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2022;50(4):15-26. doi: 10.17238/2226-2016-2022-4-15-26.  
Golnik V.N., Dzhukhaev D.A., Krasovsky I.B., Pavlov V.V., Peleganchuk V.A. Surgical aspects of positioning individual three-flanged implants in replacement of bone defects in revision hip arthroplasty. *Department of Traumatology and Orthopedics.* 2022;50(4):15-26. (In Russian). doi: 10.17238/2226-2016-2022-4-15-26.
6. Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В., Кирилова И.А. Замещение дефектов вертлужной впадины и бедренной кости с использованием импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: клинический случай. *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(3):102-109. doi: 10.17816/2311-2905-8008.  
Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Batrak Y.M., Pavlov V.V., Kirilova I.A. Reconstruction of Acetabular and Femoral Bone Defects With Impaction Bone Grafting in Revision Hip Arthroplasty: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2023;29(3):102-109. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-8008.
7. Colo E., Rijnen W.H., Schreurs B.W. The biological approach in acetabular revision surgery: impaction bone grafting and a cemented cup. *Hip Int.* 2015;25(4):361-367. doi: 10.5301/hipint.5000267.
8. Fosse L., Muller S., Rønningen H., Irgens F., Benum P. Viscoelastic modelling of impacted morsellised bone accurately describes unloading behaviour: an experimental study of stiffness moduli and recoil properties. *J Biomech.* 2006;39(12):2295-2302. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.07.014.
9. Lunde K.B., Skallerud B. The modified cam clay model for constrained compression of human morsellised bone: effects of porosity on the mechanical behaviour. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2009;2(1):43-50. doi: 10.1016/j.jmbbm.2008.02.004.
10. Cornu O., Schubert T., Libouton X., Manil O., Godts B., Van Tomme J. et al. Particle size influence in an impaction bone grafting model. Comparison of fresh-frozen and freeze-dried allografts. *J Biomech.* 2009;42(14):2238-2242. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.06.045.
11. Voor M.J., Nawab A., Malkani A.L., Ullrich C.R. Mechanical properties of compacted morselized cancellous bone graft using one-dimensional consolidation testing. *J Biomech.* 2000;33(12):1683-1688. doi: 10.1016/s0021-9290(00)00156-1.
12. Albert C., Masri B., Duncan C., Oxland T., Fernlund G. Impaction allografting – the effect of impaction force and alternative compaction methods on the mechanical characteristics of the graft. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008;87(2):395-405. doi: 10.1002/jbm.b.31117.
13. Voor M.J., White J.E., Grieshaber J.E., Malkani A.L., Ullrich C. Impacted morselized cancellous bone: mechanical effects of defatting and augmentation with fine hydroxyapatite particles. *J Biomech.* 2004;37(8):1233-1239. doi: 10.1016/j.jbiomech.2003.12.002.
14. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. Москва: Наука; 1979. 744 с.  
Rabotnov Yu. N. Mechanics of a deformable solid body. Moscow: Nauka; 1979. 744 p. (In Russian).
15. Ишманов М.Ю., Сертакова А.В., Соловьев А.М., Федяшина Н.А., Щербакова Е.В. Исследование крови. В кн.: 250 показателей здоровья. Научная книга; 2013. Гл 1. 718 с.  
Ishmanov M.Yu., Sertakova A.V., Soloviev A.M., Fedyashina N.A., Shcherbakova E.V. Blood test. In: 250 health indicators. Scientific book; 2013. Ch 1. 718 p. (In Russian).
16. Borland W.S., Bhattacharya R., Holland J.P., Brewster N.T. Use of porous trabecular metal augments with impaction bone grafting in management of acetabular bone loss. *Acta Orthop.* 2012;83(4):347-352. doi: 10.3109/17453674.2012.718518.
17. DeLee J.G., Charnley J. Radiological demarcation of cemented sockets in total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1976;(121):20-32.
18. Phillips A.T., Pankaj, Brown D.T., Oram T.Z., Howie C.R., Usmani A.S. The elastic properties of morsellised cortico-cancellous bone graft are dependent on its prior loading. *J Biomech.* 2006;39(8):1517-1526. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.03.032.
19. Sawicki A., Swidzinski W. Elastic moduli of non-cohesive particulate materials. *Powder Technol.* 1998;96(1):24-32. doi: 10.1016/S0032-5910(97)03354-8.
20. Ormstein E., Franzén H., Johnsson R., Sandquist P., Stefánsdóttir A., Sundberg M. Migration of the acetabular component after revision with impacted morselized allografts: a radiostereometric 2-year follow-up analysis of 21 cases. *Acta Orthop Scand.* 1999;70(4):338-342. doi: 10.3109/17453679908997821.
21. Mohaddes M., Herberts P., Malchau H., Johanson P.E., Kärrholm J. High proximal migration in cemented acetabular revisions operated with bone impaction grafting; 47 revision cups followed with RSA for 17 years. *Hip Int.* 2017;27(3):251-258. doi: 10.5301/hipint.5000452.
22. Wilson M.J., Whitehouse S.L., Howell J.R., Hubble M.J.W., Timperley A.J., Gie G.A. The results of acetabular impaction grafting in 129 primary cemented total hip arthroplasties. *J Arthroplast.* 2013;28(8):1394-1400. doi: 10.1016/j.arth.2012.09.019.
23. Slooff T.J., Schimmel J.W., Buma P. Cemented fixation with bone grafts. *Orthop Clin North Am.* 1993;24(4):667-677.
24. Linder L. Cancellous impaction grafting in the human femur: histological and radiographic observations in 6 autopsy femurs and 8 biopsies. *Acta Orthop Scand.* 2000;71(6):542-552. doi: 10.1080/000164700317362154.

25. Dunlop D.G., Brewster N.T., Madabhushi S.P., Usmani A.S., Pankaj P., Howie C.R. Techniques to improve the shear strength of impacted bone graft: the effect of particle size and washing of the graft. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(4):639-646. doi: 10.2106/00004623-200304000-00009.
26. Toms A.D., Barker R.L., Jones R.S., Kuiper J.H. Impaction bone-grafting in revision joint replacement surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(9):2050-2060. doi: 10.2106/00004623-200409000-00028.
27. Brewster N.T., Gillespie W.J., Howie C.R., Madabhushi S.P., Usmani A.S., Fairbairn D.R. Mechanical considerations in impaction bone grafting. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(1):118-124. doi: 10.1302/0301-620x.81b1.8480.
28. Kuiper J.H., Merry J.C., Cheah K., Richardson J.B. Graft composition influences early mechanical stability in impaction grafting. *Trans EORS.* 1996;6:45.
29. Putzer D., Mayr E., Haid C., Reinthaler A., Nogler M. Impaction bone grafting: a laboratory comparison of two methods. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(8):1049-1053. doi: 10.1302/0301-620x.93B8.26819.
30. Phillips A.T.M., Pankaj P., Usmani A.S., Howie C.R. Numerical modelling of the acetabular construct following impaction grafting. In: 6<sup>th</sup> International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Madrid. 2004.
31. Phillips A.T., Pankaj P., Howie C.R., Usmani A.S., Simpson A.H. 3D non-linear analysis of the acetabular construct following impaction grafting. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2006;9(3):125-133. doi: 10.1080/10255840600732226.
32. Nele W., Martina F., Stefan R., Frank L., Georg M. Impaction bone grafting for segmental acetabular defects: a biomechanical study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(3):1353-1359. doi: 10.1007/s00402-021-04296-y.

#### Сведения об авторах

✉ Гольник Вадим Николаевич

Адрес: Россия, 656045, г. Барнаул, ул. Ляпидевского, д. 1/3

<https://orcid.org/0000-0002-5047-2060>

e-mail: vgolnik@mail.ru

Фёдорова Наталья Виталиевна — канд. техн. наук

<https://orcid.org/0000-0002-6850-995X>

e-mail: veter-nata@mail.ru

Ларичкин Алексей Юрьевич — канд. физ.-мат. наук

<https://orcid.org/0000-0002-7306-9522>

e-mail: larichking@gmail.com

Бойко Светлана Владимировна — канд. физ.-мат. наук

<https://orcid.org/0000-0002-1478-0533>

e-mail: boykosv.hydro@gmail.com

Панченко Андрей Александрович

<https://orcid.org/0000-0002-1018-5059>

e-mail: andrey.a.panchenko@gmail.com

Косинов Александр Михайлович

<https://orcid.org/0009-0004-8973-172X>

e-mail: kos.alexander@bk.ru

Пелеганчук Владимир Алексеевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

e-mail: 297501@mail.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

#### Authors' information

✉ Vadim N. Golnik

Address: 1/3, st. Lyapidevsky, Barnaul, 656045, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5047-2060>

e-mail: vgolnik@mail.ru

Natalia V. Fedorova — Cand. Sci. (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0002-6850-995X>

e-mail: veter-nata@mail.ru

Alexey Yu. Larichkin — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0002-7306-9522>

e-mail: larichking@gmail.com

Svetlana V. Boyko — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0002-1478-0533>

e-mail: boykosv.hydro@gmail.com

Andrey A. Panchenko

<https://orcid.org/0000-0002-1018-5059>

e-mail: andrey.a.panchenko@gmail.com

Alexandr M. Kosinov

<https://orcid.org/0009-0004-8973-172X>

e-mail: kos.alexander@bk.ru

Vladimir A. Peleganchuk — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

e-mail: 297501@mail.ru

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru



## Двустороннее тотальное эндопротезирование коленных суставов с выраженной гиперэкстензией в резидуальном периоде полиомиелита с применением компьютерной навигации: клинический случай

В.Ю. Мурылев<sup>1,2</sup>, С.С. Алексеев<sup>2</sup>, Г.А. Куковенко<sup>1,2</sup>, П.М. Елизаров<sup>1,2</sup>,  
Д.О. Голубкин<sup>1</sup>, А.В. Музыченков<sup>1,2</sup>

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

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

### Реферат

**Актуальность.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава у пациентов в резидуальном периоде полиомиелита является сложной технической задачей в связи с анатомическими особенностями и обусловленными этим сложностями при выборе имплантата.

**Целью публикации** является демонстрация успешного эндопротезирования коленных суставов у пациента с выраженной гиперэкстензией и вальгусной деформацией в резидуальном периоде полиомиелита под контролем навигационной системы.

**Описание случая.** Представлен клинический случай лечения пациента 55 лет с нижним периферическим парализом конечностей в результате перенесенного полиомиелита, двусторонним гонартрозом сопровождающимся вальгусной деформацией и выраженной гиперэкстензией. Пациент передвигался с костылями на расстояние не более 300 м. В два этапа были выполнены операции эндопротезирования коленных суставов с применением навигационной системы и установкой ротационно-связанных имплантатов второго поколения. Через 4 года достигнут хороший клинический результат, пациент удовлетворен результатами операции.

**Заключение.** Нам удалось добиться хороших результатов эндопротезирования у пациента с двусторонней выраженной гиперэкстензией и вальгусной деформацией коленных суставов в резидуальном периоде полиомиелита благодаря использованию разработанного способа установки ротационно-связанного эндопротеза второго поколения под контролем навигационной системы.

**Ключевые слова:** тотальное эндопротезирование коленного сустава, полиомиелит, гиперэкстензия, вальгусная деформация, компьютерная навигация.

**Для цитирования:** Мурылев В.Ю., Алексеев С.С., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Голубкин Д.О., Музыченков А.В. Двустороннее тотальное эндопротезирование коленных суставов с выраженной гиперэкстензией в резидуальном периоде полиомиелита с применением компьютерной навигации: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):114-123. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17454>.

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

Рукопись получена: 05.02.2024. Рукопись одобрена: 19.06.2024. Статья опубликована онлайн: 28.11.2024.

© Мурылев В.Ю., Алексеев С.С., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Голубкин Д.О., Музыченков А.В., 2024

Case report

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17454>

## Computer-Assisted Total Bilateral Knee Arthroplasty for a Patient with Severe Hyperextension in Residual Poliomyelitis: A Case Report

Valery Yu. Murylev<sup>1,2</sup>, Semyon S. Alekseev<sup>2</sup>, Grigory A. Kukovenko<sup>1,2</sup>, Pavel M. Elizarov<sup>1,2</sup>, Dmitriy O. Golubkin<sup>1</sup>, Aleksey V. Muzychenkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

<sup>2</sup> S.P. Botkin Moscow City Clinical Hospital, Moscow, Russia

### Abstract

**Background.** Total knee arthroplasty in patients in the residual stage of poliomyelitis is a technically difficult job. The reasons for this are anatomical features and therefore difficulties in an implant choice and conflicting results. In the present case report, we describe a unique method of a computer-navigated installation of a rotating-hinge implant in a non-standard position for a patient with residual poliomyelitis.

**The aim of the study** is to demonstrate a method of a computer-navigated installation of rotating-hinge knee implants in a patient with severe hyperextension and valgus deformity in the residual stage of poliomyelitis.

**Case description.** The clinical case presents a 55-year-old man with lower peripheral paraparesis as a consequence of poliomyelitis and bilateral valgus knee arthritis with severe hyperextension. The patient moved on crutches at a distance no more than 300 meters. Two-stage total knee arthroplasty was performed using a navigation system and second-generation rotating-hinge implants. At the 4-year follow-up period, we note a good clinical result, and the patient is satisfied with the total knee arthroplasty outcomes.

**Conclusion.** The clinical case demonstrates good results of performing total knee arthroplasty in a patient with bilateral severe hyperextension and knee valgus deformity in residual poliomyelitis. Having analyzed available topic-related literature, we developed an original method of a computer-navigated installation of a second-generation rotating-hinge implant. The method can be an effective treatment solution for patients with knee arthritis deformity in the residual stage of poliomyelitis.

**Keywords:** total knee arthroplasty, poliomyelitis, hyperextension, valgus deformity, computer navigation.

**Cite as:** Murylev V.Yu., Alekseev S.S., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Golubkin D.O., Muzychenkov A.V. Computer-Assisted Total Bilateral Knee Arthroplasty for a Patient with Severe Hyperextension in Residual Poliomyelitis: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):114-123. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17454>.

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

Submitted: 05.02.2024. Accepted: 19.06.2024. Published online: 28.11.2024.

© Murylev V.Yu., Alekseev S.S., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Golubkin D.O., Muzychenkov A.V., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Полиомиелит — острое инфекционное вирусное заболевание, проявляющееся различными клиническими формами. Несмотря на то, что заболевание возникает только у непривитых и в большинстве случаев инфекция протекает бессимптомно, наиболее характерной и тяжелой является его паралитическая форма, проявляющаяся вялыми парезами нижних конечностей. Именно пациенты в резидуальном периоде спинальной паралитической формы полиомиелита представляют наибольший интерес для ортопедической практики [1]. У них часто встречаются нестабильная вальгусная деформация, наружная ротация и выраженная рекурвация голени, подвывих или вывих надколенника, а также внесуставная деформация бедренных и большеберцовых костей. Эти анатомические особенности в совокупности с нейромышечным дефицитом квадрицепса и связочной нестабильностью формируют сложную техническую задачу. На ранних стадиях лечения последствий полиомиелита возможна коррекция за счет пластики связок и коррекционной остеотомии, однако по мере развития артроза с болевым синдромом методом выбора становится тотальное эндопротезирование коленного сустава [2]. Целесообразность применения данного метода у пациентов в резидуальном периоде полиомиелита до сих пор остается дискуссионной ввиду возможных плохих функциональных результатов и высоких рисков рецидива нестабильности и рекурвации.

Целью публикации является демонстрация успешного эндопротезирования коленных суставов у пациента с выраженной гиперэкстензией и вальгусной деформацией в резидуальном периоде полиомиелита под контролем навигационной системы.

## Описание клинического случая

**Анамнез.** Мужчина, родившийся в Перу в 1964 г., переболел спинальной паралитической формой полиомиелита в возрасте двух лет. В резидуальном периоде у пациента наблюдалась картина нижнего периферического парапареза нижних конечностей. В возрасте 14 лет пациенту проводились реконструктивные операции на связках голеностопных суставов. В 1986 г. выполнено артродезирование левого голеностопного сустава. С 1980-х гг. пациент отмечал появление болей и чувства нестабильности в коленных суставах при ходьбе. С 2000 г. стремительно прогрессировали рекурвантная деформация коленных суставов и вальгусная деформация, болевой синдром и чувство нестабильности в коленных суставах. В этот же период пациент стал испытывать выраженные трудности при ходьбе по лестнице, при пользова-

нии общественным транспортом, применял обезболивающие средства 1–2 раза в неделю, использовал при ходьбе трость. С 2012 г. пациент был вынужден использовать при ходьбе дополнительную опору — два подмышечных костыля, полностью отказался от ходьбы по лестнице и перестал пользоваться общественным транспортом. На момент обращения в июле 2019 г. в возрасте 55 лет пациент ежедневно принимал обезболивающие препараты и мог пройти без отдыха не более 300 м.

**При поступлении.** В сентябре 2019 г. пациент был госпитализирован для проведения первым этапом оперативного вмешательства на правом коленном суставе. У пациента отмечалась двусторонняя фиксированная вальгусная деформация нижних конечностей около 5–7° на уровне коленных суставов с двусторонней гиперэкстензией, увеличивающейся при нагрузке до 40°, таким образом, объем движений в коленных суставах составлял -40...0...110°. При ходьбе он вынужденно блокировал коленные суставы в положении гиперэкстензии, что типично для пациентов с парезом нижних конечностей после перенесенного полиомиелита (рис. 1).



**Рис. 1.** Внешний вид пациента до операции  
**Figure 1.** The patient's appearance before surgery

Пассивное сгибание в коленных суставах ограничено не было и достигало 130°, активное сгибание — 110°. Сила четырехглавых мышц бедра с обеих сторон оценивалась в 2 балла из 5 по общепринятой клиническими неврологами системе Medical Research Council Scale (MRC) [3], что означает возможность полного объема движений только после устранения силы тяжести (конечность помещается на опору). В правом голеностопном суставе — полное отсутствие активных и пассивных движений, в левом — объем пассивных движений в пределах 5°, активные движения отсутствовали. Рентгенологически у пациента отмечался

двусторонний гонартроз 3 ст., вальгусная деформация нижних конечностей на уровне коленных суставов (справа и слева около 10°), ограниченные дефекты латеральных мыщелков обеих большеберцовых костей, диспластические изменения мыщелков бедренных и большеберцовых костей, надколенника (рис. 2). Итоговый показатель по адаптированной шкале Knee Society Score (KSS) [4] составлял 25 баллов.



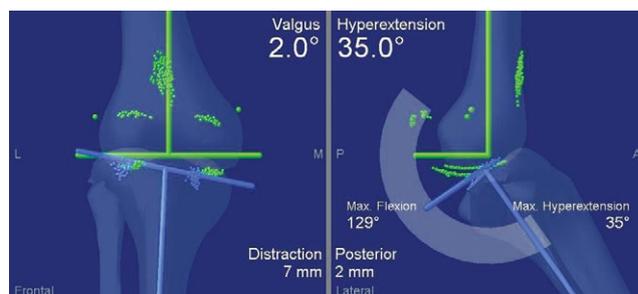
**Рис. 2.** Полноразмерные снимки нижних конечностей с нагрузкой до операции

**Figure 2.** Full-length X-rays of the lower extremities under load before surgery

*Первый этап операции.* 04.09.2019 г. было выполнено оперативное лечение — эндопротезирование правого коленного сустава с использованием навигационной системы фирмы Stryker. Учитывая особенности пациентов с нейромышечным дефицитом после перенесенного полиомиелита, данные предоперационного обследования и опыт эндопротезирования таких пациентов, описанный в литературе, в качестве планируемого имплантата был выбран Zimmer Rotation Hinge Knee (Zimmer Biomet, США). При оценке исходного состояния коленного сустава в начале операции, согласно данным навигации, вальгусная деформация составляла 2°, гиперэкстензия — до 35°, максимальное сгибание — до 129° (рис. 3).

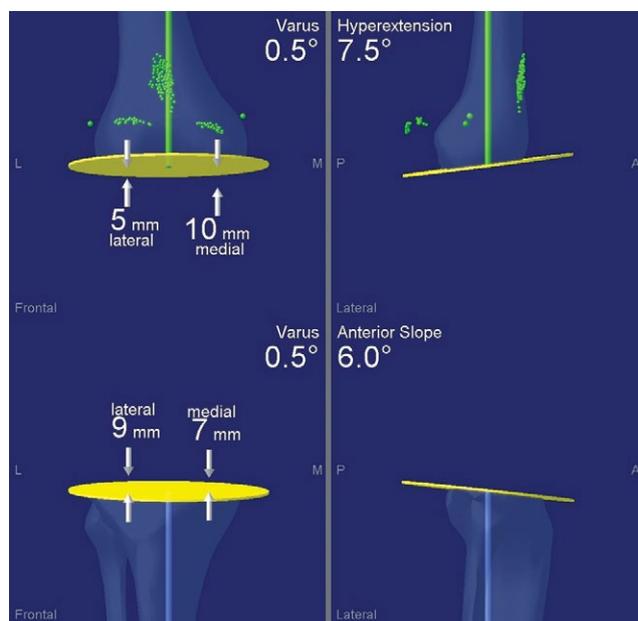
Принимая во внимание технические характеристики выбранного имплантата, в процессе операции поэтапно были осуществлены дистальный опил бедренной кости и проксимальный опил большеберцовой кости под контролем навигационной системы и с проверкой величины разгибательного и сгибательного промежутков стандартным инструментарием. Таким образом, резекция бедренной кости достигла 10 мм для внутреннего мыщелка и 5 мм для наружного, начиная с величин

ны 6 и 1 мм соответственно. Наклон опилов составил 7,5° гиперэкстензии в сагиттальной плоскости. Аналогичным образом была выполнена проксимальная резекция большеберцовой кости — 9 мм с наружного мыщелка и 7 мм с внутреннего, поэтапно увеличиваясь с величины 7 мм и 5 мм соответственно. В сагиттальной плоскости опил большеберцовой кости был выполнен в положении 6° переднего наклона (рис. 4).



**Рис. 3.** Данные компьютерной навигации демонстрируют величину деформации, переразгибания и амплитуды движений перед выполнением первого этапа хирургического лечения

**Figure 3.** Computer navigation data demonstrate the magnitude of deformity, hyperextension and range of motion before the first stage of the surgical treatment

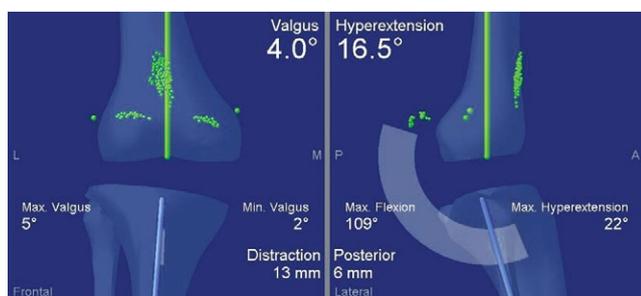


**Рис. 4.** Данные компьютерной навигации после окончательной резекции дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости

**Figure 4.** Computer navigation data after final resection of the distal femur and proximal tibia

Размеры компонентов и стержней эндопротеза компонентов были определены при помощи стандартного инструментария фирмы-производителя имплантата и данных компьютерной навигации интраоперационно. Положение компонентов в аксиальной плоскости было определено по данным компьютерной навигации согласно выбранным анатомическим ориентирам. В результате по данным навигационной карты имплантат был установлен с уровнем максимальной гиперэкстензии 16,5° и максимальным сгибанием до 109° при средней вальгусной деформации 4° (рис. 5).

С учетом того, что опилены бедренной и большеберцовой костей во фронтальной плоскости были выполнены по данным компьютерной навигации, итоговая вальгусная деформация нижней конечности была определена внесуставной деформацией костей, образующих коленный сустав. Итоговое время операции составило 2 ч. 42 мин., интраоперационная кровопотеря — 600 мл.



**Рис. 5.** Окончательные данные компьютерной навигации после установки имплантата при эндопротезировании правого коленного сустава  
**Figure 5.** Final computer navigation data after implant installation during right knee arthroplasty

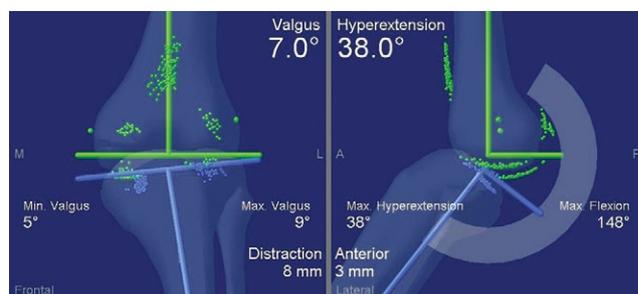
**Послеоперационный период.** Пациент был активизирован с дополнительной опорой на ходунки с дозированной нагрузкой на оперированную ногу до 25% на 2-е сут. после операции (рис. 6). Осуществлялись регулярные перевязки с оценкой течения раневого процесса, контроль данных лабораторных анализов и коррекция анемии, белкового и электролитного статуса по результатам обследования, стандартная антибактериальная профилактика. Проводилась разработка активных и пассивных движений в прооперированном суставе с применением лечебной физкультуры, аппаратной разработки, применялись физиотерапевтические методы лечения. Послеоперационная рана зажила первичным натяжением. Пациент был выписан на амбулаторный этап лечения в стандартные сроки с рекомендациями по двигательной активности. Через 10 нед. с момента операции пациенту были выполнены контрольные рентгенограммы, оценка объективного и субъективного

статуса пациента по результатам первой операции. По данным проведенного обследования рентгенологическая картина соответствовала срокам после операции, объем пассивных движений составлял 15...0...110°, объем активных движений был определен нейромышечным дефицитом. Субъективно пациент положительно оценивал результат операции, отмечал возросшую опороспособность оперированной конечности при сохраняющихся жалобах со стороны правой нижней конечности. В связи с этим было принято решение о проведении второго этапа операции в ближайшие сроки.



**Рис. 6.** Внешний вид пациента на 3-и сутки после первого этапа операции  
**Figure 6.** The patient's appearance on the 3<sup>rd</sup> day after the first stage of the surgery

**Второй этап операции.** В декабре 2019 г. был выполнен второй этап операции на левом коленном суставе. Операция проводилась под контролем навигационной системы фирмы Stryker с установкой имплантата Zimmer Rotation Hinge Knee по аналогии с первым этапом операции. Исходное состояние коленного сустава в начале операции, согласно данным навигации, было представлено вальгусной деформацией от 5 до 9° (с учетом выполненного релиза), гиперэкстензией до 38° при максимальном сгибании до 148° (рис. 7).



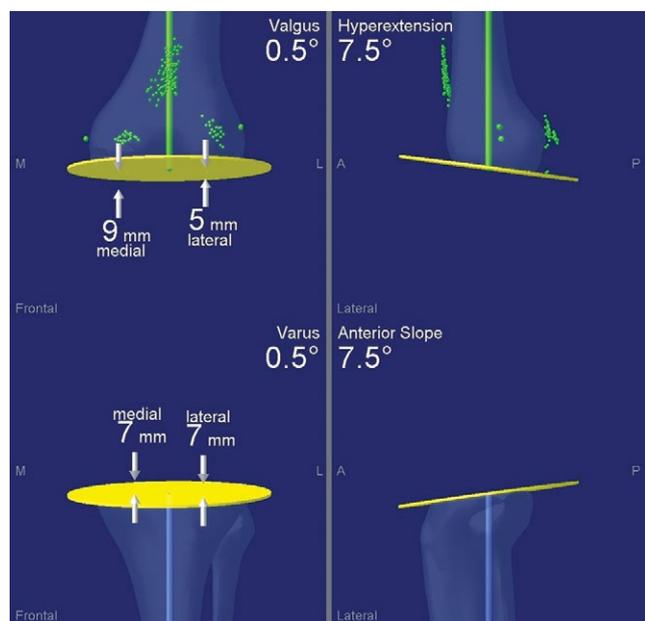
**Рис. 7.** Данные компьютерной навигации демонстрируют величину деформации, переразгибания и амплитуды движений перед выполнением второго этапа хирургического лечения  
**Figure 7.** Computer navigation data demonstrate the magnitude of deformity, hyperextension and range of motion before the second stage of the surgical treatment

Принимая во внимание опыт первой операции и результаты оценки деформации по данным компьютерной навигации, была выполнена резекция во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Резекция составила 10 мм для медиального и 5 мм для латерального мыщелков бедренной кости при наклоне в  $7,5^\circ$  в положении гиперэкстензии. Был выполнен симметричный проксимальный опил большеберцовой кости по 7 мм с каждого мыщелка с формированием переднего наклона  $7,5^\circ$  в сагиттальной плоскости (рис. 8). Размеры компонентов и стержней также были определены при помощи стандартного инструментария фирмы-производителя имплантата и данных компьютерной навигации по ходу операции. Положение компонентов в аксиальной плоскости также было выбрано по данным компьютерной навигации. В результате имплантат был установлен с уровнем максимальной гиперэкстензии  $11^\circ$  и максимальным сгибанием  $123^\circ$  при средней вальгусной деформации  $6,5^\circ$  (рис. 9). Итоговое время операции составило 1 ч. 54 мин., интраоперационная кровопотеря — 400 мл.

Послеоперационный период после второго этапа был проведен аналогично предыдущему. Течение раневого процесса и активизация проходили соответственно срокам и объему проведенного опе-

ративного вмешательства. Пациент был выписан на амбулаторный этап лечения, рана зажила первичным натяжением, швы сняты в стандартные сроки (рис. 10). В сроки 3, 6, 12 мес. и далее раз в год после операции пациенту выполняли контрольные рентгенограммы, оценивали его объективный и субъективный статуса.

На момент написания данного материала сроки наблюдения составляли 4 года (рис. 11). Пациент ходит с полной нагрузкой. Амплитуда пассивных движений в обоих коленных суставах составляет около  $130^\circ$ . Рецидивов нестабильности и гиперэкстензии не наблюдается. В качестве дополнительной опоры пациент использует трость при длительных прогулках. Походка соответствует стереотипу для пациентов с гиперэкстензией вследствие перенесенного полиомиелита, однако он может передвигаться без дополнительной опоры в помещении.



**Рис. 8.** Навигационные данные окончательной резекции дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости при проведении второго этапа операции

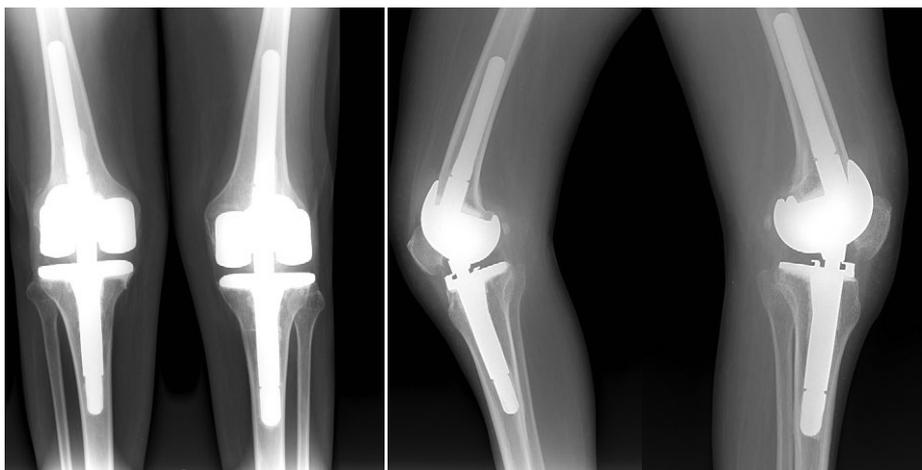
**Figure 8.** Computer navigation data on final resection of the distal femur and proximal tibia at the second TKA stage



**Рис. 9.** Окончательные данные компьютерной навигации после установки имплантата при эндопротезировании левого коленного сустава  
**Figure 9.** Final computer navigation data after implant installation during left knee arthroplasty



**Рис. 10.** Телерентгенограммы пациента после второго этапа операции  
**Figure 10.** The patient's long film X-rays after the second stage of the surgery



**Рис. 11.** Рентгенограммы через 4 года с момента второго этапа операции

**Figure 11.** X-rays taken over a period of 4 years after the second stage of the surgery

Субъективно пациент оценивает результаты проведенных операций как отличные. При оценке по опроснику KSS сумма баллов составляет 88, что также соответствует отличным результатам.

При попытке опоры на ногу без блокирования в положении гиперэкстензии пациент вынужденно падает ввиду нейромышечного дефицита. Однократно на сроке 6 мес. после второго этапа операции это привело к гемартрозу, краевому перелому надколенника. Пациент обратился за неотложной помощью — была выполнена лечебно-диагностическая пункция и рекомендована консервативная терапия, в том числе иммобилизация коленного сустава ортезом в течение 3 нед. На фоне проведенного лечения пациент вернулся к прежнему уровню двигательной активности.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Эндопротезирование коленного сустава у пациентов, перенесших полиомиелит, является методом выбора при лечении гонартроза с нестабильностью и болевым синдромом и также крайне сложной технической задачей [2, 5, 6, 7, 8, 9]. Помимо нестандартной внутрисуставной деформации коленного сустава и внесуставной деформации костей нижней конечности, для данных пациентов характерны диспластические изменения суставных поверхностей коленного сустава, нестабильность и рекурвация. Согласно данным систематического обзора А. Prasad с соавторами, опубликованного в 2018 г., частота ревизий после эндопротезирования коленного сустава у пациентов в резидуальной стадии полиомиелита составила 7% в течение 6 лет после операции [2].

Рекурвантная деформация коленного сустава встречается только у 0,5–1,0% пациентов с гонартрозом. Чаще всего рекурвация голени или гиперэкстензия коленного сустава встречаются у пациентов с вальгусными деформациями и слабостью связок, ревматоидным артритом, предшествующей остеотомией большеберцовой кости

и при нервно-мышечных заболеваниях, таких как полиомиелит. При тотальном эндопротезировании коленного сустава рекурвация может сопровождаться вальгусной или варусной деформацией, передним наклоном большеберцового плато и медиолатеральной нестабильностью, что может значительно затруднять достижение баланса в оперированном суставе и приводить к рецидиву рекурвантной деформации [10].

На разных этапах развития эндопротезирования хирурги предлагали различные способы решения этой задачи. В 1990 г. К.А. Krackow и А.Р. Weiss продемонстрировали способ коррекции рекурвации при эндопротезировании пациентов с полиомиелитом за счет заднего трансфера бедренных точек фиксации коллатеральных связок, при этом устанавливали как заднестабилизированные, так и связанные имплантаты. Однако данный метод требует длительной иммобилизации в послеоперационном периоде и сопряжен с высоким риском ятрогенных интраоперационных осложнений [11].

В последующем, по мере изучения данной проблемы наиболее важным вопросом стал выбор дизайна и степени связанности имплантата. У пациентов с рекурвацией вследствие полиомиелита голени формируется определенный стереотип походки, при котором они вынуждены «блокировать» колено в гиперэкстензии ввиду выраженного снижения силы квадрицепса, что значительно ограничивает применение ротационно-связанных конструкций. Также их применение может быть затруднено в связи с необходимостью использования стержней у пациентов с внесуставной деформацией каналов. При этом применение варус-вальгус-связанных, заднестабилизированных имплантатов и эндопротезов с сохранением задней крестообразной связки может приводить к рецидиву рекурвации в послеоперационном периоде и прогрессирующему ухудшению функции [5, 6, 7, 8, 9].

В.М. Patterson и J.N. Insall описали 9 клинических случаев применения заднестабилизированных и варус-вальгус-связанных имплантатов в сочетании с минимальной дистальной резекцией бедренной кости для уменьшения величины разгибательного промежутка. В данном исследовании у трех из четырех пациентов с рекурвацией голени в послеоперационном периоде произошел рецидив, и в одном случае потребовалась ревизия с установкой ротационно-связанного имплантата, что в последующем привело к хорошему функциональному результату со сроком наблюдения в 8 лет [5].

М.С. Moran представил клинический случай использования двух дистальных металлических блоков-аугментов по 6 мм бедренного компонента в сочетании с минимальной дистальной резекцией бедренной кости у пациентки с рекурвацией голени 40°. Несмотря на то, что данный метод гораздо безопаснее трансфера связок и гиперэкстензия была успешно скорректирована и не рецидивировала к моменту публикации (срок наблюдения 2 года), результат операции оставлял желать лучшего. Причиной этому послужило ухудшение функционального статуса за счет невозможности заблокировать коленный сустав в положении гиперэкстензии, уменьшения максимального сгибания в коленном суставе с 110 до 60° и относительного удлинения оперированной конечности на 1,5 см с необходимостью компенсации [6].

Другая группа авторов продемонстрировала серию из 17 операций эндопротезирования коленного сустава у 15 пациентов с последствиями полиомиелита. В 8 случаях были установлены варус-вальгус-связанные имплантаты по таким показаниям, как тяжелые вальгусные деформации, вальгусные деформации с плохим функциональным статусом, несостоятельность медиальной коллатеральной связки, нестабильность коленного сустава. При отсутствии этих показаний устанавливали заднестабилизированные имплантаты — также 8 случаев. Еще в одном случае был установлен ротационно-связанный имплантат, так как в процессе операции не удалось добиться стабильности за счет имплантации менее связанных конструкций. На среднем сроке наблюдения в 41,5 мес. в 95% случаев у прооперированных пациентов были зарегистрированы отличные и очень хорошие клинико-функциональные и рентгенологические результаты. По шкале KSS отмечалось улучшение с 33 (10–45) до 85 (73–92) баллов. Стоит отметить, что в данной выборке выраженная рекурвантная деформация была только у одного пациента [7].

Применение связанных имплантатов первого поколения продемонстрировало разочарываю-

щие функциональные результаты и высокую частоту раннего асептического расшатывания [12]. Помимо этого, дизайн этих имплантатов не допускает переразгибания, в связи с чем их применение у пациентов с нейромышечным дефицитом квадрицепса было недопустимым. Однако с появлением ротационно-связанных имплантатов второго поколения ситуация кардинально изменилась.

В 2009 г. итальянские исследователи опубликовали статью, в которой подробно описали проблему «блокирования» сустава при ходьбе у пациентов с последствиями полиомиелита и рецидива рекурвантной деформации после эндопротезирования. Принимая во внимание опыт предыдущих публикаций, они предложили методику установки ротационно-связанных имплантатов второго поколения с сохранением гиперэкстензии в коленном суставе около 3°. Данный метод позволил надежно предотвратить рецидив рекурвации в сочетании с сохранением способности «блокировать» сустав при ходьбе. У пяти из семи пациентов, которым была проведена такая операция, отмечались отличные результаты на сроке наблюдения от 2 до 8,5 лет [8].

J. Rahman с соавторами в 2014 г. продемонстрировали впечатляющие результаты применения модифицированной ротационно-связанной системы второго поколения. Суть модификации заключается в пятиградусной гиперэкстензии, заложенной в конструкцию эндопротеза. Методика была применена в 14 операциях у 13 пациентов. На средних сроках наблюдения в 72 мес. у пациентов не отмечалось рентгенологических признаков расшатывания. Ревизия была выполнена в одном случае по поводу перипротезного перелома. Несмотря на то, что средние показатели субъективной оценки пациентами своего статуса по опроснику OKS выросли с 10,6 до 30,7 баллов, авторы отметили, что объективно оценить функциональный статус пациентов невозможно ввиду того, что 6 из 13 пациентов продолжили использовать инвалидное кресло для передвижения, хотя 12 из 13 пациентов были «удовлетворены» и «очень удовлетворены» результатами операции [9].

Изобретение и внедрение в практику компьютерной навигации позволило добиться более предсказуемых результатов тотального эндопротезирования коленного сустава. Навигационные системы позволяют лучше сбалансировать промежутки, оценить величину и выполнить более точные пиления как по высоте, так и во фронтальной плоскости, определить положение компонентов в аксиальной плоскости, и, следовательно, лучше подобрать размеры имплантируемых компонентов. Так, А. Mullaji с соавторами проанализировали результаты 45 операций тотального эн-

допротезирования с компьютерной навигацией коленного сустава у 41 пациента с рекурвацией в дооперационном периоде. Средняя рекурвантная деформация была скорректирована с  $11^\circ$  (от  $6^\circ$  до  $15^\circ$ ) до средней сгибающей деформации  $3,1^\circ$  (от  $0^\circ$  до  $7^\circ$ ). На среднем сроке наблюдения в 26,4 мес. авторами сообщается о значительном улучшении средних показателей по шкале KSS и отсутствии рецидива рекурвации [10].

Обобщив описанные в литературе подходы к эндопротезированию пациентов, перенесших полиомиелит, а также пациентов с рекурвантной деформацией и принимая во внимание большой опыт применения компьютерной навигации, нами был сформирован план оперативного лечения, описанный в данном клиническом случае. Компьютерная навигация позволила поэтапно осуществлять резекцию костей, формируя, таким образом, должные промежутки. Она также позволила сформировать передней наклон большеберцового плато и опил в гиперэкстензии бедренной кости, установить стержни с учетом внесуставной деформации и в итоге установить ротационно-связанный имплантат второго поколения в таком положении гиперэкстензии, которое позволяет

пациенту комфортно передвигаться и не приводит к рецидиву рекурвации.

Рентгенологическая картина, объективный статус, уровень двигательной активности, результат субъективной оценки по опроснику KSS и общая удовлетворенность пациента результатами операций на сроке наблюдения в 4 года можно считать успешным клиническим опытом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном случае из практики нам удалось добиться хороших результатов эндопротезирования у пациента с двусторонней выраженной гиперэкстензией и вальгусной деформацией коленных суставов в резидуальном периоде полиомиелита. Проанализировав имеющиеся в мировой литературе данные, посвященные этой проблеме, был сформирован оригинальный способ установки ротационно-связанного эндопротеза коленного сустава второго поколения под контролем навигационной системы. Описанный в представленном клиническом случае способ может быть эффективным решением в лечении пациентов с гонартрозом в резидуальном периоде полиомиелита.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

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

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Дроздов С.Г., Иванова О.Е. Полиомиелит. *Вопросы вирусологии.* 2013;(1):76-90.  
Drozdzov S.G., Ivanova O.E. Poliomyelitis. *Problems of Virology.* 2013;(1):76-90. (In Russian).
2. Prasad A., Donovan R., Ramachandran M., Dawson-Bowling S., Millington S., Bhumbra R. et al. Outcome of total knee arthroplasty in patients with poliomyelitis: A systematic review. *EFORT Open Rev.* 2018 (6):358-362. doi: 10.1302/2058-5241.3.170028.
3. Compston A. Aids to the investigation of peripheral nerve injuries. Medical Research Council: Nerve Injuries Research Committee. His Majesty's Stationery Office: 1942; pp. 48 (iii) and 74 figures and 7 diagrams; with aids to the examination of the peripheral nervous system. By Michael O'Brien for the Guarantors of Brain. Saunders Elsevier: 2010; pp. [8] 64 and 94 Figures. *Brain.* 2010;133(10):2838-2844. doi: 10.1093/brain/awq270.

4. Иржанский А.А., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н. Валидация и культурная адаптация шкал оценки исходов заболеваний, повреждений и результатов лечения коленного сустава WOMAC, KSS и FJS-12. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(2):70-79. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-70-79. Irzhanski A.A., Kulyaba T.A., Kornilov N.N. Validation and cross-cultural adaptation of Rating Systems WOMAC, KSS and FJS-12 in patients with knee disorders and Injuries. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(2):70-79. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-70-79.
5. Patterson B.M., Insall J.N. Surgical management of gonarthrosis in patients with poliomyelitis. *J Arthroplasty*. 1992; (7) Suppl:419-426. doi: 10.1016/s0883-5403(07)80034-9.
6. Moran M.C. Functional loss after total knee arthroplasty for poliomyelitis. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(323): 243-246. doi: 10.1097/00003086-199602000-00033.
7. Jordan L., Kligman M., Sculco T.P. Total knee arthroplasty in patients with poliomyelitis. *J Arthroplasty*. 2007;22(4):543-548. doi: 10.1016/j.arth.2006.03.013.
8. Tigani D., Fosco M., Amendola L., Boriani L. Total knee arthroplasty in patients with poliomyelitis. *Knee*. 2009;16(6):501-506. doi: 10.1016/j.knee.2009.04.004.
9. Rahman J., Hanna S.A., Kayani B., Miles J., Pollock R.C., Skinner J.A. et al. Custom rotating hinge total knee arthroplasty in patients with poliomyelitis affected limbs. *Int Orthop*. 2015;39(5):833-838. doi: 10.1007/s00264-014-2572-y.
10. Mullaji A., Lingaraju A.P., Shetty G.M. Computer-assisted total knee replacement in patients with arthritis and a recurvatum deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 2012; 94(5):642-647. doi: 10.1302/0301-620X.94B5.27211.
11. Krackow K.A., Weiss A.P. Recurvatum deformity complicating performance of total knee arthroplasty. A brief note. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72(2):268-271.
12. Barrack R.L. Evolution of the rotating hinge for complex total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;(392):292-299. doi: 10.1097/00003086-200111000-00038.

#### Сведения об авторах

✉ **Мурьев Валерий Юрьевич** — д-р мед. наук, профессор  
 Адрес: Россия, 119991, г. Москва, ул. Трубечкая, д. 8, стр. 2  
<https://orcid.org/0000-0001-5753-8926>  
 e-mail: nmuril@yandex.ru

**Алексеев Семён Сергеевич** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0001-7599-7472>  
 e-mail: semen.alekseev.92@mail.ru

**Куковенко Григорий Андреевич** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0001-6700-0222>  
 e-mail: gkukovenko@gmail.com

**Елизаров Павел Михайлович** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>  
 e-mail: elizarov\_07@mail.ru

**Голубкин Дмитрий Олегович**  
<https://orcid.org/0000-0003-3293-0918>  
 e-mail: dima.golubkin02@yandex.ru

**Музыченков Алексей Владимирович** — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>  
 e-mail: amuzychenkov@inbox.ru

#### Authors' information

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

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

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

**Pavel M. Elizarov** — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>  
 e-mail: elizarov\_07@mail.ru

**Dmitriy O. Golubkin**  
<https://orcid.org/0000-0003-3293-0918>  
 e-mail: dima.golubkin02@yandex.ru

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

Case report

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17588>

## Inferior Medial Genicular Artery Pseudoaneurysm After Primary Total Knee Arthroplasty: A Case Report

Ahmed M. Abdelaal<sup>1</sup>, Ahmed A. Khalifa<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Assiut University Hospital, Assiut, Egypt<sup>2</sup> Qena faculty of medicine and University Hospital, South Valley University, Qena, Egypt

### Abstract

**Background.** Small genicular vessel injuries during primary total knee arthroplasty can pass unnoticed during the surgery and present late postoperatively.

**Case description.** We present a 65-year-old female patient, who was admitted three weeks after primary total knee arthroplasty with fresh bleeding from the lower end of the surgical wound. CT angiography showed a pseudoaneurysm of the inferior medial genicular artery which was treated at the same session by coil embolization.

**Conclusions.** A pseudoaneurysm of the inferior medial genicular artery can complicate primary total knee arthroplasty. An interventional radiologist assistance is necessary for diagnosis and management.

**Keywords:** inferior medial genicular artery, pseudoaneurysm, total knee arthroplasty.

**Cite as:** Abdelaal A.M., Khalifa A.A. Inferior Medial Genicular Artery Pseudoaneurysm After Primary Total Knee Arthroplasty: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):124-128. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17588>.

✉ Ahmed A. Khalifa; e-mail: [ahmed\\_adel0391@med.svu.edu.eg](mailto:ahmed_adel0391@med.svu.edu.eg)

Submitted: 12.07.2024. Accepted: 19.08.2024. Published online: 14.11.2024.

© Abdelaal A.M., Khalifa A.A., 2024

## Ложная аневризма медиальной нижней коленной артерии после эндопротезирования коленного сустава: клинический случай

А.М. Абделаал<sup>1</sup>, А.А. Халифа<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Assiut University Hospital, Асьют, Египет

<sup>2</sup> Qena faculty of medicine and University Hospital, South Valley University, Кена, Египет

### Реферат

**Актуальность.** Повреждения мелких сосудов при первичном тотальном эндопротезировании коленного сустава могут остаться незамеченными во время операции и проявиться в послеоперационном периоде.

**Описание клинического случая.** Пациентка 65 лет поступила в клинику через три недели после эндопротезирования коленного сустава с кровотечением в нижней части послеоперационной раны. КТ-ангиография показала ложную аневризму медиальной нижней коленной артерии, которая была устранена интервенционным рентгенологом при помощи спиральной эмболизации.

**Заключение.** Ложная аневризма медиальной нижней коленной артерии может осложнить первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава. Для ее диагностики и лечения необходима помощь интервенционного рентгенолога.

**Ключевые слова:** медиальная нижняя коленная артерия, ложная аневризма, тотальное эндопротезирование коленного сустава.

---

 **Для цитирования:** Абделаал А.М., Халифа А.А. Ложная аневризма медиальной нижней коленной артерии после эндопротезирования коленного сустава: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):124-128. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17588>.

 **Ахмед А. Халифа;** e-mail: ahmed\_adel0391@med.svu.edu.eg

Рукопись получена: 12.07.2024. Рукопись одобрена: 19.08.2024. Статья опубликована онлайн: 14.11.2024.

© Абделаал А.М., Халифа А.А., 2024

## INTRODUCTION

Vascular complications after total knee arthroplasty (TKA) are uncommon, occurring at an incidence of 0.03 to 0.50%, which is higher in revision surgeries [1, 2]. If occurred and diagnosed early, the complication can be managed sufficiently by percutaneous intervention maneuvers. However, if it is severe or missed, it might need vascular surgery intervention and can result in a limb amputation [2, 3].

Pseudoaneurysm formation after TKA most likely results from iatrogenic trauma during tibial cut either by the saw blade or a bluntly placed instrument [4]. The trauma can affect one of the major vessels, such as the popliteal artery, or one of the smaller branches, such as one of the genicular arteries, as reported in the literature [2, 4, 5].

We introduce a case of inferior medial genicular artery (IMGA) injury presented by pseudoaneurysm three weeks after primary TKA, which was performed for primary knee osteoarthritis.

## CASE DESCRIPTION

### History and patient information

A 65-year-old female complaining of chronic right knee pain was diagnosed with advanced primary knee osteoarthritis (OA). The patient underwent TKA under spinal anesthesia and tourniquet control. The surgery was performed through a medial parapatellar approach, using a manual instrument (an intramedullary rod to guide the distal femoral cuts, while the tibial cuts were performed using an extramedullary guide), and a cemented posterior stabilized prosthesis was implanted. The wound was closed in layers, and a suction drain was inserted.

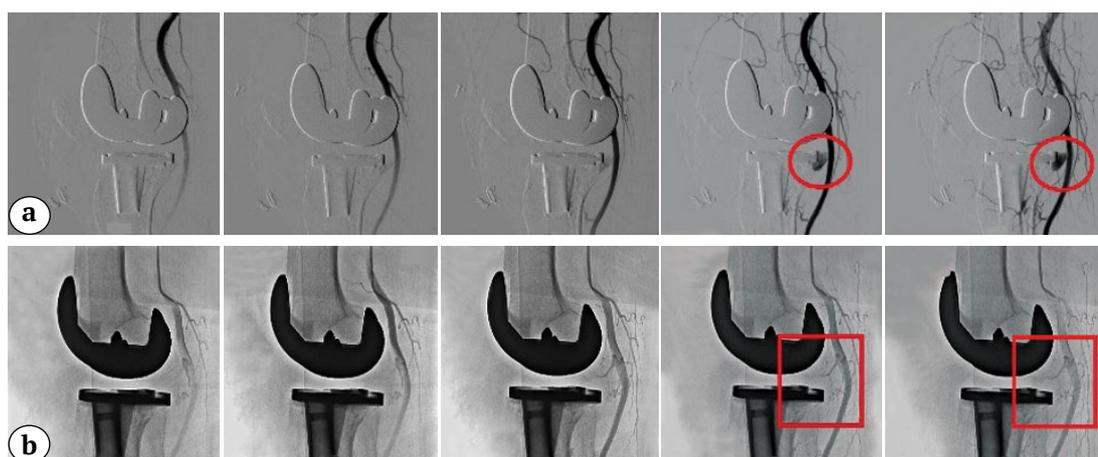
No intraoperative adverse events were reported. Postoperatively, the patient stayed in the hospital for two days. The drain was removed on the second postoperative day (the draining amount was 400 cm<sup>3</sup>), and there was no need for a blood transfusion. Before discharge, the wound was checked, and no abnormality was detected. Anticoagulation therapy in the form of aspirin 75 mg tablets twice daily was prescribed for three weeks.

### Clinical findings

The patient showed up in the clinic after two weeks for suture removal. She reported committing to the postoperative rehabilitation protocol under the supervision of a physiotherapist, and there was a gradual improvement in pain and knee motion. However, later on, after a week, the patient presented with fresh bleeding from the lower end of the wound. She denied any history of trauma or a change of the anticoagulation medication. The distal pulse was intact. There was a massive knee swelling, no hotness, a positive patellar tap test, and mild tenderness over the knee joint line. The wound was healed except for the lower end, where blood oozing was coming from.

### Diagnostic assessment and therapeutic intervention

After consultation, an intervention radiologist advised an immediate CT angiography with contrast. It revealed a contrast-filled lesion near the anteromedial border of the tibial insert, diagnosed as pseudoaneurysm originating from the IMGA and treated at the same session by endovascular coil embolization (Figure 1).



**Figure 1.** CT angiography with contrast delineates a pseudoaneurysm of the inferior medial genicular artery:

a – pre-embolization CT angiography images showing the knee prosthesis and leakage of the contrast material near the border of the tibial insert (red circle);

b – post-embolization CT angiography images showing sealing and obliteration of the pseudoaneurysm after coil embolization with no leakage of the contrast material (red squares)

## Follow-up and outcomes

The patient was advised to continue the rehabilitation protocol. A weekly evaluation of the knee for the first month was performed. The lower end of the wound healed without any further complications, and the knee swelling resolved within the first two weeks. No incidents of bleeding or swelling were reported till the last follow-up.

## DISCUSSION

Genicular arteries (lateral and medial, including the IMGAs) represent the main blood supply of the knee joints and originate mainly from the popliteal artery (PA) and the superficial femoral artery (SFA) [6].

Vascular injuries during TKA are rare and occur more commonly during revision surgery. These can be a direct injury of one of the major vessels (PA and SFA) or any of the smaller genicular branches, presenting as a pseudoaneurysm [2, 3]. Risk factors for pseudoaneurysm formation are not well documented. However, previous vasculopathy (in patients with diabetes or peripheral vascular disease), atherosclerosis, and female gender were proposed as possible predisposing factors [2, 4].

Clinical presentation can be recurrent knee swelling (hemarthrosis), bruising, pulsatile mass,

or fresh bleeding, which can be acute, subacute, or chronic (commonly occurring if small vessels are involved) [1]. In the current case, we believe that the initial IMGAs injury was plugged by a small clot that was dislodged when the patient increased her activities after suture removal, which led to recurrent bleeding.

Proper management involves accurate diagnosis by early suspicion and the help of a vascular surgeon or interventional radiologist. Definitive management relies mainly on the type of the vessel injured. It can range from direct vascular repair or bypass if a major vessel was involved to percutaneous procedures such as cauterization, stenting, and embolization, which was performed in the current case [1, 5, 6].

## CONCLUSIONS

Although vascular injuries during total knee arthroplasty are rare, if passed unnoticed, they can be devastating, leading up to limb amputation. Injury of the smaller branches, including the inferior medial genicular artery, can occur, which might present with knee swelling and fresh bleeding. Minimally invasive management techniques such as percutaneous embolization in collaboration with the interventional radiology team are safe and effective.

## DISCLAIMERS

### Acknowledgments

We would like to thank Prof. Dr. Mostafa Hashim (intervention radiologist) for his guidance and effort.

### Author contribution

Ahmed M. Abdelaal — study concept, drafting the manuscript, editing the manuscript.

Ahmed A. Khalifa — data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, 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.

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Благодарность

Мы благодарим профессора д-ра Мустафу Хашима (рентгенолога) за его помощь в исследовании.

### Заявленный вклад авторов

Ахмед М. Абделаал — концепция исследования, написание текста рукописи, редактирование текста рукописи.

Ахмед А. Халифа — сбор данных, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

## REFERENCES

1. Nicolino T.I., Costantini J., Astore I., Yacuzzi C.H., Astoul Bonorino J., Costa Paz M. et al. Incidence of vascular injury associated with knee arthroplasty: series of cases. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024;34(7):3735-3742. doi: 10.1007/s00590-023-03814-5.
2. Sundaram K., Udo-Inyang I., Mont M.A., Molloy R., Higuera-Rueda C., Piuizzi N.S. Vascular Injuries Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JBJS Rev.* 2020;8(1):e0051. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00051.
3. Petis S.M., Johnson J.D., Brown T.S., Trousdale R.T., Berry D.J., Abdel M.P. Catastrophic Vascular Injury After Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics.* 2022;45(6): 340-344. doi: 10.3928/01477447-20220907-02.
4. Puijk R., Rassir R., Kaufmann L.W., Nolte P.A. A Pseudoaneurysm of the Inferior Lateral Geniculate Artery Following Total Knee Arthroplasty. *Arthroplast Today.* 2022;15(9):120-124. doi: 10.1016/j.artd.2022.03.017.
5. Daniels S.P., Sneag D.B., Berkowitz J.L., Trost D., Endo Y. Pseudoaneurysm after total knee arthroplasty: imaging findings in 7 patients. *Skeletal Radiol.* 2019;48(5): 699-706. doi: 10.1007/s00256-018-3084-4.
6. Liu S., Swilling D., Morris E.M., Macaulay W., Goltzarian J., Hickey R. et al. Genicular Artery Embolization: A Review of Essential Anatomic Considerations. *J Vasc Interv Radiol.* 2024;35(4):487-496. doi: 10.1016/j.jvir.2023.12.010.

**Authors' information**

✉ Ahmed A. Khalifa, MD — Assistant Professor  
Address: Kilo 6 Qena-Safaga highway, 83523, Qena, Egypt  
<https://orcid.org/0000-0002-0710-6487>  
e-mail: ahmed\_adel0391@med.svu.edu.eg

Ahmed M. Abdelaal, MD  
<https://orcid.org/0000-0002-2573-1681>  
e-mail: aabdelaal61@yahoo.com

**Сведения об авторах**

✉ Ахмед А. Халифа — доцент  
Адрес: Kilo 6 Qena-Safaga highway, 83523, Qena, Egypt  
<https://orcid.org/0000-0002-0710-6487>  
e-mail: ahmed\_adel0391@med.svu.edu.eg

Ахмед М. Абделаал  
<https://orcid.org/0000-0002-2573-1681>  
e-mail: aabdelaal61@yahoo.com

## Посттравматическая оссификация связки надколенника у детей: серия клинических случаев

К.А. Картавенко<sup>1</sup>, В.И. Зорин<sup>1,2</sup>, С.А. Лукьянов<sup>1</sup>

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

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

### Реферат

**Актуальность.** Переломы костей, образующих коленный сустав у детей, являются достаточно редкими (до 6% от всех переломов костей). К их числу относят авульсивные переломы апекса надколенника и отрывные переломы бугристости большеберцовой кости, после которых может формироваться оссификация связки надколенника. Также, по данным литературы, оссифицирование связки надколенника может наблюдаться при ее первичных или хронических (полных либо частичных) разрывах. Подобное осложнение достаточно редко встречается в травматологии детского возраста, требует дифференциальной диагностики и различной хирургической тактики.

**Цель** — представить клинико-лучевую картину посттравматической оссификации связки надколенника у пациентов детского возраста и результаты хирургического лечения.

**Материал и методы.** Проведено изучение анамнестических, клинических, лучевых и гистологических данных 4 пациентов мужского пола.

**Результаты.** Средний возраст 14 (11–16) лет. Во всех случаях в анамнезе отмечалась травма. Первично, после получения травмы, пациенты проходили лечение по поводу ушиба коленного сустава. У одного из четырех пациентов, получившего травму при падении на область обоих коленных суставов, при поступлении под наблюдение авторов отмечалась двусторонняя патология, у трех пациентов оссификация связки надколенника представлена односторонней патологией. В клинической картине преобладали сгибательная контрактура и болевой синдром. Все пациенты оперированы в объеме от иссечения оссификатов до иссечения оссификатов с пластикой дефектов связки и рефиксацией бугристости большеберцовой кости с остеосинтезом. Контрактура коленного сустава у всех пациентов устранена до полного восстановления объема движений. Гистологически выявлялись фрагменты зрелой костной ткани, представленные местами истонченными костными балками с очаговой остеокластической реакцией и участками эндохондральной оссификации.

**Заключение.** Клиническая картина у пациентов детского возраста с оссификацией связки надколенника представлена симптомом комплексом функциональных и топографических нарушений нижней конечности: наличием оссификата связки надколенника, *patella alta*, болью в переднем отделе коленного сустава, сгибательной контрактурой и гипотрофией прямой мышцы бедра. Лучевые и данные МРТ определяют образование костной плотности с неровным четким контуром в проекции связки надколенника в сочетании с высоким его стоянием и увеличением индекса Caton–Deschamps (CDI) более 1,3. Основным методом лечения развившегося осложнения является хирургический, который приводит к восстановлению полной амплитуды движений в коленном суставе.

**Ключевые слова:** дети, травма, коленный сустав, связки, переломы надколенника, оссификация.

 **Для цитирования:** Картавенко К.А., Зорин В.И., Лукьянов С.А. Посттравматическая оссификация связки надколенника у детей: серия клинических случаев. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4): 129–139. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17511>.

 *Картавенко Кирилл Александрович*; e-mail: med-kart@yandex.ru

Рукопись получена: 24.03.2024. Рукопись одобрена: 13.06.2024. Статья опубликована онлайн: 14.11.2024.

© Картавенко К.А., Зорин В.И., Лукьянов С.А., 2024

Case report

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17511>

## Post-Traumatic Patellar Tendon Ossification in Children: A Case Series

Kirill A. Kartavenko<sup>1</sup>, Vyacheslav I. Zorin<sup>1,2</sup>, Sergey A. Lukyanov<sup>1</sup><sup>1</sup> H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

### Abstract

**Background.** Fractures of the bones that form the knee joint in children are quite rare, accounting for up to 6% of all bone fractures. These include avulsion fractures of the patellar apex as well as tibial tuberosity avulsion fractures, which may result in patellar tendon ossification. Based on literature, the ossification may also occur in cases of primary or chronic (complete or partial) patellar tendon tears. Such a complication is quite rare in pediatric traumatology; it requires differential diagnosis and various surgical tactics.

**The aim of the study** is to present a clinical and radiological picture of post-traumatic patellar tendon ossification in children and its surgical treatment outcomes using a case series as an example.

**Methods.** We present a monocenter retrospective series of 4 male patients. Anamnestic, clinical, radiological and histological data were analyzed.

**Results.** The patients' mean age was 14 (range, 11-16) years. In all cases, there was a history of trauma. Initially, after getting injured, the patients were treated for a knee injury. In one patient, as a result of his falling on 2 limbs, a bilateral pathology was observed; in other three cases, the pathology was unilateral. Flexion contracture and pain syndrome prevailed in the clinical picture. All patients underwent surgery ranging from excision of ossifications to excision of ossifications with reconstruction of tendon defects and refixation of the tibial tuberosity with osteosynthesis. In all cases, knee joint contracture was eliminated and the volume of movement was fully restored. Histology showed fragments of mature bone tissue represented by thinned bone beams with focal osteoclastic reaction and areas of endochondral ossification.

**Conclusions.** The clinical picture of pediatric patients with patellar tendon ossification manifests in the form of a chronic cascade of symptoms and functional and topographic disorders: patellar tendon ossification, patella alta, anterior knee pain, flexion contracture and rectus femoris muscle hypotrophy. X-ray and MRI data determine a formation of bone density with uneven clear contours in the projection of the patellar tendon, along with patella alta and the Caton-Deschamps index increasing more than 1.3. The primary treatment method of the developed complication is the surgical one, which leads to the restoration of the full amplitude of movements in the knee joint.

**Keywords:** children, trauma, knee joint, tendon, patellar fractures, ossification.

**Cite as:** Kartavenko K.A., Zorin V.I., Lukyanov S.A. Post-Traumatic Patellar Tendon Ossification in Children: A Case Series. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):129-139. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17511>.

✉ Kirill A. Kartavenko; e-mail: med-kart@yandex.ru

Submitted: 24.03.2024. Accepted: 13.06.2024. Published online: 14.11.2024.

© Kartavenko K.A., Zorin V.I., Lukyanov S.A., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Переломы костей, образующих коленный сустав, у детей являются достаточно редкими — до 6% от всех переломов костей, а на переломы верхушки надколенника в данной когорте пациентов приходится около 42% [1]. При отсутствии должных диагностики и лечения данной травмы, разрыва (полного или частичного) связки надколенника, а также после авульсивных переломов бугристости большеберцовой кости может формироваться оссификация связки надколенника [2, 3]. Оссификация связки надколенника после частичных и полных ее разрывов, а также авульсивных переломов переднего отдела коленного сустава проявляется наличием оссификата в толще связки, высоким стоянием *patella*, слабостью передней группы мышц бедра, сгибательной контрактурой [4].

Формирование участков оссификации в области коленного сустава встречается нечасто: наиболее распространенными локализациями в порядке убывания являются тазобедренный, коленный, плечевой и локтевой суставы. Известно, что оссификация возникает в области коленного сустава после эндопротезирования, интрамедуллярного остеосинтеза, реконструкции передней крестообразной связки (ПКС) и травмы коленного сустава, не сопровождающейся переломами [5, 6].

Учитывая редкость оссификации в области связки надколенника после перенесенной травмы у детей и подростков, представленная клиническая серия может быть интересна специалистам, оказывающим помощь детям с травмами и заболеваниями скелета.

*Цель* — представить клинико-лучевую картину посттравматической оссификации связки надколенника, хирургическую тактику и результаты лечения на примере клинической серии пациентов детского возраста.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находились четыре пациента мужского пола, средний возраст которых составил 14 (11–16) лет. Проведен анализ анамнестических, клинических, лучевых, лабораторных данных, особенностей и результатов хирургического лечения. Основные характеристики группы отражены в таблице 1.

*Анамнез.* Все пациенты отмечали факт травмы в анамнезе — падение на область передней поверхности коленных суставов. По поводу травмы пациенты обращались к травматологу, лечились амбулаторно с диагнозом «ушиб коленного сустава».

В лечении троих пациентов применялась иммобилизация лонгетными повязками. Продолжительность иммобилизации, согласно анамнестическим данным, составляла от 2 до 4 нед. Далее пациентам был рекомендован курс лечебной физкультуры. Один из пациентов, со слов родителей, получал только физиотерапевтическое лечение (УВЧ, магнитотерапию). Средний срок с момента травмы до поступления пациентов под наблюдение авторов по поводу патологической оссификации составил 31 (15–55) мес.

*Клиническая картина.* Всех пациентов беспокоил болевой синдром до 3–4 баллов по ВАШ, локализующийся в проекции коленного сустава либо выше, купирующийся самостоятельно и в покое. Трое из четырех больных предъявляли жалобы на невозможность бегать и выполнять резкие стартовые нагрузки из любого положения при использовании в качестве толчковой травмированную конечность. Пациенты с односторонней травмой жаловались на разницу в окружности бедер, обусловленную гипотрофией прямой мышцы бедра. У пациентов отмечалось ограничение разгибания в коленном суставе. Ни одного из подростков не беспокоило наличие оссификата/уплотнения связки надколенника, ощущение инородного тела в полости коленного сустава.

В исследовании была использована адаптированная и валидированная русскоязычная версия функциональной шкалы Pedi-IKDC [7]. Средний показатель функции коленного сустава при поступлении по этой шкале составил 75 (72–78) баллов. Вывихов надколенника в анамнезе не отмечал ни один пациент.

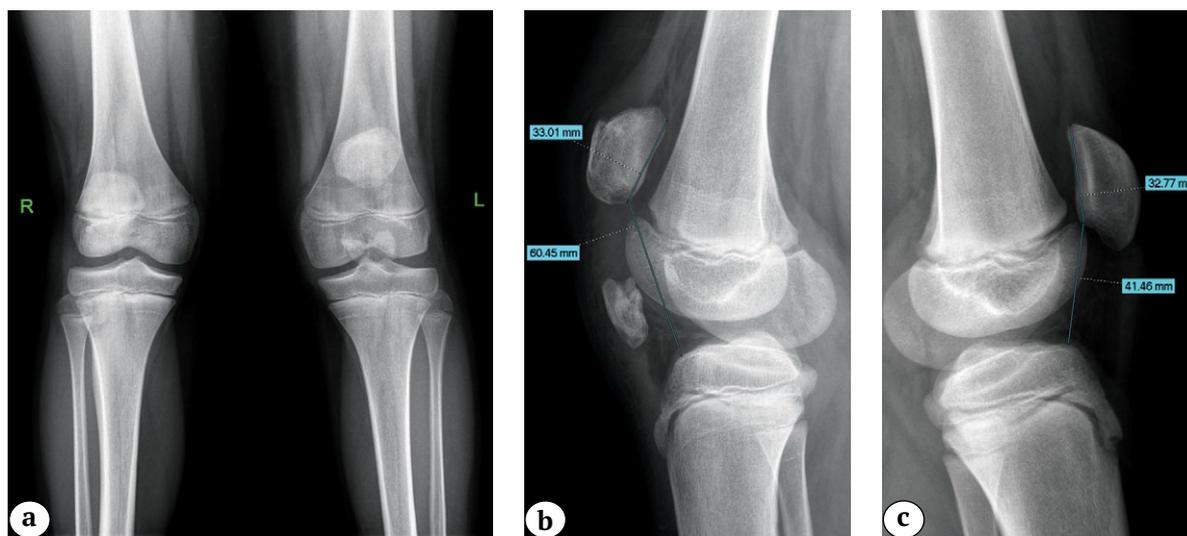
При клиническом осмотре: ось конечностей сохранена, надколенник стабилен. Обращало на себя внимание высокое положение надколенника на больной конечности. У пациента с двусторонней патологией *patella alta* отмечалась с двух сторон. Пальпаторно в проекции связки надколенника в толще ткани на уровне суставной щели определялось болезненное патологическое образование костной плотности. Объем движений в коленном суставе отражен в таблице 1.

*Лучевая картина.* На рентгенограммах коленного сустава, выполненных в двух проекциях, у всех пациентов в проекции связки определялись костной плотности образования с неровным четким контуром в сочетании с высоким стоянием надколенника в прямой и боковой проекциях с увеличением индекса Caton–Deschamp (CDI) более 1,3 (рис. 1). Характеристика визуализируемых образований представлена в таблице 2.

Таблица 1

Клинико-anamнестические характеристики пациентов

Пациент	Возраст на момент травмы, лет	Возраст при поступлении под наблюдение авторов, лет	Длительность клинических проявлений заболевания до поступления под наблюдение авторов, мес.	Первичный диагноз после получения травмы	Сторона поражения	Лечение травмы	Боль макс. баллы по ВАШ/Pedi-КДС	Ведущая жалоба	Амплитуда движений: разгибание-сгибание/вид и величина контрактуры, град.
1	11	12	15	Ушиб	Левая	Иммобилизация, ЛФК	4/72	Боль	5–135/ сгибательная 5
2	14	16	19	Ушиб	Правая + левая	Иммобилизация, НПВС, ЛФК	2/75	Нарушение стартовой функции	8–135/ сгибательная 8
3	12	15	33	Ушиб	Правая	Иммобилизация, ЛФК	3/78	Боль	6–135/ сгибательная 6
4	12	16	55	Ушиб	Правая	ФТЛ	3/76	Боль	5–135/ сгибательная 5



**Рис. 1.** Рентгенограммы коленных суставов с односторонней оссификацией связки надколенника: а – прямая проекция, *patella alta*, оссификаты в проекции связки надколенника; б – боковая проекция, травмированная конечность, *patella alta* (индекс Caton–Deschamp – 1,8), оссификат в проекции толщи связки надколенника; в – боковая проекция, здоровая конечность

**Figure 1.** X-rays of the knee joints with unilateral patellar tendon ossification: а – AP view, *patella alta*, ossifications in the projection of the patellar tendon; б – lateral view, an injured limb, *patella alta* (Caton-Deschamps index – 1.8), ossification in the projection of the patellar tendon thickness; в – lateral view, a healthy limb

## Морфологическая характеристика оссификатов связки надколенника

Пациент	Сторона поражения	Морфология оссификата	Расположение оссификата по отношению к связке надколенника	Размеры оссификата, мм (В×Ш×Г)
1	Левая	Полифрагментарный	Центральное	23,8×34,7×10,3
2	Правая + левая	Монофрагментарный	Дистальное	30,1×51,2×20,4 (правая) 30,1×39,1×19,3 (левая)
3	Правая	Монофрагментарный	Центральное	21,2×27,1×11,3
4	Правая	Полифрагментарный	Проксимальное	44,4×29,4×18,5

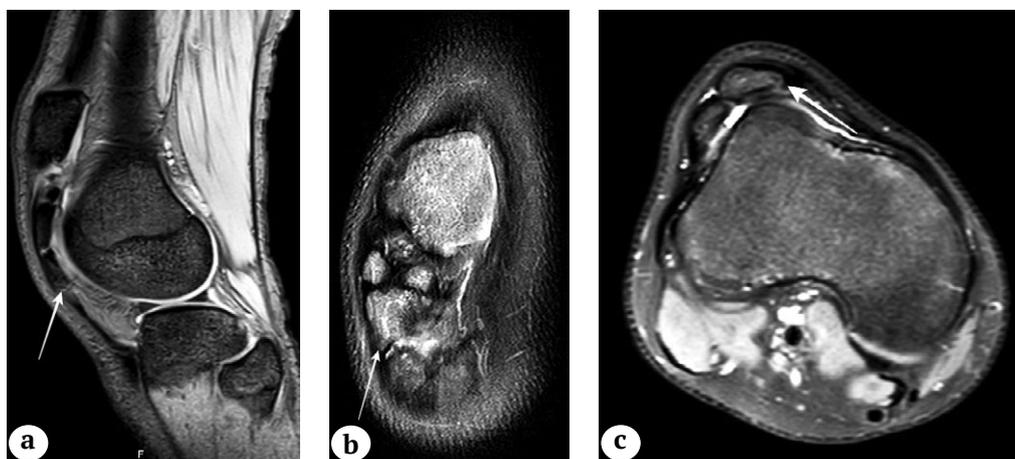
По данным МРТ в проекции связки на участке между бугристостью большеберцовой кости и надколенником определялись патологические образования костной плотности, при этом иногда сама связка между физиологической точкой фиксации и оссификатом не дифференцировалась (рис. 2). У трех пациентов по данным МРТ определялись признаки синовита коленного сустава.

Компьютерная томография отражает детально топографию, количество и геометрические характеристики оссификатов, позволяет спланировать последующее хирургическое лечение (рис. 3, 4).

Хирургическое лечение проведено во всех случаях. У пациента с двусторонней патологией хирургическое лечение выполнялось этапно и начиналось с лечения конечности с более выраженными клиническими проявлениями патологии. Этапность

(последовательная хирургия каждой конечности) определялась распространенностью оссификата и высокой вероятностью необходимости пластики собственной связки с последующей иммобилизацией. Целями операции являлось удаление оссифицированной ткани из толщи связки надколенника и полости коленного сустава, восстановление нормальных анатомических взаимоотношений в пателло-фemorальном сочленении, пластика связки надколенника, восстановление полной амплитуды движений в коленном суставе.

Трём пациентам с односторонним поражением сустава достаточно было выполнить удаление оссификата, открытое вправление надколенника путем его низведения. Дефект связки после иссечения оссификата восстанавливался местными тканями (рис. 5).



**Рис. 2.** МРТ коленного сустава у детей с оссификацией связки надколенника (сагиттальная, фронтальная и аксиальная проекции):

a — T2 режим (пациент 1), картина оссификата в проекции связки надколенника (обозначен стрелкой);  
b — T2 режим (пациент 4), многофрагментарный оссификат связки надколенника (обозначен стрелкой);  
c — T2 режим (пациент 2), срез на уровне наиболее широкой части оссификата (обозначен стрелкой), распространяющегося на всю ширину связки надколенника

**Figure 2.** MRI of the knee joint in children with patellar tendon ossification (sagittal, frontal and axial views):  
a — T2-weighted imaging (patient 1), ossification in the projection of the patellar tendon (indicated by an arrow);  
b — T2WI (patient 4), multifragmental patellar tendon ossification (indicated by an arrow);  
c — T2WI (patient 2), the cut at the level of the widest part of the ossification (indicated by an arrow), extending over the entire patellar tendon width



**Рис. 3.** Компьютерные томограммы коленных суставов с 3D-реконструкцией пациента 3:  
 а — двусторонняя патология;  
 б — в правом суставе визуализируется фрагмент оссификата с внутрисуставным расположением  
**Figure 3.** CT of the knee joints of patient 3 with 3D reconstruction:  
 а — bilateral pathology;  
 б — an ossification fragment with an intraarticular location is visualized in the right joint

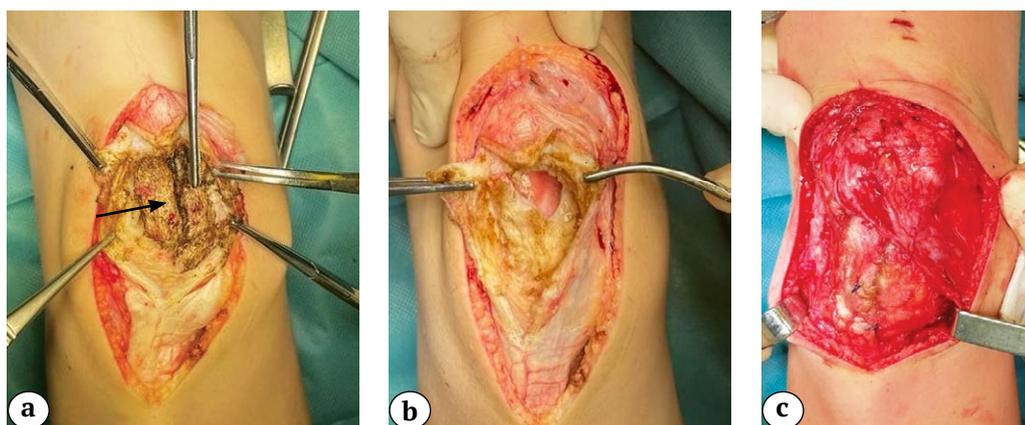


**Рис. 4.** Компьютерная томограмма коленных суставов с 3D-реконструкцией пациента 4: правосторонняя фрагментарная оссификация связки надколенника  
**Figure 4.** CT of the knee joints of patient 4 with 3D reconstruction: right-sided fragmentary patellar tendon ossification

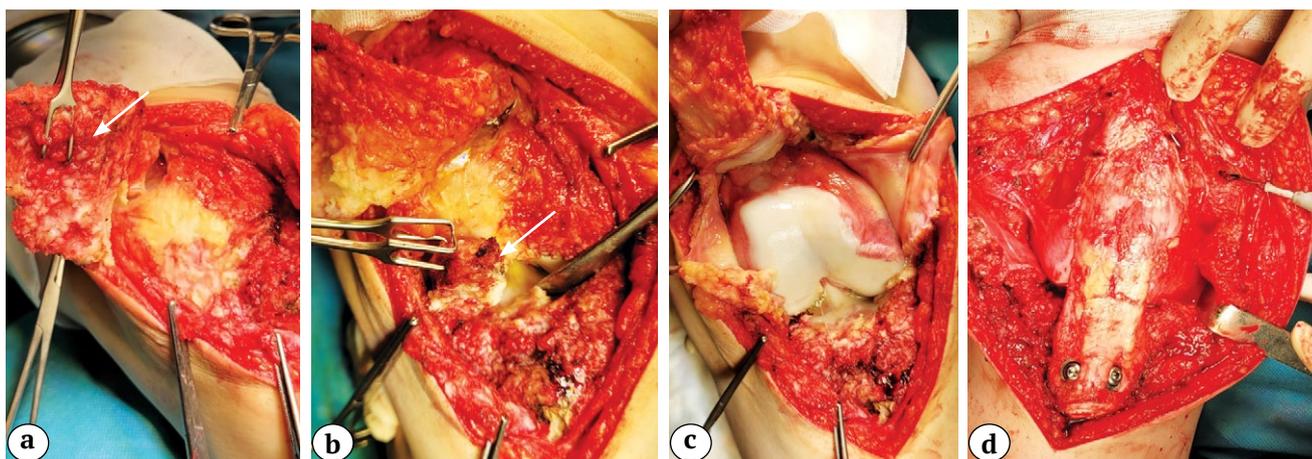
В одном случае у пациента с двусторонней патологией низведение надколенника было затруднено на фоне мышечной ретракции и рубцово-дистрофических изменений паралигаментозных и парapatеллярных тканей. В данном случае низведение надколенника в физиологическую позицию потребовало удлинения сухожилия прямой мышцы бедра (рис. 6). Обязательным элементом операции являлась установка активного дренажа.

В послеоперационном периоде при реконструкции собственной связки и рефиксации бугристости

большеберцовой кости с остеосинтезом выполнялась ортезная иммобилизация в течение 2 мес. После снятия ортеза рекомендовался курс лечебной гимнастики с дробным дозированным увеличением амплитуды движений в коленном суставе, массаж нижних конечностей, физиотерапевтическая стимуляция передней группы мышц бедра, курс медикаментозной противовоспалительной терапии в течение 2 нед. (ибупрофен в дозировке, соответствующей возрасту, совместно с ингибитором протонной помпы эзомепразолом).



**Рис. 5.** Операция при односторонней оссификации связки надколенника (пациент 4):  
 а — внешний вид оссификата связки надколенника (оссификат обозначен стрелкой), *patella alta*;  
 б — вид раны после удаления оссификата;  
 с — состояние после низведения надколенника и пластики дефекта связки  
**Figure 5.** Surgery for single-sided patellar tendon ossification (patient 4):  
 а — appearance of the patellar tendon ossification (indicated by an arrow), *patella alta*;  
 б — wound appearance after removal of the ossification;  
 с — condition after bringing down the patella and its tendon defect reconstruction



**Рис. 6.** Хирургическое лечение пациента 3 с двусторонней оссификацией связки надколенника (правый коленный сустав):

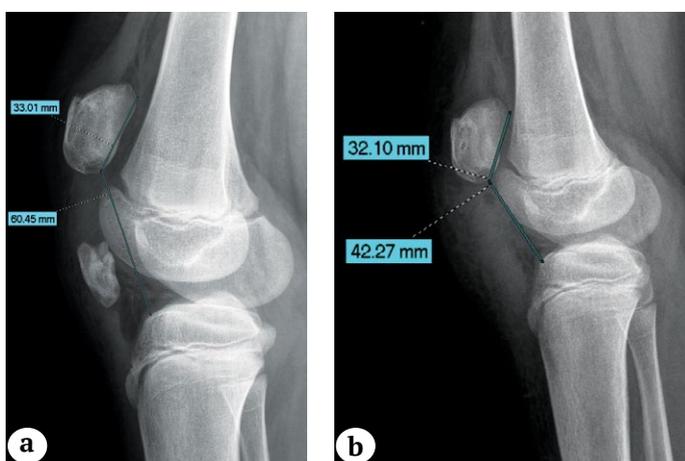
- a — экстраартикулярная часть оссификата (обозначен стрелкой) после мобилизации связки надколенника путем остеотомии оссификата у основания в проекции бугристости большеберцовой кости;
- b — интраартикулярная часть оссификата (обозначен стрелкой), серозный выпот из полости сустава;
- c — артротомия правого коленного сустава с иссечением фиброзированных участков капсулы с фрагментами оссификатов, внешний вид полости сустава с признаками хронического воспаления;
- d — вправление надколенника, фиксация основания интралигаментарной части оссификата в ложе бугристости большеберцовой кости после обработки контактирующих костных поверхностей долотами, остеосинтез двумя винтами

**Figure 6.** Surgery for patient 3 with bilateral patellar tendon ossification (right knee joint):

- a — extraarticular part of the ossification (indicated by an arrow) after patellar tendon mobilization by osteotomy of the ossification at its base in the projection of the tibial tuberosity;
- b — intraarticular part of the ossification (indicated by an arrow), serous effusion from the joint cavity;
- c — right knee arthrotomy with excision of the capsule fibrotic areas with ossification fragments, joint cavity appearance with signs of chronic inflammation;
- d — the patella reduction, fixation of the base of intraligamentous ossification part in the bed of the tibial tuberosity after processing the bone-contacting surfaces with chisels, two-screw osteosynthesis

Послеоперационный период у всех пациентов протекал без осложнений, швы сняты на 12–14-е сут. Раны зажили первичным натяжением. Низведение надколенника достигнуто во всех случаях (рис. 7), что подтверждено нормализацией значений индекса Caton–Deschamp (рис. 8). У всех пациентов после операции полностью устранена сгибательная контрактура коленного сустава.

Через 3 мес. после операции пациенты 1, 2, 4 полностью возобновили активный образ жизни, вернулись к привычным нагрузкам. Пациент 3 отметил улучшение функции нижней конечности с оперированной стороны, запланировано хирургическое лечение второго коленного сустава. Средний показатель по шкале Pedi-IKDC составил 82 балла.

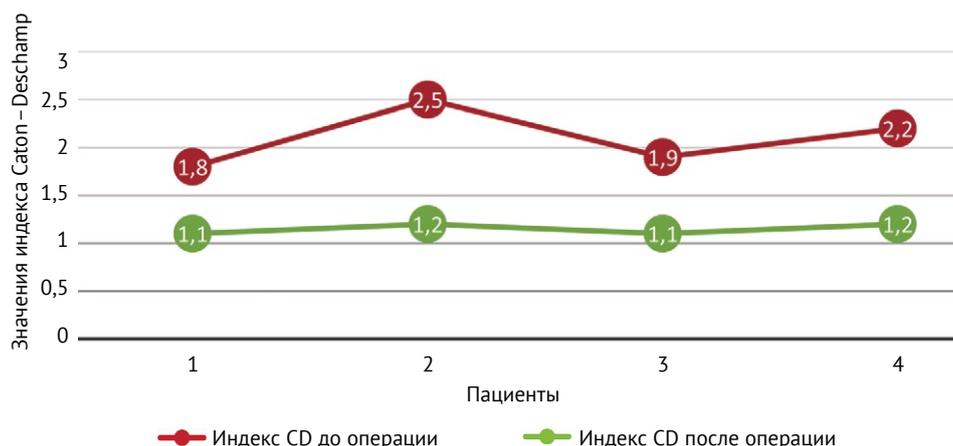


**Рис. 7.** Рентгенограммы коленного сустава в боковой проекции до и после хирургического лечения:

- a — до операции (индекс Caton–Deschamp — 1,8);
- b — после операции (индекс Caton–Deschamp — 1,1)

**Figure 7.** Lateral X-rays of the knee joint before and after surgical treatment:

- a — before surgery (Caton–Deschamps index — 1.8);
- b — after surgery (Caton–Deschamps index — 1.1)

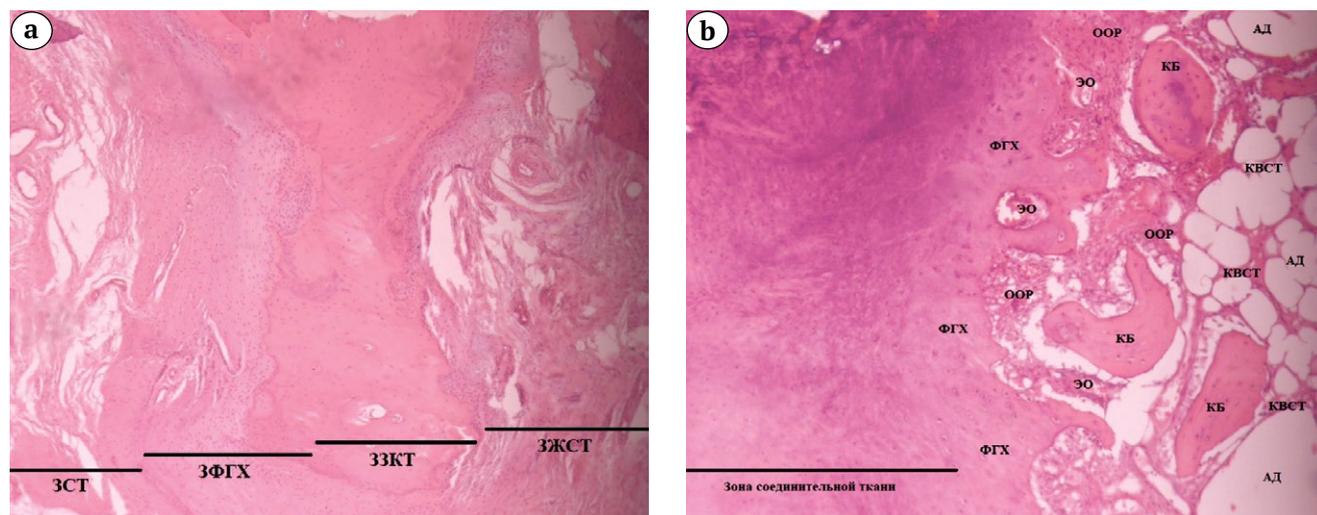


**Рис. 8.** Показатели индекса Caton – Deschamp до и после операции в клинической серии  
**Figure 8.** Caton-Deschamps index numbers before and after surgery in the case series

На сроке наблюдения в 6 мес. рецидивов оссификации не отмечено ни в одном случае, средний балл по шкале Pedi-IKDC составил 89.

Результаты гистологического исследования удаленных оссификатов выявили фрагменты зрелой костной ткани, представленные местами истонченными костными балками с очаговой остеокластической реакцией и участками эндохондральной оссификации. Их межтрабекулярное пространство

заполнено адипоцитами с фрагментами клеточно-волокнутой соединительной ткани. Наряду с этим к поверхности костных балок прилежат широкие участки формирующегося гиалинового хряща с многочисленными хондроцитами, расположенными поодиночке. Кроме того, в объеме исследуемого материала наблюдались фрагменты синовиальной оболочки с выраженной фиброзированной соединительнотканной стромой (рис. 9).



**Рис. 9.** Оссификат связки надколенника с включениями соединительной ткани и костной ткани различной степени морфологической зрелости:  
 а – микрофотография, ув.  $\times 10$ , ЗСТ – зона соединительной ткани, ЗФГХ – зона формирующегося гиалинового хряща, ЗЗКТ – зона зрелой костной ткани, ЗЖСТ – зона жировой и соединительной ткани;  
 б – микрофотография, ув.  $\times 20$ , КБ – костные балки зрелой костной ткани, ООР – очаговая остеокластическая реакция, ЭО – эндохондральная оссификация, АД – адипоциты, КВСТ – клеточно-волокнутой соединительная ткань, ФГХ – формирующийся гиалиновый хрящ; окраска гематоксилином и эозином

**Figure 9.** Patellar tendon ossification with inclusion of connective tissue and bone tissue at varying levels of morphological maturity:  
 а – photomicrography at a magnification of  $\times 10$ , ЗСТ – connective tissue zone, ЗФГХ – forming hyaline cartilage zone, ЗЗКТ – mature bone tissue zone, ЗЖСТ – adipose and connective tissue zone;  
 б – photomicrography at a magnification of  $\times 20$ , КБ – bone beams of mature bone tissue, ООР – focal osteoclastic reaction, ЭО – enchondral ossification, АД – adipocytes, КВСТ – cellular fibrous connective tissue, ФГХ – forming hyaline cartilage. Hematoxylin-eosin staining

## ОБСУЖДЕНИЕ

Оссификация связки надколенника, как правило, является следствием нелеченных авульсивных переломов верхушки надколенника, разрыва самой связки и травматического отрыва бугристости большеберцовой кости. Редкие публикации, описывающие клинические наблюдения, и полученные нами данные определяют некоторый симптомокомплекс, характерный для данного осложнения: наличие оссификата в толще связки надколенника, *patella alta*, боль в переднем отделе коленного сустава, умеренная сгибательная контрактура коленного сустава и гипотрофия прямой мышцы бедра [1, 2, 4, 8]. Также в литературе представлены случаи оссификации связки надколенника, связанные, по мнению авторов, с авульсивным переломом бугристости большеберцовой кости травматического генеза [9, 10], болезнью Осгуд–Шляттера [8, 11] и с непосредственным разрывом связки надколенника у пациентов подросткового возраста [12].

В представленной нами серии случаев морфологию изначальной травмы не удалось отследить, вместе с тем это были клинически манифестные эпизоды, заставившие пациентов обратиться к травматологу.

Определенный интерес представляет измерение рентгенологических показателей, характеризующих высоту стояния надколенника, в частности симптома *patella alta* [13], встречающегося при данной патологии. Выбор самых распространенных индексов оценки высокого стояния надколенника у детей ограничен незавершенной оссификацией бугристости большеберцовой кости и необходимой установкой референтной точки индекса измерения на нижней точке неоссифицированной бугристости [14, 15]. Индекс измерения *patella alta* Koshino–Sugimoto, разработанный для детей младшей возрастной группы, считается ненадежным у пациентов подросткового возраста ввиду линейных изменений ростковых зон бедренной и большеберцовой костей у пациентов, достигающих зрелости скелета [16]. Поэтому в своей работе мы используем индекс Caton–Deschamp, который исключает влияние положения дистальной точки апофиза бугристости большеберцовой кости на измерение и применим к пациентам старшего школьного возраста [17].

Публикации, посвященные описанной проблеме, немногочисленны. В отечественной литературе по искомой тематике печатных работ не представлено. Публикации зарубежных авторов охватывают период с 1973 по 2020 г. и в основном состоят из описания единичных случаев оссификации связки надколенника после перенесенного отрывного повреждения костных структур переднего отдела коленного сустава [4, 8, 12].

Оптимальная профилактика посттравматической оссификации связки надколенника у детей

должна включать раннее выявление и соответствующее хирургическое вмешательство, если на это указывают тяжесть симптомов и функциональные нарушения [8].

Для лечения последствий перечисленных травматических изменений большинство авторов предлагают индивидуально разработанный план хирургического вмешательства, основанный на функционально-анатомических изменениях коленного сустава и нижней конечности. Так, ряд авторов после удаления интралигаментарных оссификатов сшивали края связки надколенника, предварительно укрепив область дефекта ауто-трансплантатом из полусухожильной мышцы того же бедра, предварительно проведенным через нижний полюс надколенника и бугристость большеберцовой кости в виде цифры 8 [11, 18]. Другие авторы также использовали трансплантат из полусухожильной мышцы, но уже для V-Y-образной пластики сухожилия прямой мышцы бедра для низведения надколенника после удаления оссификата [4]. В представленной нами серии случаев при наличии дефекта связки надколенника после иссечения оссификата реконструкция выполнялась местными тканями с применением V-Y-пластики. Это необходимо учитывать уже на этапе доступа и скелетирования оссификата, сохраняя необходимый объем тканей для последующей пластики.

Результаты гистологических исследований удаленных оссификатов полностью сопоставимы с результатами, описанными в литературе. Так, S. Supreeth с соавторами выявили плотную ткань с оссифицирующимися участками, содержащую адипоциты, разделенные рыхлой волокнистой соединительной тканью [11]. С. Meyers с соавторами выявили характерное созревание костной ткани и пространственную зональность в толще оссификата, что также соответствует полученным нами данным [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клиническая картина у пациентов детского возраста с оссификацией связки надколенника представлена симптомокомплексом функциональных и топографических нарушений нижней конечности: наличием оссификата связки надколенника, *patella alta*, болью в переднем отделе коленного сустава, сгибательной контрактурой и гипотрофией прямой мышцы бедра. Лучевые и данные МРТ определяют образование костной плотности с неровным четким контуром в проекции связки надколенника в сочетании с высоким его стоянием и увеличение индекса Caton–Deschamp (CDI) более 1,3. Основным методом лечения развившегося осложнения является хирургический, который приводит к восстановлению полной амплитуды движений в коленном суставе.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ****Заявленный вклад авторов**

*Картавенко К.А.* — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание и редактирование текста рукописи.

*Зорин В.И.* — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, редактирование текста рукописи.

*Лукьянов С.А.* — поиск и анализ публикаций, написание и редактирование текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

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

**DISCLAIMERS****Author contribution**

*Kirill A. Kartavenko* — study concept and design, data acquisition and interpretation, drafting and editing the manuscript.

*Vyacheslav I. Zorin* — study concept and design, data acquisition and interpretation, editing the manuscript.

*Sergey A. Lukyanov* — literature search and review, drafting and editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

**ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]**

- Gao G., Mahadev A., Lee E. Sleeve Fracture of the Patella in Children. *J Orthop Surg.* 2008;16(1):43-46. doi: 10.1177/230949900801600111.
- Hunt D.M., Somashekar N. A review of sleeve fractures of the patella in children. *The Knee.* 2005;12(1):3-7. doi: 10.1016/j.knee.2004.08.002.
- Maguire J.K., Canale S.T. Fractures of the patella in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 1993;13(5):567-571.
- Damrow D.S., Van Valin S.E. Patellar Sleeve Fracture with Ossification of the Patellar Tendon. *Orthopedics.* 2017;40(2):357-359. doi: 10.3928/01477447-20161026-02.
- Mujtaba B., Taher A., Fiala M.J., Nassar S., Madewell J.E., Hanafy A.K. et al. Heterotopic ossification: radiological and pathological review. *Radiol Oncol.* 2019;53(3):275-284. doi: 10.2478/raon-2019-0039.
- Cakici H., Napa O., Ozturan K., Guven M., Yucel I. Patellar tendon ossification after partial patellectomy: a case report. *J Med Case Reports.* 2010;4:47. doi: 10.1186/1752-1947-4-47.
- Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Валидация и культурная адаптация шкалы Pedi-IKDC. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2021;9(2):143-151. doi: 10.17816/PTORS61685.  
Ivanov Ya.A., Eltsin A.G., Mininkov D.S. Validation and cultural adaptation of the Russian version of the Pedi-IKDC questionnaire. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2021;9(2):143-151. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS61685.
- Bruijn J.D., Sanders R.J., Jansen B.R.H. Ossification in the patellar tendon and patella alta following sports injuries in children: Complications of sleeve fractures after conservative treatment. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1993;112(3):157-158. doi: 10.1007/BF00449996.
- Panagopoulos A., Antzoulas P., Giakoumakis S., Konstantopoulou A., Tagaris G. Neglected rupture of the patellar tendon after fixation of tibial tubercle avulsion in an adolescent male managed with ipsilateral semitendinosus autograft reconstruction. *Cureus.* 2021;13:e15368. doi: 10.7759/cureus.15368
- Mareddu E., Corbaz J., Desmarchelier R., Traverso A. Bifocal Patellar Tendon Avulsion Fracture in a Child. *J Surg.* 2021;9(4):188-192. doi: 10.11648/j.js.20210904.18.
- Supreeth S., Al-Barwani A., Al Habsi I., Al Ghanami S., Al Abri Z., Al-Adawi K. A Rare Case of Heterotopic Ossification of the Patella Tendon in an Adolescent Presenting with Tendon Rupture. *Joints.* 2020;7(3):131-134. doi: 10.1055/s-0040-1712114.
- Laczay A., Csapó K. Ossification in the patellar ligament and Osgood-Schlatter's disease (author's transl). *Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed.* 1973;119(3):347-351. (In German).
- Kakazu R., Luczak S.B., Grimm N.L., Fitzsimmons K.P., Andrish J.T., Farrow L.D. et al. Patellar Tendon Imbrication for Patella Alta. *Arthrosc Tech.* 2021;11(1):e7-e12. doi: 10.1016/j.eats.2021.08.029.
- Insall J., Salvati E. Patella position in the normal knee joint. *Radiology.* 1971;101(1):101-104. doi: 10.1148/101.1.101.
- Blackburne J.S., Peel T.E. A new method of measuring patellar height. *J Bone Joint Surg Br.* 1977;59(2):241-242. doi: 10.1302/0301-620X.59B2.873986.
- Koshino T., Sugimoto K. New measurement of patellar height in the knees of children using the epiphyseal line midpoint. *J Pediatr Orthop.* 1989;9(2):216-218.
- Caton J., Deschamps G., Chambat P., Lerat J.L., Dejour H. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1982;68(5):317-325. (In French).

18. Biedert R.M., Tscholl P.M. Patella Alta: A Comprehensive Review of Current Knowledge. *Am J Orthop Belle Mead NJ*. 2017;46(6):290-300.

19. Meyers C., Lisiecki J., Miller S., Levin A., Fayad L., Ding C. et al. Heterotopic Ossification: A Comprehensive Review. *JBMR Plus*. 2019;3(4):e10172. doi: 10.1002/jbm4.10172.

---

**Сведения об авторах**

✉ *Картавенко Кирилл Александрович* — канд. мед. наук  
 Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин,  
 ул. Парковая, д. 64-68  
<https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>  
 e-mail: med-kart@yandex.ru

*Зорин Вячеслав Иванович* — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>  
 e-mail: zoringlu@yandex.ru

*Лукьянов Сергей Андреевич* — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-8278-7032>  
 e-mail: Sergey.lukyanov95@yandex.ru

---

**Authors' information**

✉ *Kirill A. Kartavenko* — Cand. Sci. (Med.)  
 Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin,  
 196603, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>  
 e-mail: med-kart@yandex.ru

*Vyacheslav I. Zorin* — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>  
 e-mail: zoringlu@yandex.ru

*Sergey A. Lukyanov* — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-8278-7032>  
 e-mail: Sergey.lukyanov95@yandex.ru

Case report

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17601>

## Simultaneous Bilateral Avascular Necrosis of the Humerus and Femur in Long COVID-19: A Case Report

Mesut Bakır, Şebnem Rumeli

Mersin University, Faculty of Medicine, Division of Algology, Mersin, Turkey

### Abstract

**Background.** The COVID-19 pandemic, caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), has prompted the widespread use of corticosteroids as a treatment strategy, particularly in cases of severe pneumonia and cytokine storm. While this therapy has saved countless lives, its side effects have also been well-documented, including the development of avascular necrosis.

**Case presentation.** This case report presents a rare instance of simultaneous bilateral avascular necrosis (AVN) affecting both the humeral and femoral heads in a 49-year-old male patient recovering from severe COVID-19. The patient was treated with high-dose corticosteroids, receiving 1250 mg of prednisolone over five days during hospitalization for COVID-19 pneumonia. Six months after discharge, he developed persistent hip pain, which was later diagnosed as AVN in both femoral heads. During hyperbaric oxygen therapy, the patient reported new shoulder pain, and MRI confirmed stage III AVN in both humeral heads. The patient's pain was managed with bilateral suprascapular nerve radiofrequency ablation and bilateral Pericapsular Nerve Group (PENG) blocks, which provided significant relief.

**Conclusions.** This case emphasizes the potential for corticosteroid-induced AVN, even months after treatment, and underscores the need for long-term monitoring of patients receiving corticosteroids for COVID-19. The involvement of four major joints highlights the severe musculoskeletal complications that can arise, supporting the importance of early diagnosis and timely intervention for pain relief.

**Keywords:** avascular necrosis, hip, shoulder, corticosteroid therapy, COVID-19 complications.

**Cite as:** Bakır M., Rumeli Ş. Simultaneous Bilateral Avascular Necrosis of the Humerus and Femur in Long COVID-19: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):140-145. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17601>.

✉ Mesut Bakır; e-mail: mesutbakir@gmail.com

Submitted: 23.08.2024. Accepted: 14.10.2024. Published online: 27.11.2024.

© Bakır M., Rumeli Ş., 2024



## Двусторонний аваскулярный некроз головок плечевых и бедренных костей как проявление постковидного синдрома: клинический случай

Месут Бакыр, Шебнем Румели

*Mersin University, Faculty of Medicine, Division of Algology, Мерсин, Турция*

### Реферат

**Актуальность.** Пандемия COVID-19, вызванная распространением коронавируса тяжелого острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2), привела к широкому применению кортикостероидов, особенно в случаях тяжелой пневмонии и гиперцитокинемии. Хотя эта терапия спасла бесчисленное множество жизней, уже накоплены сведения о ее побочных эффектах, включая развитие аваскулярного некроза костей.

**Описание случая.** Представлен редкий случай двустороннего аваскулярного некроза головок плечевых и бедренных костей у мужчины 49 лет, перенесшего тяжелую форму COVID-19. В качестве лечения пациенту назначались высокие дозы кортикостероидных препаратов — 1250 мг преднизолона в течение 5 дней во время госпитализации по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии. Спустя 6 мес. после выписки у пациента появились постоянные боли в области тазобедренного сустава, позднее диагностированные как аваскулярный некроз обеих головок бедренных костей. В ходе гипербарооксигенотерапии пациент также сообщил о возникшей боли в плече. Магнитно-резонансная томография подтвердила III стадию аваскулярного некроза обеих головок плечевых костей. Боль была устранена при помощи радиочастотной абляции надлопаточного нерва и блокады группы перикапсулярных нервов с обеих сторон, что значительно улучшило состояние пациента.

**Заключение.** Представленный случай подтверждает возможность развития аваскулярного некроза вследствие лечения кортикостероидами даже спустя месяцы после завершения терапии. В связи с этим необходимо уделять особое внимание долгосрочному наблюдению пациентов, принимавших кортикостероидные препараты в качестве лечения при COVID-19. Поражение четырех крупных суставов свидетельствует о потенциальных тяжелых последствиях данного осложнения для опорно-двигательного аппарата и подчеркивает важность ранней диагностики и своевременного вмешательства для купирования боли.

**Ключевые слова:** аваскулярный некроз, тазобедренный сустав, плечевой сустав, кортикостероидная терапия, постковидные осложнения.

**Для цитирования:** Бакыр М., Румели Ш. Двусторонний аваскулярный некроз головок плечевых и бедренных костей как проявление постковидного синдрома: клинический случай. *Травматология и ортопедия России.* 2024;30(4):140-145. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17601>.

Месут Бакыр; e-mail: mesutbakir@gmail.com

Рукопись получена: 23.08.2024. Рукопись одобрена: 14.10.2024. Статья опубликована онлайн: 27.11.2024.

© Бакыр М., Румели Ш., 2024

## INTRODUCTION

The COVID-19 pandemic, caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), has prompted the widespread use of corticosteroids as a treatment strategy, particularly in cases of severe pneumonia and cytokine storm [1]. The RECOVERY trial and subsequent studies have demonstrated that high-dose corticosteroid therapy, especially dexamethasone, reduces mortality in critically ill COVID-19 patients [2]. While this therapy has saved countless lives, its side effects have also been well-documented, including the development of avascular necrosis (AVN), also known as osteonecrosis, a debilitating condition caused by reduced blood flow to bone tissue, leading to bone death and joint collapse [3]. Corticosteroid-induced AVN has long been recognized as a complication in a variety of conditions, particularly after prolonged high-dose use [4].

Avascular necrosis most commonly affects weight-bearing joints such as the femoral heads, but in rare instances, it can involve other joints like the humerus, as well as multiple joints simultaneously [5]. Post-COVID-19 corticosteroid therapy has been associated with an increase in the incidence of AVN [6]. The association between corticosteroid therapy and AVN had been previously documented, most notably during the severe acute respiratory syndrome (SARS) pandemic in 2003. F.C. Zhao et al. followed patients with SARS for seven years and reported that corticosteroid use resulted in a significant number of cases of AVN, primarily in the femoral heads [7].

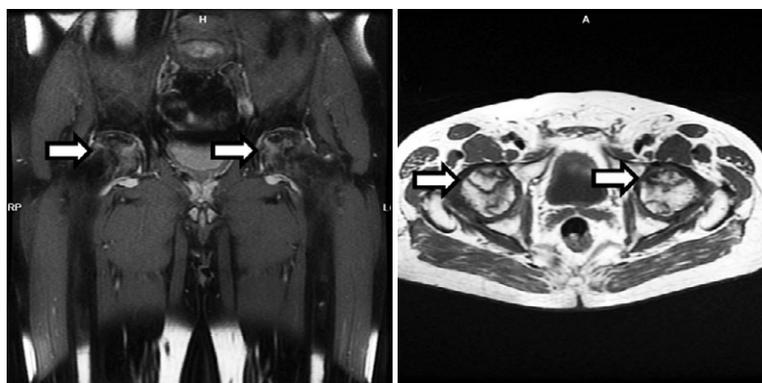
This case report describes a rare and severe manifestation of AVN involving four joints — the humeral heads and femoral heads — following high-dose corticosteroid therapy in a patient recovering from COVID-19. We also discuss the patient's pain management strategies, emphasizing the importance of early detection and intervention in preventing the progression of AVN.

## CASE PRESENTATION

The patient, a 49-year-old male, was admitted to the hospital in March 2022 for COVID-19 pneumonia. Due to the severity of his illness, he required intensive care unit (ICU) monitoring for five days, during which he received a cumulative dose of 1250 mg of prednisolone (250 mg per day). This high-dose corticosteroid therapy was administered to manage the severe inflammatory response associated with COVID-19 pneumonia.

Six months after being discharged, the patient began experiencing significant pain in his hip joints, particularly on the right side, as well as right-sided radicular pain. He was evaluated in both neurosurgery and orthopedic outpatient clinics. Initial diagnostic investigations included a lumbar spinal MRI, which revealed L4-L5 disc bulging, and a pelvic X-ray, which indicated osteoarthritis in the right hip joint. Despite these findings, electromyography of the lower extremities showed no abnormalities. The patient was prescribed Diclofenac, a non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID), to manage the symptoms, but the pain persisted.

Five months after the onset of the symptoms, a hip MRI was performed due to the persistent nature of the hip pain. The MRI revealed multiple areas of AVN in both femoral heads, with lesions measuring up to 3.5 cm in diameter (Figure 1). The patient was diagnosed with stage III AVN of the femoral heads according to the ARCO classification [8], indicating a late-stage presentation with femoral head collapse. In addition to hyperbaric oxygen therapy aimed at preserving joint function and delaying the need for surgical intervention, the patient was prescribed NSAIDs and physiotherapy. The physiotherapy included range-of-motion exercises to maintain joint mobility and reduce stiffness. Despite these interventions, the patient's pain persisted, necessitating further treatment options.



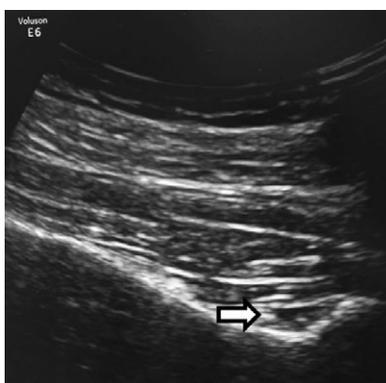
**Figure 1.** MRI revealing multiple areas of femoral head avascular necrosis (marked with white arrows)

During the course of hyperbaric oxygen therapy, the patient developed new shoulder pain, raising concerns about the possible progression of AVN to other joints. MRI of both shoulders confirmed the diagnosis of bilateral stage III AVN in the humeral heads (Figure 2). At this point, the patient was referred to our clinic for further evaluation and pain management.

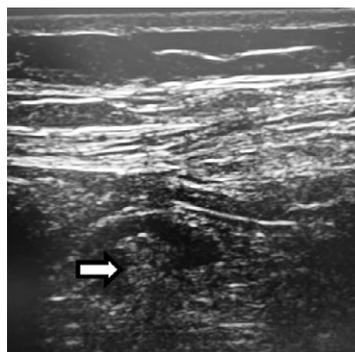


**Figure 2.** MRI revealing multiple areas of humeral head avascular necrosis (marked with white arrows)

Upon admission to our clinic, the patient underwent bilateral suprascapular nerve radiofrequency ablation to manage shoulder pain. Following the procedure, he was monitored for a period of 6 months. During this follow-up period, the patient experienced sustained pain relief, with an 80% reduction in shoulder pain based on the Visual Analog Scale (VAS). Additionally, the patient's shoulder function improved significantly, with an increase in range of motion and the ability to perform daily activities without discomfort. These clinical outcomes demonstrate the effectiveness of the procedure in providing long-term pain relief and functional improvement (Figure 3). For the persistent hip pain, bilateral Pericapsular Nerve Group (PENG) block was administered, providing an approximately 50% reduction in hip pain (Figure 4).



**Figure 3.** Ultrasound-guided suprascapular nerve radiofrequency ablation procedure. The white arrow indicates the targeted suprascapular nerve



**Figure 4.** Ultrasound-guided pericapsular nerve group block procedure. The white arrow highlights the pericapsular space being targeted to deliver local anesthetic for pain management in hip AVN

## DISCUSSION

The pathogenesis of corticosteroid-induced AVN is multifactorial, involving such mechanisms as fat embolism, increased intraosseous pressure, and direct cytotoxic effects on bone cells [9]. High-dose corticosteroid therapy leads to alterations in fat metabolism, resulting in fat emboli that obstruct blood vessels supplying bone tissue [10]. Reduced blood flow causes ischemia, leading to the necrosis of bone tissue and, eventually, joint collapse [11].

The association between corticosteroid therapy and AVN has been previously documented in viral outbreaks, most notably during the SARS pandemic in 2003 [12]. F.C. Zhao et al. followed 117 patients who received corticosteroid therapy for SARS and observed a 23% incidence of AVN in the femoral head, with 50 hips collapsing during a seven-year follow-up period [7]. Similar trends have emerged in the COVID-19 pandemic. S. Kamani et al. reported a case of bilateral AVN of the femoral heads following corticosteroid therapy for COVID-19, while M.A. Panin et al. described three cases of AVN in patients treated with steroids for COVID-19, with symptoms developing between 75 and 120 days after the treatment. These studies suggest that AVN may develop months after corticosteroid administration, even in patients who receive relatively short courses of therapy [6, 13].

In the present case, the patient developed AVN in both femoral and humeral heads, with symptoms appearing approximately six months after corticosteroid therapy. This extended time frame is consistent with the findings of S.R. Agarwala et al., who reported that the average duration of AVN development following corticosteroid therapy ranges from 6 to 33 months [14]. Early detection of AVN is crucial, as once joint collapse occurs, the only definitive treatment is surgical intervention, such as total joint replacement [15]. The patient was diagnosed with stage III AVN in both femoral heads, indicating collapse of the femoral heads as confirmed by MRI. Given the severity of the AVN, total joint replacement was considered; however, the decision was made to delay the surgical intervention. This choice was influenced by the patient's relatively

young age and the desire to preserve the native joints for as long as possible. The patient's symptoms were managed with hyperbaric oxygen therapy, NSAIDs, physiotherapy, and nerve blocks, which provided significant pain relief. The patient continues to be closely monitored, and total joint replacement will be reconsidered should conservative management fail or symptoms worsen.

The occurrence of AVN in multiple joints simultaneously, as seen in this case, is unusual and highlights the importance of long-term monitoring of patients who receive high-dose corticosteroids for COVID-19. Although the femoral heads are the most commonly affected sites, AVN can occur in any joint, including the shoulders, knees, and ankles [16]. In our patient, the simultaneous involvement of the femoral and humeral heads underscores the widespread impact that corticosteroids can have on bone tissue.

Given the increasing reports of AVN in COVID-19 patients, it is essential to develop strategies for minimizing the risk of corticosteroid-induced AVN [3]. W. Li et al. demonstrated that even low doses of corticosteroids can induce AVN in up to 32% of patients treated for COVID-19 pneumonia [17]. This finding suggests that corticosteroids should be used with caution, and their dosage and duration of use should be carefully optimized to minimize the risk of complications. V. Velchov et al. proposed the development of a risk stratification system for AVN in COVID-19 patients, which could help to identify individuals with a high risk of AVN and guide decisions regarding corticosteroid use [18].

In our case, the patient developed AVN in both the femoral and humeral heads, with symptoms appearing approximately six months after corticosteroid therapy. However, the diagnosis of AVN in the femoral heads was confirmed 11 months after the onset of hip pain

## DISCLAIMERS

### *Author contribution*

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

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

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

symptoms, making this a late-stage diagnosis rather than an early one. Although early detection of AVN is crucial to prevent joint collapse, in this case, the delay in diagnosis resulted in advanced-stage AVN requiring more aggressive intervention. This aligns with findings reported by A. Lohiya et al., who observed that delayed imaging in corticosteroid-induced AVN cases often leads to advanced disease stages and worsened outcomes [19]. Despite the late diagnosis, interventions such as hyperbaric oxygen therapy and nerve blocks were successful in providing pain relief and potentially delaying the need for surgical intervention, similar to the approach described in previous case studies by M. Wilson et al. [20]. This highlights the importance of timely imaging and diagnosis to improve outcomes in patients receiving corticosteroid therapy for COVID-19.

## CONCLUSIONS

This case report highlights such a severe musculoskeletal complication as avascular necrosis that can arise from high-dose corticosteroid therapy in the treatment of COVID-19. The simultaneous involvement of four major joints — the humeral and femoral heads — demonstrates the widespread impact that corticosteroids can have on bone tissue, even months after treatment. Early diagnosis and intervention are essential to prevent the progression of avascular necrosis and improve patient outcomes.

Clinicians should remain cautious for the development of avascular necrosis in patients recovering from COVID-19 who received corticosteroid therapy. Advanced pain management techniques, such as suprascapular nerve radiofrequency ablation and pericapsular nerve group blocks, can provide significant pain relief and improve quality of life in these patients.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### *Заявленный вклад авторов*

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

## REFERENCES

- Bahsoun A., Fakih Y., Zareef R., Bitar F., Arabi M. Corticosteroids in COVID-19: pros and cons. *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1202504. doi: 10.3389/fmed.2023.1202504.
- Horby P., Lim W.S., Emberson J.R., Mafham M., Bell J.L., Linsell L. et al. Dexamethasone in Hospitalized Patients with Covid-19. *N Engl J Med*. 2021;384(8):693-704. doi: 10.1056/NEJMoa2021436.
- Sakellariou E., Argyropoulou E., Karampinas P., Galanis A., Varsamos I., Giannatos V. et al. Comprehensive Review of COVID-19-Infection- and Steroid-Treatment-Associated Bone Avascular Necrosis: A Multi-Study Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(3):247. doi: 10.3390/diagnostics14030247.
- Powell C., Chang C., Naguwa S.M., Cheema G., Gershwin M.E. Steroid induced osteonecrosis: An analysis of steroid dosing risk. *Autoimmun Rev*. 2010;9(11):721-743. doi: 10.1016/j.autrev.2010.06.007.
- Koshi E.J., Young K., Mostales J.C., Vo K.B., Burgess L.P. Complications of Corticosteroid Therapy: A Comprehensive Literature Review. *J Pharm Technol*. 2022;38(6):360-367. doi: 10.1177/87551225221116266.
- Panin M.A., Petrosyan A.S., Hadjicharalambous K.K., Boiko A.V. Avascular necrosis of the femoral head after COVID-19: A case series. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(1):110-117. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1687.
- Zhao F.C., Guo K.J., Li Z.R. Osteonecrosis of the femoral head in SARS patients: seven years later. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2013;23(6):671-677. doi: 10.1007/s00590-012-1054-4.
- Koo K.H., Mont M.A., Cui Q., Hines J.T., Yoon B.H., Novicoff W.M. et al. The 2021 Association Research Circulation Osseous Classification for Early-Stage Osteonecrosis of the Femoral Head to Computed Tomography-Based Study. *J Arthroplasty*. 2022;37(6):1074-1082. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.009.
- Birla V., Vaish A., Vaishya R. Risk factors and pathogenesis of steroid-induced osteonecrosis of femoral head - A scoping review. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;23:101643. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101643.
- Xie X.H., Wang X.L., Yang H.L., Zhao D.W., Qin L. Steroid-associated osteonecrosis: Epidemiology, pathophysiology, animal model, prevention, and potential treatments (an overview). *J Orthop Translat*. 2015;3(2):58-70. doi: 10.1016/j.jot.2014.12.002.
- Parvizi J., Kim G.K. Chapter 22 - Avascular Necrosis. In: Parvizi J., Kim G.K., editors. *High Yield Orthopaedics*. Philadelphia: W.B. Saunders; 2010. p. 45-66.
- Ly H., de Vlas S.J., Liu W., Wang T.B., Cao Z.Y., Li C.P. et al. Avascular osteonecrosis after treatment of SARS: a 3-year longitudinal study. *Trop Med Int Health*. 2009;14 Suppl 1 (Suppl 1):79-84. doi: 10.1111/j.1365-3156.2008.02187.x.
- Kamani S., Lakhwani M.G., Phansopkar P. Undiagnosed Bilateral Avascular Necrosis of the Femur in a Young Male Caused by COVID-19 Steroid Injections. *Cureus*. 2022;14(10):e29982. doi: 10.7759/cureus.29982.
- Agarwala S.R., Vijayvargiya M., Pandey P. Avascular necrosis as a part of 'long COVID-19'. *BMJ Case Rep*. 2021;14(7):e242101. doi: 10.1136/bcr-2021-242101.
- Moya-Angeler J., Gianakos A.L., Villa J.C., Ni A., Lane J.M. Current concepts on osteonecrosis of the femoral head. *World J Orthop*. 2015;6(8):590-601. doi: 10.5312/wjo.v6.i8.590.
- Chan K.L., Mok C.C. Glucocorticoid-induced avascular bone necrosis: diagnosis and management. *Open Orthop J*. 2012;6:449-457. doi: 10.2174/1874325001206010449.
- Li W., Huang Z., Tan B., Chen G., Li X., Xiong K. et al. General recommendation for assessment and management on the risk of glucocorticoid-induced osteonecrosis in patients with COVID-19. *J Orthop Translat*. 2021;31:1-9. doi: 10.1016/j.jot.2021.09.005.
- Velchov V., Georgiev P., Tserovski S., Tsenkov T., Alexiev V. Corticosteroid-Associated Avascular Necrosis of the Femoral Head in Patients with Severe COVID-19: A Single-Center Study. *Med Sci Monit*. 2023;29:e940965. doi: 10.12659/MSM.940965.
- Lohiya A. Jr., Dhaniwala N., Dudhekar U., Goyal S., Patel S.K. A Comprehensive Review of Treatment Strategies for Early Avascular Necrosis. *Cureus*. 2023;15(12):e50510. doi: 10.7759/cureus.50510.
- Wilson M., Bindler R.J., Stanek K., Layton M.E., Quock R.M. Hyperbaric Oxygen Therapy for Pain, Opioid Withdrawal, and Related Symptoms: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Pain Manag Nurs*. 2022;23(5):616-624. doi: 10.1016/j.pmn.2022.03.001.

**Authors' information**

✉ Mesut Bakır, MD. Assoc. professor  
Address: Çiftlikköy, Mersin Ün.v., 33110 Yenişehir/Mersin,  
Turkey  
<https://orcid.org/0000-0002-3627-3882>  
e-mail: mesutbakir@gmail.com

Şebnem Rumeli, MD. Professor  
<https://orcid.org/0000-0002-7042-6934>  
e-mail: sebnemrumeli66@gmail.com

**Сведения об авторах**

✉ Месут Бакыр — доцент  
Адрес: Çiftlikköy, Mersin Ün.v., 33110 Yenişehir, Mersin,  
Turkey  
<https://orcid.org/0000-0002-3627-3882>  
e-mail: mesutbakir@gmail.com

Шебнем Румели — профессор  
<https://orcid.org/0000-0002-7042-6934>  
e-mail: sebnemrumeli66@gmail.com



## Использование мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга в комплексном лечении асептического некроза головки бедренной кости: систематический обзор литературы

А.Р. Закирова, А.Н. Торгашин, С.С. Родионова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»  
Минздрава России, г. Москва, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Асептический некроз головки бедренной кости (АНГБК) — инвалидизирующее заболевание, которое часто приводит к эндопротезированию тазобедренного сустава. В связи с ростом заболеваемости среди молодого населения были предложены различные методики органосохраняющего лечения, направленные на замедление прогрессирования АНГБК и сохранение функции тазобедренного сустава. На сегодняшний день много споров и разногласий вызывает процедура введения мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток костного мозга в очаг остеонекроза.

**Цель исследования** — систематический анализ накопленных данных литературы посвященных эффективности, безопасности, преимуществам и недостаткам лечения пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости методом туннелизации с использованием мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток костного мозга, а также их влиянию на снижение риска прогрессирования заболевания и отдаленные результаты лечения.

**Материал и методы.** Проведен поиск литературы глубиной 10 лет (2013–2023) в базах данных PubMed, Scopus и eLIBRARY. В соответствии с нашими критериями включения в обзор вошли 8 исследований с высоким уровнем доказательности, в которых изучали применение мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга для лечения АНГБК.

**Результаты.** Были проанализированы результаты хирургического лечения 368 пациентов (548 тазобедренных суставов) из 8 исследований. Средний период наблюдения составил от 24 до 360 мес. В большинстве случаев функциональные показатели улучшились. Рентгенологическое прогрессирование в следующую стадию произошло в 31,25% случаев, потребность в эндопротезировании составила 30,60% в основной группе, где использовали мезенхимальные стромальные клетки, в группе сравнения прогрессирование произошло в 68,75% случаев, потребность в эндопротезировании составила 69,40%.

**Заключение.** Использование мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в комплексном лечении асептического некроза головки бедренной кости на ранних (I, II, IIIA по ARCO) стадиях улучшает функцию тазобедренного сустава, замедляет прогрессирование заболевания и снижает необходимость в эндопротезировании.

**Ключевые слова:** асептический некроз головки бедренной кости, аутологичные клетки костного мозга, имплантация клеток костного мозга, концентрат аспирата костного мозга, мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, core-декомпрессия, туннелизация головки бедренной кости.

**Для цитирования:** Закирова А.Р., Торгашин А.Н., Родионова С.С. Использование мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга в комплексном лечении асептического некроза головки бедренной кости: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):146-156. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17489>.

✉ Закирова Алина Рамилевна; e-mail: alinazakirova30@mail.ru

Рукопись получена: 04.03.2024. Рукопись одобрена: 30.07.2024. Статья опубликована онлайн: 11.11.2024.

© Закирова А.Р., Торгашин А.Н., Родионова С.С., 2024



## Use of Multipotent Mesenchymal Stromal Cells as Part of Bone Marrow Concentrate in the Complex Treatment of Aseptic Necrosis of the Femoral Head: A Systematic Review

Alina R. Zakirova, Alexander N. Torgashin, Svetlana S. Rodionova

National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, Moscow, Russia

### Abstract

**Background.** Avascular necrosis of the femoral head (ANFH) is a disabling disease that often leads to hip replacement. Due to the increasing incidence among the young population, various methods of organ-preserving treatment aimed at slowing down the progression of ANFH and preserving the functions of the hip joint have been proposed. Today, there is a lot of controversy and disagreement over the procedure of introducing bone marrow-derived multipotent mesenchymal stromal cells (MMSCs) into the site of osteonecrosis.

**The aim of the study** – a systematic analysis of the accumulated literature data on the effectiveness, safety, advantages and disadvantages of treating patients with aseptic necrosis of the femoral head by the tunneling method using bone marrow-derived MMSCs, as well as their impact on reducing the risk of disease progression and long-term treatment results.

**Methods.** A 10-year literature search (2013-2023) was performed in the PubMed, Scopus and eLIBRARY databases. According to our inclusion criteria, the review included 8 high-quality studies that examined the use of MMSCs as part of bone marrow concentrate for the treatment of ANFH.

**Results.** The surgical outcomes of 368 patients (548 hips) from 8 studies were analyzed. The mean follow-up period was from 24 to 360 months. In most cases, functional indicators improved. In the main group, where mesenchymal stromal cells were used, X-ray progression to the next stage occurred in 31.25% of cases and the need for endoprosthetics was 30.6%; in the comparison group, the progression occurred in 68.75% of cases and the need for endoprosthetics was 69.4 %.

**Conclusion.** The use of multipotent mesenchymal stromal cells in the complex treatment of ANFH in the early (ARCO I, II, IIIA) stages of the disease can improve the hip joint function, slow down the progression of the disease and reduce the need for endoprosthetics.

**Keywords:** aseptic necrosis of the femoral head, autologous bone marrow cells, bone marrow cells transplantation, bone marrow aspirate concentrate, multipotent mesenchymal stromal cells, core decompression, tunneling of the femoral head.

---

**Cite as:** Zakirova A.R., Torgashin A.N., Rodionova S.S. Use of Multipotent Mesenchymal Stromal Cells as Part of Bone Marrow Concentrate in the Complex Treatment of Aseptic Necrosis of the Femoral Head: A Systematic Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):146-156. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17489>.

✉ Alina R. Zakirova; e-mail: [alinazakirova30@mail.ru](mailto:alinazakirova30@mail.ru)

Submitted: 04.03.2024. Accepted: 30.07.2024. Published online: 11.11.2024.

---

© Zakirova A.R., Torgashin A.N., Rodionova S.S., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Асептический некроз головки бедренной кости (АНГБК) — прогрессирующее инвалидизирующее заболевание, характеризующееся нарушением кровоснабжения и гибелью клеток костной ткани, сопровождающееся снижением качества жизни, временной нетрудоспособностью и нарушением функции тазобедренного сустава [1].

По данным зарубежных авторов, в США каждый год выявляется от 20 до 30 тысяч новых случаев остеонекроза головки бедренной кости, что, в свою очередь, способствует росту операций эндопротезирования [2]. По данным разных авторов, доля этих операций на фоне остеонекроза до эпидемии COVID-19 составляла от 5 до 18% от общего количества проводимых вмешательств [3, 4, 5]. После пандемии, согласно данным J.O. Okewunmi с соавторами, заболеваемость асептическим некрозом возросла, что привело к увеличению числа эндопротезирований тазобедренных суставов [6]. При этом каждая вторая такая операция, проводимая пациентам до 30 лет, выполняется по причине АНГБК [7]. Это связано с тем, что заболевание чаще всего развивается у молодых работоспособных людей в возрасте от 20 до 40 лет, при этом мужчины болеют в 3 раза чаще женщин [8]. Двустороннее поражение головок встречается примерно в 70% случаев [9].

Одной из распространенных причин развития АНГБК является применение глюкокортикостероидов, что стало причиной роста числа случаев АНГБК после начала пандемии COVID-19 [10, 11, 12]. Развитие асептического некроза возможно у пациентов после химио- и лучевой терапии, токсического воздействия алкоголя, травмы тазобедренного сустава. Кроме того, АНГБК может развиваться у пациентов с тромбофилией и аутоиммунными заболеваниями (геморрагический васкулит, рассеянный склероз, системная красная волчанка) и т.д. [13]. Если причина не установлена, можно говорить об идиопатической или первичной форме асептического некроза, частота которого составляет 20–40% [14].

Основным методом диагностики АНГБК на ранних стадиях является МРТ-исследование, которое позволяет выявить изменения в головке бедра до коллапса субхондральной кости [15]. Однако на ранних стадиях клинически пациента может ничего не беспокоить, а первые симптомы появятся, когда уже случится импрессия суставной поверхности головки бедренной кости, что зачастую приводит к поздней диагностике данного заболевания.

В случае выявления заболевания на стадии I–II (ARCO) [16] применяются препараты для улучшения кровоснабжения головки бедренной кости (антикоагулянты, антиагреганты), снижения ре-

зорбции костной ткани (бисфосфонаты, ингибиторы RANKL), препараты кальция и витамина D для восстановления кости [17, 18]. Однако в связи с недостатком количества крупных клинических исследований данные препараты применяются “off-label”, что затрудняет их использование.

На поздних стадиях остеонекроза основным методом лечения остается тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, которое получило широкое распространение как в России, так и за рубежом [19]. Однако, учитывая молодой возраст многих пациентов и высокие риски ранней нестабильности эндопротезов, в настоящее время ведутся поиски методов для максимальной отсрочки радикального оперативного вмешательства и сохранения сустава [20]. В этой связи органосохраняющие операции на ранних стадиях (I, II, IIIA по классификации ARCO) заболевания являются приоритетным направлением исследований [3].

Одной из таких операций является туннелизация головки и шейки бедренной кости, которая применяется около 50 лет с целью снижения внутрикостного давления и увеличения кровоснабжения, однако ее долгосрочная эффективность вызывает много споров и разногласий [21].

Дополнительное применение васкуляризованных трансплантатов после туннелизации показало многообещающие результаты [22], но из-за трудностей при выполнении операции и наличия последующих проблем в донорской области не получило широкого распространения [23].

Для улучшения результатов лечения в последнее десятилетие туннелизацию дополняют введением мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток, полученных из костного мозга или жировой ткани [24, 25]. Однако эффективность данной методики до настоящего времени обсуждается.

*Цель обзора* — систематический анализ накопленных данных литературы по эффективности, безопасности, преимуществам и недостаткам лечения пациентов с ранними стадиями асептического некроза головки бедренной кости методом туннелизации с использованием мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга, а также их влияние на снижение риска прогрессирования заболевания и отдаленные результаты лечения.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В базах данных PubMed, Scopus и электронной научной библиотеке eLIBRARY проведен поиск статей за последние 10 лет (2013–2023) по следующим ключевым словам: асептический некроз головки бедренной кости, аутологичные клетки костного мозга, имплантация клеток

костного мозга, концентрат аспирата костного мозга, мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, core-декомпрессия, туннелизация головки бедренной кости, osteonecrosis of the femoral head, bone marrow derived cell therapies, bone marrow aspirate concentrate, autologous bone marrow mononuclear cells, autologous implantation of bone marrow-derived, autologous bone marrow stem cells, autologous bone marrow cell implantation, autologous bone marrow concentrate, cell therapy, core decompression.

В наш анализ вошли исследования, которые соответствовали следующим критериям PICOS [26].

1. Популяция: пациенты с диагнозом АНГБК I–IV стадии в соответствии с классификацией ARCO или Ficat.

2. Вмешательство: в основной группе — туннелизация очагов остеонекроза с введением мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга; в группе сравнения — туннелизация очагов остеонекроза.

3. Результаты: проведение оценки по шкалам Harris (HNS), WOMAC, ВАШ, прогрессирование до следующей стадии, переход на эндопротезирование.

4. Дизайн исследования: исследования с высоким уровнем доказательности (РКИ, проспективные сравнительные когортные исследования).

*Критерии невключения:* полнотекстовые статьи III и ниже уровня доказательности согласно классификации Оксфордского центра доказательной медицины, отчеты о случаях, обзоры, эксперимен-

ты на животных, рефераты статей, тезисы, публикации реферативного характера, исследования, которые не содержали сравнения эффективности между основной и контрольной группами лечения АНГБК, исследования, в которых применялись мезенхимальные стромальные клетки для лечения других заболеваний.

Два эксперта извлекали данные независимо друг от друга, и любые разногласия обсуждались до тех пор, пока не был достигнут консенсус. Данные, извлеченные из исследований, были внесены в таблицу, включающую автора, год публикации, возраст, размер выборки, стадию заболевания, этиологические факторы, технику хирургического вмешательства, период наблюдения, выводы. Для оценки отдаленных результатов анализировали прогрессирование в следующую стадию заболевания, изменения оценки по шкалам HNS, WOMAC, ВАШ, переход на эндопротезирование тазобедренного сустава.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При поиске литературы в базах данных для проведения исследования было найдено 729 публикаций. Из них 503 публикации остались после исключения дубликатов, 98 публикаций были изучены, проведен анализ работ на соответствие критериям включения. После детального изучения было отобрано 8 полнотекстовых публикаций. По окончании рассмотрения исследований по критериям включения и невключения была составлена блок-схема (рис. 1).

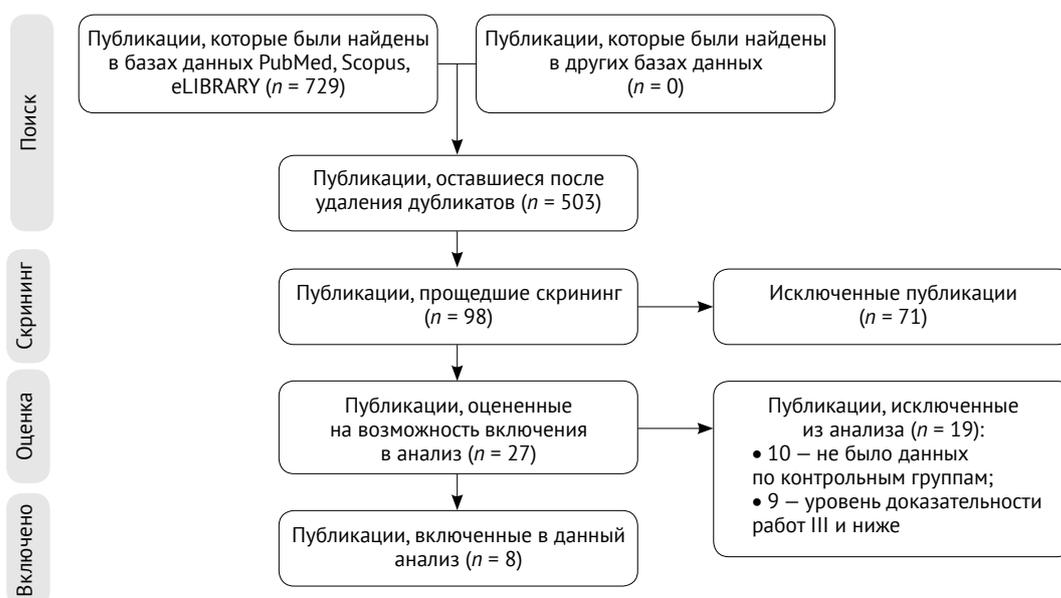


Рис. 1. Блок-схема исследования

Figure 1. Study design flowchart

Общее количество клинических наблюдений составило 368 пациентов (548 тазобедренных суставов) — от 18 до 125 пациентов (от 25 до 250 тазобедренных суставов). Сроки наблюдения составили от 24 до 360 мес. Общее количество тазобедренных суставов, прооперированных на I стадии по классификации ARCO — 151, на II стадии — 196, на III стадии — 54, на стадии IV — 2; по классификации Ficat: I — 7, II — 54, III — 29 (табл. 1). Пациенты во всех исследованиях были разделены на две группы, в основной группе пациентам выполнялась туннелизация с введением мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга, в группе сравнения — только туннелизация.

При проведении анализа было выявлено, что отдаленные результаты оценивали по изменениям в оценках по функциональным шкалам NHS, ВАШ и WOMAC, прогрессированию заболевания в следующую стадию и переходу на эндопротезирование тазобедренного сустава.

Количественный анализ изменений по шкале NHS был проведен в трех исследованиях, которые свидетельствуют о лучших показателях в группе с введением мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга. Оценка по шкале WOMAC проводилась в 5 исследованиях, и результаты в группе с введением мезенхимальных стромальных клеток были лучше, чем результаты группы с туннелизацией. Изменение показателя ВАШ, о котором сообщалось в 6 исследованиях, также показало значительное улучшение в группе с введением мезенхимальных стромальных клеток.

В результате анализа 8 исследований было выявлено, что прогрессирование заболевания и переход в следующую стадию наблюдались в общей сложности в 208 из 548 тазобедренных суставах. Их количество было ниже в основной группе, где лечили с применением мезенхимальных стромальных клеток и составило 31,25%. В группе сравнения прогрессирование произошло в 68,75% случаев. Потребность в эндопротезировании также была ниже в основной группе (30,6%). В группе сравнения в 69,4% случаев было выполнено эндопротезирование тазобедренного сустава. Всего в двух группах радикальное оперативное вмешательство проведено в 193 из 548 случаях (табл. 2).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Лечение АНГБК является сложной проблемой для врача травматолога-ортопеда, так как его широкая распространенность среди молодых пациентов требует раннего выявления и назначения лечения, которое позволит сохранить сферичность го-

ловки бедренной кости и отсрочить или избежать эндопротезирования.

В исследованиях, касающихся патогенеза АНГБК, было обнаружено, что в проксимальном отделе бедренной кости и вокруг зоны остеонекроза ослаблена регенерация костной ткани, что связано с низким количеством остеопрогениторных клеток [27, 28].

S. Song с соавторами в экспериментальном исследовании показали, что через 6 нед. после введения мезенхимальных периостальных клеток в очаги остеонекроза происходит образование костных трабекул, между которыми располагается фиброзная ткань, богатая кровеносными сосудами [29].

Эти данные позволили разработать новые подходы к лечению АНГБК, в основе которых лежит использование мезенхимальных стромальных клеток [30, 31]. Введение в очаг этих клеток позволяет усилить влияние на процесс остеогенеза за счет их паракринного действия (секреции высоких уровней цитокинов, хемокинов и факторов роста, которые стимулируют восстановление тканей), а их мультипотентность, возможно, позволяет дифференцироваться в остеогенные клетки, способствуя регенерации и ремоделированию костной ткани. Однако эти механизмы требуют дальнейшего изучения [32, 33, 34].

Впервые комбинация туннелизации с введением концентрата костного мозга была выполнена P. Hernigou в 1991 г. В своем исследовании со сроком наблюдения 5 лет он сделал выводы, что эффективность клеточной терапии зависит от стадии заболевания, а также от количества клеток костного мозга, введенных в очаг остеонекроза. Таким образом, результаты лечения были лучше у пациентов, которые были прооперированы до коллапса головки и которые получали большее количество остеопрогениторных клеток в аутологичном костном мозге [35]. Далее последовало несколько других исследований, в которых одни авторы сообщили о лучших результатах в группах, где использовали мезенхимальные стромальные клетки в составе концентрата костного мозга [36, 37, 38], а другие не выявили различий в динамике прогрессирования АНГБК между группами [39, 40].

В наше исследование мы включили только работы с высоким уровнем доказательности, в которых оценивается эффективность лечения АНГБК методом туннелизации с использованием мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата аспириата костного мозга, который является минимально манипулированным клеточным продуктом. Во всех включенных исследованиях культивирование клеток не производилось.

Таблица 1

## Основные характеристики включенных в обзор исследований

№	Автор	Дизайн исследования	Возраст пациентов, лет	Число пациентов	Стадия: количество суставов с этой стадией	Этиология	Техника операции	Период наблюдения, мес.
1	Perke W. et al., 2016 [39]	РКИ	Основная группа: 44,3 Группа сравнения: 44,5	24	ARCO II: 25	После химиотерапии: 2 После иммуносупрессивной терапии: 4	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: только туннелизация	24
2	Rastogi S. et al., 2013 [41]	Проспективное клиническое исследование	Основная группа: 34,7 Группа сравнения: 33,0	40	–	Стероидный: 18 Алкогольный: 8 Идиопатический: 26 Другое: 8	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: туннелизация + необработанный костный мозг	24
3	Tabatabaee R.M. et al., 2015 [42]	РКИ	29,08 (18–56) Основная группа: 31 Группа сравнения: 26,8	18	ARCO I: 5 ARCO II: 16 ARCO III: 7	Стероидный: 19 Идиопатический: 9	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: только туннелизация	24
4	Ma Y. et al., 2014 [43]	РКИ	35 (18–55) Основная группа: 35,6 Группа сравнения: 34,8	39	Ficat I: 7 Ficat II: 32 Ficat III: 10	Стероидный: 26 Алкогольный: 7 Идиопатический: 12	Основная группа: туннелизация + аутологичный костный трансплантат с концентратом костного мозга Группа сравнения: туннелизация + аутологичный костный трансплантат	24
5	Hemigou P. et al., 2018 [44]	РКИ	36 (18–54)	125	ARCO I: 138 ARCO II: 112	Стероидный: 125	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: туннелизация + физиологический раствор	240–360
6	Li M. et al., 2020 [45]	РКИ	Основная группа: 34,1 ± 8,0 Группа сравнения: 38,2 ± 8,1	31	Ficat II: 22 Ficat III: 19	Идиопатический: 11 Стероидный: 19 Алкогольный: 11	Основная группа: туннелизация + костная пластика + концентрат костного мозга Группа сравнения: туннелизация + костная пластика	120
7	Jayankura M.D. et al., 2023 [46]	РКИ	Основная группа: 46 ± 10 Группа сравнения: 45 ± 10	49	ARCO I: 8 ARCO II: 43 ARCO III: 1 ARCO IV: 2	Стероидный: 12	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: туннелизация + физиологический раствор	24
8	Hauzeur J.P. et al., 2018 [47]	РКИ	Группа сравнения: 49,7 ± 3,2 Основная группа: 48,0 ± 2,8	42	ARCO III: 46	Идиопатический: 4 Стероидный: 25 Алкогольный: 15 Другие: 2	Основная группа: туннелизация + концентрат костного мозга Группа сравнения: туннелизация + физиологический раствор	24

Таблица 2

Анализ результатов включенных в литературный обзор исследований

№	Автор	Вмешательство (n = количество суставов)	Функциональные результаты до операции			Функциональные результаты после операции			Протренирование, кол-во суставов	Переход на ЭП, кол-во суставов	Выводы
			HNS	WOMAC	ВАШ	HNS	WOMAC	ВАШ			
1	Repke W. et al., 2016 [39]	Туннелизация (n = 14)	62		5,8	78	2,8	8	6	Введение концентрата костного мозга оказалось неэффективным	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 11)	62		4,8	84	2,2	7	4		
2	Rastogi S. et al., 2015 [41]	Туннелизация + необработанный костный мозг (n = 30)	46,75					4	3	Использование концентрата костного мозга для лечения АНГБК является безопасной и эффективной процедурой	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 30)	47,08					0	0		
3	Tabatabaee R.M. et al., 2015 [42]	Туннелизация (n = 14)		35,9±2,7	38,6±4,6	27,2±3,7	32,0±4,4	10	3	Туннелизация с введением концентрата костного мозга может быть эффективной терапией на ранних стадиях АНГБК	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 14)		32±3,8	35,9±4,5	9,7±1,7	16,0±2,5	0	0		
4	Ma Y. et al., 2014 [43]	Туннелизация + аутологичный костный трансплантат (n = 24)			35,21±3,41		26,46±2,60	8	4	Введение концентрата костного мозга в сочетании с туннелизацией эффективно для предотвращения дальнейшего прогрессирования АНГБК на ранних стадиях	
		Туннелизация + аутологичный костный трансплантат + концентрат костного мозга (n = 25)		27,77±4,23	35,58±4,21	14,81±2,99	16,92±5,66	2	2		
5	Hermigou P. et al., 2018 [44]	Туннелизация (n = 125)	78,0±5,25		41,2±6,5	83,0±4,25	27,0±4,4	90	95	Туннелизация с введением костного мозга улучшила исход заболевания по сравнению с туннелизацией.	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 125)	76,0±4,25		40,5±5,2	94,0±3,75	12,0±3,5	35	30		
6	Li M. et al., 2020 [45]	Туннелизация + костная пластика (n = 20)		33 [8; 91]	4,5 [2; 10]	32,5 [2; 72]	3,5 [1; 7]	10	4	Использование аутологичного концентрата костного мозга в сочетании с туннелизацией было более эффективным, чем использование только туннелизации	
		Туннелизация + костная пластика + концентрат костного мозга (n = 21)		21 [2; 80]	4 [2; 10]	8 [1; 31]	1 [0; 5]	5	2		
7	Jayankura M.D. et al., 2023 [46]	Туннелизация (n = 26)		37±28				4	4	Каких-либо преимуществ использования концентрата костного мозга для улучшения результатов туннелизации при ранней стадии АНГБК выявлено не было	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 25)		41±23				6	6		
8	Hauzeur J.P. et al., 2018 [47]	Туннелизация (n = 25)		7,1±1,1	46,7±5,7	7,7±0,9	49,0±6,4	9	15	Не выявлено эффективности введения концентрата костного мозга у пациентов с III стадией АНГБК	
		Туннелизация + концентрат костного мозга (n = 25)		7,7±0,6	58,4±4,5	9,2±1,0	66,1±5,9	10	15		

S. Rastogi с соавторами провели рандомизированное исследование, в котором сравнили группу пациентов, которым вводили концентрат костного мозга, с группой пациентов, у которых применяли необработанный костный мозг. Период наблюдения составил 24 мес. Авторы пришли к выводу, что туннелизация в сочетании с введением концентрата костного мозга улучшила оценку по шкале NNS, а также способствовала уменьшению размера очагов остеонекроза [41].

R.M. Tabatabaee с соавторами в рандомизированном исследовании сравнили две группы пациентов: в одной группе выполняли комбинацию туннелизации с введением концентрата костного мозга, во второй — только туннелизацию. Выявлено, что комбинированное лечение значительно улучшает показатели по шкалам WOMAC и ВАШ, а также способствует восстановлению участков некроза согласно данным МРТ [42].

Y. Ma с соавторами в одной группе выполняли туннелизацию с костным трансплантатом, а в другой эту методику дополняли введением концентрата аспирата костного мозга. Через 24 мес. после операции обнаружено облегчение боли и улучшение клинических симптомов по индексу Лекена и шкале WOMAC в группе с использованием концентрата аспирата костного мозга. Кроме того, в группе, в которой выполняли туннелизацию с использованием костного трансплантата, прогрессирование заболевания до следующей стадии наблюдалось через 24 мес. после операции в 33,3% суставах, тогда как в группе с использованием концентрата аспирата костного мозга — только в 8% суставов [43].

P. Hernigou с соавторами сообщили о 30-летних результатах двусторонней предколлапсной стадии стероид-индуцированного АНГБК. Более крупные очаги в головке лечили с использованием концентрата костного мозга, а с контралатеральной стороны выполняли только туннелизацию. Пациентам, которым вводился концентрат костного мозга, в 3 раза реже нуждались в операции эндопротезирования [44].

M. Li с соавторами через 10 лет наблюдения также пришли к выводу, что использование мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга повышает эффективность туннелизации [45].

В наш анализ были также включены работы, в которых дополнительных преимуществ использования мезенхимальных стромальных клеток не наблюдалось. Так, в рандомизированном исследовании W. Perke с соавторами сравнили туннелизацию как самостоятельный метод с туннелизацией, дополненной введением концентрата костного мозга у 24 пациентов (25 тазобедренных суставов)

на стадиях ARCO I и II. При наблюдении в течение 2 лет пациенты в обеих группах имели сопоставимые показатели по шкале NNS, а качество жизни по ВАШ по сравнению с дооперационными значениями снизилось. Не было различий в выживаемости оперированных тазобедренных суставов между группами. В целом авторы не смогли установить какой-либо дополнительной эффективности использования концентрата аспирата костного мозга [39].

M. Jayankura с соавторами также не подтвердили каких-либо преимуществ использования мезенхимальных стромальных клеток для улучшения результатов туннелизации и при ранних (предколлапсных) стадиях АНГБК. По мнению авторов, возможными причинами отсутствия различий между группами может быть то, что этиология заболевания остается до сих пор неизвестной, или же имеет место естественная неэффективность клеточного материала, или недостаточность количества мезенхимальных стромальных клеток, введенных в головку бедренной кости [46].

J.P. Hauzeur с соавторами сравнили две группы пациентов с III стадией АНГБК по ARCO. В основной группе им выполняли туннелизацию с введением концентрата костного мозга, в контрольной — туннелизацию с введением физиологического раствора. Через 24 мес. наблюдения они пришли к выводу, что введение концентрата костного мозга у пациентов с III стадией не предотвращает прогрессирование заболевания [47]. Это связано с тем, что АНГБК на III стадии уже предполагает наличие коллапса головки бедренной кости, и выполнение туннелизации с использованием или без клеточной терапии в любом случае не приведет к восстановлению сферичности головки бедренной кости [48].

В последних метаанализах сообщается о том, что сочетание туннелизации с введением концентрата костного мозга приводит к значительно более медленному прогрессированию асептического некроза, снижению потребности в эндопротезировании, достигаются лучшие функциональные результаты, при этом частота осложнений остается низкой [49, 50].

Основываясь на исследованиях, включенных в этот обзор, а также на последних купных метаанализах, можно сделать вывод, что использование мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток может дать положительные результаты на ранних (I, II, IIIA по классификации ARCO) стадиях АНГБК со снижением болевого синдрома и улучшением функциональных результатов, однако необходимо продолжить изучение этой темы с целью стандартизации методики лечения и выполнения ее на большой выборке пациентов.

Несмотря на многообещающие результаты в виде облегчения симптомов и замедления прогрессирования асептического некроза головки бедренной кости, остаются еще не решенными некоторые вопросы. Во-первых, отбор пациентов, которым рекомендована туннелизация с введением мезенхимальных стромальных клеток в составе концентрата костного мозга. Во многих исследованиях отражено, что эффективность этой терапии при АНГБК зависит от стадии заболевания [51]. Во-вторых, нет данных о количестве мезенхимальных стромальных клеток, которое необходимо ввести в очаг остеонекроза. В-третьих, не определены стандартизированный способ и место забора костного мозга, приготовления концентрата, содержащего мультипотентные мезен-

химальные стромальные клетки, количественная и качественная оценка полученных клеток, а также подходящий метод трансплантации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Туннелизация в комбинации с введением концентрата аспирата костного мозга, содержащего мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, в комплексном лечении пациентов с ранними стадиями асептического некроза головки бедренной кости является эффективным и безопасным методом. Использование данной технологии способствует улучшению функции тазобедренного сустава и замедлению прогрессирования заболевания, тем самым позволяя отсрочить тотальное эндопротезирование.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Закирова А.Р.* — поиск и анализ публикаций, написание текста рукописи.

*Торгашин А.Н.* — разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

*Родионова С.С.* — научное руководство, редактирование текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Не требуется.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Zakirova A.R.* — literature search and review, drafting the manuscript.

*Torgashin A.N.* — study concept and design, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

*Rodionova S.S.* — scientific guidance, editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Ильиных Е.В., Барскова В.Г., Лидов П.И., Насонов Е.Л. Остеонекроз. Часть 1. Факторы риска и патогенез. *Современная ревматология*. 2013;7(1): 17-24. doi: 10.14412/1996-7012-2013-2362. Pyinykh E.V., Barskova V.G., Lidov P.I., Nasonov E.L. Osteonecrosis. Part 1. Risk factors and pathogenesis. *Modern Rheumatology Journal*. 2013;7(1):17-24. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2013-2362.
- Lespasio M.J., Sodhi N., Mont M.A. Osteonecrosis of the Hip: A Primer. *Perm J*. 2019;23:18-100. doi: 10.7812/TPP/18-100.
- McGrory B.J., York S.C., Iorio R., Macaulay W., Pelker R.R., Parsley B.S. et al. Current practices of AAHKS members in the treatment of adult osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am*. 2007; 89(6):1194-1204. doi: 10.2106/JBJS.F.00302.
- Coventry M.B., Beckenbaugh R.D., Nolan D.R., Ilstrup D.M. 2,012 total hip arthroplasties. A study of postoperative course and early complications. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(2):273-284.
- Шубняков И.И., Риахи А., Денисов А.О., Короткин А.А., Алиев А.Г., Вебер Е.В. и др. Основные тренды в эндопротезировании тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2007 по 2020 г. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3): 119-142. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142. Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliyev A.G., Veber E.V. et al. The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):119-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142.

6. Okewunmi J.O., Duey A.H., Zubizarreta N., Kodali H., Poeran J., Hayden B.L. et al. Did the COVID-19 Pandemic Coincide With an Increase in Osteonecrosis as Indication for Total Hip Arthroplasty in Older Patients? *J Arthroplasty*. 2023;38(12):2634-2637. doi: 10.1016/j.arth.2023.06.007.
7. Wang J.C., Liu K.C., Gettleman B.S., Chen M., Piple A.S., Yang J. et al. Characteristics of Very Young Patients Undergoing Total Hip Arthroplasty: A Contemporary Assessment. *Arthroplast Today*. 2023;25:101268. doi: 10.1016/j.artd.2023.101268
8. Moya-Angeler J., Gianakos A.L., Villa J.C., Ni A., Lane J.M. Current concepts on osteonecrosis of the femoral head. *World J Orthop*. 2015;6(8):590-601. doi: 10.5312/wjo.v6.i8.590.
9. Min B.W., Song K.S., Cho C.H., Lee S.M., Lee K.J. Untreated asymptomatic hips in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(5):1087-1092. doi: 10.1007/s11999-008-0191-x.
10. Торгашин А.Н., Родионова С.С. Остеонекроз у пациентов, перенесших COVID-19: механизмы развития, диагностика, лечение на ранних стадиях (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):128-137. doi: 10.17816/2311-2905-1707. Torgashin A.N., Rodionova S.S. Osteonecrosis in Patients Recovering from COVID-19: Mechanisms, Diagnosis, and Treatment at Early-Stage Disease (Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(1):128-137. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1707.
11. Yang X., Yu Y., Xu J., Shu H., Xia J., Liu H. et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *Lancet Respir Med*. 2020;8(5):475-481. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30079-5.
12. Zhang S., Wang C., Shi L., Xue Q. Beware of Steroid-Induced Avascular Necrosis of the Femoral Head in the Treatment of COVID-19-Experience and Lessons from the SARS Epidemic. *Drug Des Devel Ther*. 2021;15:983-995. doi: 10.2147/DDDT.S298691.
13. Guggenbuhl P., Robin F., Cadiou S., Albert J.D. Etiology of avascular osteonecrosis of the femoral head. *Morphologie*. 2021;105(349):80-84. doi: 10.1016/j.morpho.2020.12.002.
14. George G., Lane J.M. Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2022;6(5):e21.00176. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-21-00176.
15. Petek D., Hannouche D., Suva D. Osteonecrosis of the femoral head: pathophysiology and current concepts of treatment. *EFORT Open Rev*. 2019;4(3):85-97. doi: 10.1302/2058-5241.4.180036.
16. Yoon B.H., Mont M.A., Koo K.H., Chen C.H., Cheng E.Y., Cui Q. et al. The 2019 Revised Version of Association Research Circulation Osseous Staging System of Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Arthroplasty*. 2020;35(4):933-940. doi: 10.1016/j.arth.2019.11.029.
17. Yuan H.F., Guo C.A., Yan Z.Q. The use of bisphosphonate in the treatment of osteonecrosis of the femoral head: a meta-analysis of randomized control trials. *Osteoporos Int*. 2016;27(1):295-299. doi: 10.1007/s00198-015-3317-5.
18. Guo P., Gao F., Wang Y., Zhang Z., Sun W., Jiang B. et al. The use of anticoagulants for prevention and treatment of osteonecrosis of the femoral head: A systematic review. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(16):e6646. doi: 10.1097/MD.0000000000006646.
19. Mont M.A., Salem H.S., Piuizzi N.S., Goodman S.B., Jones L.C. Nontraumatic Osteonecrosis of the Femoral Head: Where Do We Stand Today?: A 5-Year Update. *J Bone Joint Surg Am*. 2020;102(12):1084-1099. doi: 10.2106/JBJS.19.01271.
20. Schnurr C., Loucif A., Patzer T., Schellen B., Beckmann J., Eysel P. Short stem survival after osteonecrosis of the femoral head. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(4):573-579. doi: 10.1007/s00402-018-2892-2.
21. Andronic O., Weiss O., Shoman H., Kriechling P., Khanduja V. What are the outcomes of core decompression without augmentation in patients with nontraumatic osteonecrosis of the femoral head? *Int Orthop*. 2021;45(3):605-613. doi: 10.1007/s00264-020-04790-9.
22. Millikan P.D., Karas V., Wellman S.S. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with vascularized bone grafting. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2015;8(3):252-259. doi: 10.1007/s12178-015-9285-8.
23. Gaskill T.R., Urbaniak J.R., Aldridge J.M. 3<sup>rd</sup> Free vascularized fibular transfer for femoral head osteonecrosis: donor and graft site morbidity. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(8):1861-1867. doi: 10.2106/JBJS.H.01105.
24. Yuan H.F., Zhang J., Guo C.A., Yan Z.Q. Clinical outcomes of osteonecrosis of the femoral head after autologous bone marrow stem cell implantation: a meta-analysis of seven case-control studies. *Clinics (Sao Paulo)*. 2016;71(2):110-113. doi: 10.6061/clinics/2016(02)10.
25. Hong Z., Zhang Y., Chen J., Bi Q. Adipose-derived stromal vascular fraction injection following core decompression and biochemistry artificial bone graft implantation in osteonecrosis of the femoral head. *Int Orthop*. 2023;47(6):1481-1486. doi: 10.1007/s00264-023-05792-z.
26. Amir-Behghadami M., Janati A. Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Emerg Med J*. 2020;37(6):387. doi: 10.1136/emered-2020-209567.
27. Gangji V., Hauzeur J.P., Schoutens A., Hinsenkamp M., Appelboom T., Egrise D. Abnormalities in the replicative capacity of osteoblastic cells in the proximal femur of patients with osteonecrosis of the femoral head. *J Rheumatol*. 2003;30(2):348-351.
28. Varoga D., Drescher W., Pufe M., Groth G., Pufe T. Differential expression of vascular endothelial growth factor in glucocorticoid-related osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(12):3273-3282. doi: 10.1007/s11999-009-1076-3.
29. Song S., Zhu S., Sun C. Treatment of avascular necrosis of femoral head by periosteal cell transplantation: an experimental study. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 1998;78(1):52-55. (In Chinese).
30. Gangji V., Hauzeur J.P., Matos C., De Maertelaer V., Toungouz M., Lambermont M. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with implantation of autologous bone-marrow cells. A pilot study. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(6):1153-1160. doi: 10.2106/00004623-200406000-00006.
31. Hernigou P., Beaujean F. Treatment of osteonecrosis with autologous bone marrow grafting. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;405:14-23. doi: 10.1097/00003086-200212000-00003.
32. Li C., Li G., Liu M., Zhou T., Zhou H. Paracrine effect of inflammatory cytokine-activated bone marrow mesenchymal stem cells and its role in osteoblast function. *J Biosci Bioeng*. 2016;121(2):213-219. doi: 10.1016/j.jbiosc.2015.05.017.

33. Zhong W., Sumita Y., Ohba S., Kawasaki T., Nagai K., Ma G. et al. In vivo comparison of the bone regeneration capability of human bone marrow concentrates vs. platelet-rich plasma. *PLoS One*. 2012;7(7):e40833. doi: 10.1371/journal.pone.0040833.
34. Jovic D., Yu Y., Wang D., Wang K., Li H., Xu F. et al. A Brief Overview of Global Trends in MSC-Based Cell Therapy. *Stem Cell Rev Rep*. 2022;18(5):1525-1545. doi: 10.1007/s12015-022-10369-1.
35. Hernigou P. Autologous bone marrow grafting of avascular osteonecrosis before collapse. *Arthritis Res*. 2001;3(Suppl 1):36. doi: 10.1186/ar363.
36. Sen R.K., Tripathy S.K., Aggarwal S., Marwaha N., Sharma R.R., Khandelwal N. Early results of core decompression and autologous bone marrow mononuclear cells instillation in femoral head osteonecrosis: a randomized control study. *J Arthroplasty*. 2012;27(5):679-686. doi: 10.1016/j.arth.2011.08.008.
37. Gangji V., De Maertelaer V., Hauzeur J.P. Autologous bone marrow cell implantation in the treatment of non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: Five year follow-up of a prospective controlled study. *Bone*. 2011;49(5):1005-1009. doi: 10.1016/j.bone.2011.07.032.
38. Zhao D., Cui D., Wang B., Tian F., Guo L., Yang L. et al. Treatment of early stage osteonecrosis of the femoral head with autologous implantation of bone marrow-derived and cultured mesenchymal stem cells. *Bone*. 2012;50(1):325-330. doi: 10.1016/j.bone.2011.11.002.
39. Pepke W., Kasten P., Beckmann N.A., Janicki P., Egermann M. Core Decompression and Autologous Bone Marrow Concentrate for Treatment of Femoral Head Osteonecrosis: A Randomized Prospective Study. *Orthop Rev (Pavia)*. 2016;8(1):6162. doi: 10.4081/or.2016.6162.
40. Nally F.J., Zanolli G., Buttaro M.A., Diaz Dileria F., Mansilla I.G., Comba F.M. et al. THA conversion rate comparing decompression alone, with autologous bone graft or stem cells in osteonecrosis. *Hip Int*. 2018;28(2):189-193. doi: 10.5301/hipint.5000552.
41. Rastogi S., Sankineani S.R., Nag H.L., Mohanty S., Shivanand G., Marimuthu K. et al. Intralesional autologous mesenchymal stem cells in management of osteonecrosis of femur: a preliminary study. *Musculoskelet Surg*. 2013;97(3):223-228. doi: 10.1007/s12306-013-0273-0.
42. Tabatabaee R.M., Saberi S., Parvizi J., Mortazavi S.M., Farzan M. Combining Concentrated Autologous Bone Marrow Stem Cells Injection With Core Decompression Improves Outcome for Patients with Early-Stage Osteonecrosis of the Femoral Head: A Comparative Study. *J Arthroplasty*. 2015;30(9 Suppl):11-15. doi: 10.1016/j.arth.2015.06.022.
43. Ma Y., Wang T., Liao J., Gu H., Lin X., Jiang Q. et al. Efficacy of autologous bone marrow buffy coat grafting combined with core decompression in patients with avascular necrosis of femoral head: a prospective, double-blinded, randomized, controlled study. *Stem Cell Res Ther*. 2014;5(5):115. doi: 10.1186/scrt505.
44. Hernigou P., Dubory A., Homma Y., Guissou I., Flouzat Lachaniette C.H., Chevallier N. et al. Cell therapy versus simultaneous contralateral decompression in symptomatic corticosteroid osteonecrosis: a thirty year follow-up prospective randomized study of one hundred and twenty five adult patients. *Int Orthop*. 2018;42(7):1639-1649. doi: 10.1007/s00264-018-3941-8.
45. Li M., Ma Y., Fu G., Zhang R., Li Q., Deng Z. et al. 10-year follow-up results of the prospective, double-blinded, randomized, controlled study on autologous bone marrow buffy coat grafting combined with core decompression in patients with avascular necrosis of the femoral head. *Stem Cell Res Ther*. 2020;11(1):287. doi: 10.1186/s13287-020-01810-8.
46. Jayankura M., Thomas T., Seefried L., Dubrana F., Günther K.P., Rondia J. et al. Does Adjunction of Autologous Osteoblastic Cells Improve the Results of Core Decompression in Early-stage Femoral Head Osteonecrosis? A Double-blind, Randomized Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2023;481(8):1527-1540. doi: 10.1097/CORR.0000000000002610.
47. Hauzeur J.P., De Maertelaer V., Baudoux E., Malaise M., Beguin Y., Gangji V. Inefficacy of autologous bone marrow concentrate in stage three osteonecrosis: a randomized controlled double-blind trial. *Int Orthop*. 2018;42(7):1429-1435. doi: 10.1007/s00264-017-3650-8.
48. Jindal K., Aggarwal S., Kumar P., Rathod P. Core decompression with bone marrow aspirate concentrate in post collapse avascular necrosis of hip: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;17:78-87. doi: 10.1016/j.jcot.2021.02.010.
49. Saini U., Jindal K., Rana A., Aggarwal S., Kumar P., Sharma S. Core decompression combined with intralesional autologous bone marrow derived cell therapies for osteonecrosis of the femoral head in adults: A systematic review and meta-analysis. *Surgeon*. 2023;21(3):e104-e117. doi: 10.1016/j.surge.2022.04.010.
50. Kumar P., Shetty V.D., Dhillon M.S. Efficacy of orthobiologic adjuvants to core decompression for hip preservation in avascular necrosis hip. *J Hip Preserv Surg*. 2020;7(3):423-438. doi: 10.1093/jhps/hnaa051.
51. Papakostidis C., Tosounidis T.H., Jones E., Giannoudis P.V. The role of «cell therapy» in osteonecrosis of the femoral head. A systematic review of the literature and meta-analysis of 7 studies. *Acta Orthop*. 2016;87(1):72-78. doi: 10.3109/17453674.2015.1077418.

#### Сведения об авторах

✉ Закирова Алина Рамилевна  
 Адрес: Россия, 127299, г. Москва, ул. Приорова, д. 10  
<https://orcid.org/0009-0004-8986-7272>  
 e-mail: alinazakirova30@mail.ru

Торгашин Александр Николаевич — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-2789-6172>  
 e-mail: dr.torgashin@gmail.com

Родионова Светлана Семеновна — д-р мед. наук, профессор  
<https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>  
 e-mail: rod06@inbox.ru

#### Authors' information

✉ Alina R. Zakirova  
 Address: 10, Priorova str., Moscow, 127299, Russia  
<https://orcid.org/0009-0004-8986-7272>  
 e-mail: alinazakirova30@mail.ru

Alexander N. Torgashin — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-2789-6172>  
 e-mail: dr.torgashin@gmail.com

Svetlana S. Rodionova — Dr. Sci. (Med.), Professor  
<https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>  
 e-mail: rod06@inbox.ru



# Outcomes of Oncologic Arthroplasty in Children and Adolescents with Malignant Limb Tumors: A Systematic Review

Vyacheslav I. Zorin<sup>1,2</sup>, Sergei V. Vissarionov<sup>1</sup>, Alexandr Yu. Makarov<sup>1</sup>, Timofey S. Rybinskikh<sup>1</sup>, Kristina N. Rodionova<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

## Abstract

**Background.** Amputation was historically the primary surgical intervention for children with limb bone sarcomas. However, the development and refinement of chemotherapy and radiotherapy protocols, along with advances in surgical techniques and implants, have significantly altered the treatment landscape for these patients. Currently, limb-sparing oncologic arthroplasty is the preferred surgical approach for treating limb sarcomas in children.

**The aim of the systematic review** is to analyse the outcomes of oncologic arthroplasty in children and adolescents.

**Methods.** A comprehensive literature search was performed in Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, and eLIBRARY databases focusing on the keywords "endoprostheses, tumors, children", from 2000 to 2024. Data collection included patient demographics (number of patients, gender, age), follow-up period, disease diagnosis, tumor location, type of endoprosthesis, complications, functional outcomes based on the Musculoskeletal Tumor Society score (MSTS) in percentage, overall survival rates, and prosthesis survival rates.

**Results.** The review included the data from 30 articles on a total of 792 patients aged 2 to 18 years, with 422 males and 370 females. The average age was 11.4 years, and the average follow-up period was 6.5 years. Osteosarcoma was the most common diagnosis, accounting for 716 (88.8%) cases, followed by Ewing sarcoma with 67 (8.3%) cases. Distal femoral arthroplasties were performed most frequently (573 cases, 71.1%), followed by proximal tibial arthroplasty (148 cases, 18.3%). The most commonly used type of endoprosthesis was the non-invasively extendable type (540 cases, 67%). A total of 756 complications were recorded, resulting in a complication rate of 96%. The complications were predominantly oncologic (188 cases, 25%) and pediatric orthopedic (166 cases, 22%). The 5-year and 10-year overall survival rates were 81.68% and 77.63%, respectively, with an average prosthesis survival rate of 53.93%.

**Conclusion.** The data obtained indicate an extremely high frequency of complications during oncologic arthroplasty in children, mainly of an orthopedic profile, which requires analysis and development of measures to prevent them, as well as organizational solutions for the correction of these disorders.

**Keywords:** arthroplasty, oncologic arthroplasty, malignant tumors, children, periprosthetic fractures, periprosthetic infection.

**Cite as:** Zorin V.I., Vissarionov S.V., Makarov A.Yu., Rybinskikh T.S., Rodionova K.N. Outcomes of Oncologic Arthroplasty in Children and Adolescents with Malignant Limb Tumors: A Systematic Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):157-167. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17569>.

✉ Vyacheslav I. Zorin; e-mail: zoringlu@yandex.ru

Submitted: 21.06.2024. Accepted: 08.08.2024. Published Online: 15.11.2024.

© Zorin V.I., Vissarionov S.V., Makarov A.Yu., Rybinskikh T.S., Rodionova K.N., 2024



## Исходы онкоэндопротезирования у детей и подростков при злокачественных новообразованиях конечностей: систематический обзор литературы

В.И. Зорин<sup>1,2</sup>, С.В. Виссарионов<sup>1</sup>, А.Ю. Макаров<sup>1</sup>, Т.С. Рыбинских<sup>1</sup>,  
К.Н. Родионова<sup>1</sup>

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

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

### Реферат

**Актуальность.** При саркомах костей конечностей у детей операцией выбора до 1980-х гг. являлась ампутация. Создание и совершенствование протоколов химиотерапии, лучевой терапии, развитие хирургической техники и имплантатов кардинально изменили возможности и результаты оказания помощи данной группе пациентов. В настоящее время органосохраняющая технология онкологического эндопротезирования является методом выбора в хирургическом лечении детей с саркомами конечностей.

**Целью систематического обзора** является анализ исходов онкологического эндопротезирования у детей и подростков.

**Материал и методы.** Поиск источников выполнялся в базах данных Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, eLIBRARY по ключевым словам «endoprosthesis, tumors, children, эндопротезы, злокачественные опухоли, дети» с глубиной поиска с 2000 по 2024 г. Выполнялся анализ следующих данных: количество пациентов, пол, возраст, период наблюдения, диагноз, локализация опухоли, тип устанавливаемого эндопротеза, наличие осложнений, результаты оценки функции конечности по шкале Musculoskeletal Tumor Society (MSTS) в процентах, общая выживаемость и выживаемость эндопротеза.

**Результаты.** В анализируемый материал вошли данные из 30 статей, включающих всего 792 пациента в возрасте от 2 до 18 лет, из них 422 мальчика и 370 девочек. Средний возраст — 11,4 года, средний период наблюдения — 6,5 лет. На первом месте по встречаемости расположилась остеосаркома — 716 (88,8%) наблюдений, на втором — саркома Юинга — 67 (8,3%). Чаще всего выполнялось эндопротезирование дистального отдела бедренной кости — 573 (71,1%), а также проксимального отдела большеберцовой кости — 148 (18,3%). Наиболее часто используемый тип эндопротеза — неинвазивно удлиняемый — 540 (67%). Было зафиксировано 756 осложнений, частота встречаемости — 96%. В структуре осложнений преобладали онкологические и ортопедические осложнения на фоне роста ребенка — 188 (25%) и 166 (22%) соответственно. Общая выживаемость пациентов за 5 и 10 лет составила в среднем 81,68% и 77,63% соответственно при среднем значении выживаемости эндопротеза 53,93% за десятилетний период.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о крайне высокой частоте осложнений при онкопротезировании у детей, преимущественно ортопедических, что требует анализа и разработки мер по их предупреждению, а также организационных решений для коррекции данных нарушений.

**Ключевые слова:** эндопротезирование, онкопротезирование, злокачественные опухоли, дети, перипротезные переломы, перипротезная инфекция.

**Для цитирования:** Зорин В.И., Виссарионов С.В., Макаров А.Ю., Рыбинских Т.С., Родионова К.Н. Исходы онкоэндопротезирования у детей и подростков при злокачественных новообразованиях конечностей: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):157-167.. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17569>.

Зорин Вячеслав Иванович; e-mail: zoringlu@yandex.ru

Рукопись получена: 21.06.2024. Рукопись одобрена: 08.08.2024. Статья опубликована онлайн: 15.11.2024.

© Зорин В.И., Виссарионов С.В., Макаров А.Ю., Рыбинских Т.С., Родионова К.Н., 2024

## INTRODUCTION

Primary malignant bone tumors account for 0.001% of all newly diagnosed malignant neoplasms. The incidence rate is 1 case per 100,000 population, with the majority occurring in children and adolescents [1]. In the past, the only treatment option was amputation of the affected limb. Even with such a radical intervention, the 5-year survival rate after amputation remained consistently low, especially in children, not exceeding 20% [2].

With the development of chemotherapy and improved survival rates for patients with musculoskeletal tumors, the issue of alternative treatments to amputation arose. Currently, there is no convincing evidence of differences in survival rates and local recurrence frequency between patients who undergo limb amputation and those who receive limb-sparing operations [3]. However, arthroplasty in this patient group is associated with a high rate of complications that often require additional surgical interventions and may hinder the achievement of satisfactory functional outcomes [3].

Specific complications, such as limb length discrepancy (LLD), occur when treating pediatric patients. For example, resection of the distal femur in children under 10 years old can result in limb growth retardation of up to 1.6 cm per year, potentially leading to a limb length discrepancy of 10-20 cm by the end of skeletal growth [3]. Small sample sizes and their heterogeneity in various publications make it difficult to fully analyse the outcomes of oncologic arthroplasty in children and adolescents, complicating the determination of treatment strategies for this patient group [4].

*The aim of this review* was to analyse the outcomes of oncologic arthroplasty in children and adolescents.

## METHODS

A literature search was performed in the Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, and eLIBRARY electronic databases using the following keywords: “endoprostheses, tumors, children”, from 2000 to 2024.

*Inclusion criteria* for publications in the systematic review:

- 1) articles in Russian or English;
- 2) full text available;

- 3) patients' age under 18 years;
- 4) publication type: case-control studies, clinical series studies, clinical observations.

*Exclusion criteria:*

- 1) duplicates;
- 2) sources without mentions of tumors or endoprostheses;
- 3) when examining the text, it was found that oncologic arthroplasty had not been performed or had been performed only on adults;
- 4) no data on complications, or reports only on infectious complications;
- 5) mixed results of arthroplasty in adults and children.

The following data were analyzed: number of patients, gender, age, follow-up period, diagnosis, tumor location, type of prosthesis, presence of complications, limb function assessment results using the Musculoskeletal Tumor Society (MSTS) scoring system (in percentage), patient survival rates, duration of revision-free survival of prostheses, frequency, and structure of complications after arthroplasty.

For the description and classification of complications in oncologic arthroplasty, the Henderson classification was used in the analysed literature. According to this classification, five types of complications are defined. In 2014, the International Society of Limb Salvage (ISOLS) supplemented this classification with a sixth type — pediatric complications. This category includes complications related to growth plate blocking and deformity formation, as well as dysplastic joint changes associated with arthroplasty [5].

## Statistical analysis

The collection, storage, and analysis of the obtained data were carried out using Microsoft Excel 2019. Absolute and relative values of various characteristics, as well as the median (Me) and interquartile range, were used to describe the data. The Mann-Whitney U test was employed to test null hypotheses. Differences were considered statistically significant at a two-sided significance level of  $p < 0.05$ .

## RESULTS

From all identified publications, 30 articles were selected after applying exclusion criteria, from which the relevant data collection and analysis were carried out [1, 6-34].

The selection scheme of publications with quantitative data representation is shown in Figure 1.

The selected sources included data on 792 patients aged 2 to 18 years, with an average age of 11.4 years. Gender distribution was 422 boys and 370 girls. The average follow-up period for patients mentioned in the publications was 6.5 years.

The studies were conducted by oncologic and orthopedic centers as well as specialized university clinics. Quantitatively, the majority of publications originated from authors in China [10, 25, 29, 32, 33], the United Kingdom [21, 24, 26, 27, 30], the USA [9, 11, 22, 23], Egypt [7, 34], the Russian Federation [1, 8], Poland [15, 20], and Lebanon [12, 18, 28]. More detailed information on the geographic distribution, number, and volume of publications by patients is presented in Figure 2.

The structure of morphological diagnoses reflects known statistics for malignant tumors of the musculoskeletal system in children and adolescents. Osteosarcoma predominated with 716 (88.8%) cases, followed by Ewing sarcoma – 67 (8.3%) cases. Other musculoskeletal tumors were extremely rare: embryonal rhabdomyosarcoma – 1 case, chondrosarcoma – 3 cases, malignant giant cell tumor – 1 case, pleomorphic sarcoma – 5 cases. Additionally, there were 13 cases where patients had bone metastases with a primary diagnosis of osteosarcoma or Ewing sarcoma.

The location of tumors treated with arthroplasty is shown in Figure 3, with distal femoral and proximal tibial regions being predominant.

In limb-sparing surgery for malignant limb tumors in children, the most utilized prosthesis

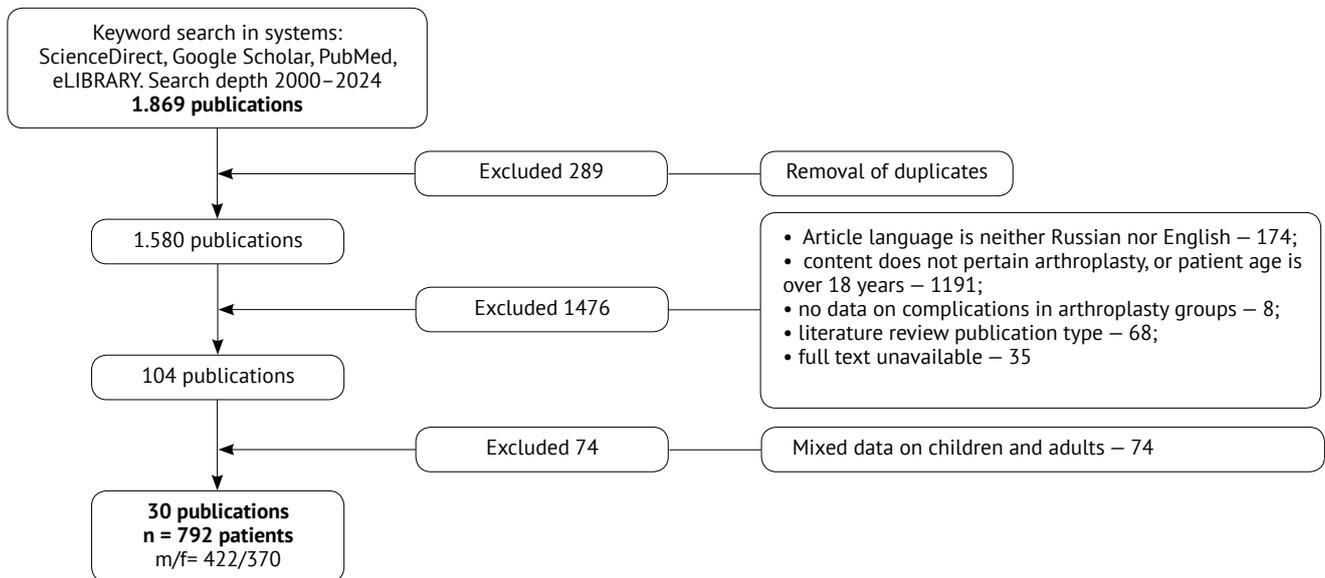


Figure 1. Flowchart of literature screening process



Figure 2. Geographic distribution of studies included in the systematic review (indicating the number of studies/number of patients)

type was a non-invasively extendable one with a magnetic extension mechanism. According to the publication analysis, it was used in 540 (67%) patients. Surgically (minimally invasive or via limited approach) extendable prostheses were significantly less common, used in 42

(5.2%) patients. Modular implants were applied in 211 (26.2%) cases. In one study, monolithic endoprostheses manufactured by 3D printing were mentioned – 13 (1.6%) cases.

Treatment outcomes are intrinsically linked to complications associated with arthroplasty. The structure and statistics of complications according to the Henderson–ISOLS classification [5] are provided in Table 1. A total of 756 complications were recorded in 792 patients, accounting for 96%. Some patients experienced two or more complications. Oncologic and pediatric complications were the most prevalent. Data on aseptic prosthetic loosening, though less frequently reported, indicated that this complication had occurred in approximately 1 out of every 10 patients. The detailed structure of complications according to the Henderson–ISOLS classification is shown in Figure 4.

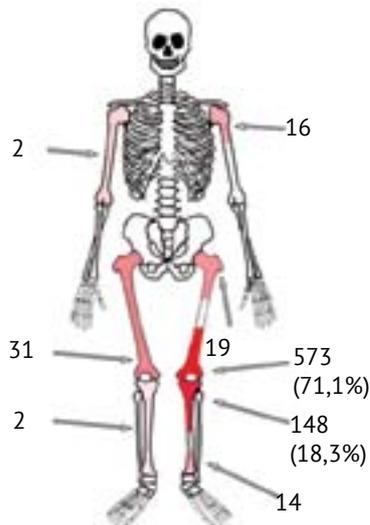
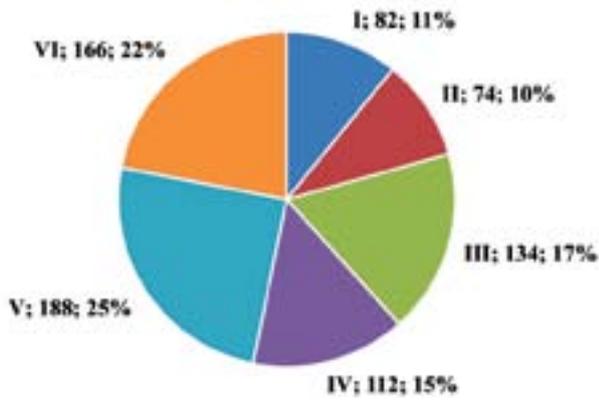


Figure 3. Tumor location

Table 1

Structure of complications according to the Henderson–ISOLS classification

Type of complication	Variants and number of complications
<p><b>I</b></p> <p>Soft tissues Total 82 (11%):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• functional – 34 (41%)</li> <li>• defect of closure – 48 (59%)</li> </ul>	<p>Neuropathy – 15 (18%)</p> <p>Joint stiffness – 25 (30%)</p> <p>Defects of ligaments and tendons – 8 (10%)</p> <p>Wound dehiscence – 12 (15%)</p> <p>Necrosis – 12 (15%)</p> <p>Delayed wound healing – 10 (12%)</p>
<p><b>II</b></p> <p>Prosthetic aseptic loosening</p>	<p>Prosthetic loosening without structural or infectious causes in the overall structure of complications – 74 (9,71%)</p>
<p><b>III</b></p> <p>Structural Total 134 (17%):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• endoprosthesis-related (component failure or malfunction of extension mechanism) – 94 (70%)</li> <li>• bone-related (periprosthetic fracture) – 40 (30%)</li> </ul>	<p>Failure of the extension mechanism – 41 (31%)</p> <p>Prosthetic component failure – 53 (39%)</p> <p>Periprosthetic fracture – 40 (30%)</p>
<p><b>IV</b></p> <p>Infectious complications Total 112 (15%)</p>	<p>Superficial soft tissue infection – 14 (12%)</p> <p>Periprosthetic infection – 78 (70%)</p> <p>Infection requiring amputation – 20 (18%)</p>
<p><b>V</b></p> <p>Oncologic complications Total 188 (25%)</p>	<p>Local recurrence – 160 (85%)</p> <p>Metastatic recurrence – 28 (15%)</p>
<p><b>VI</b></p> <p>Pediatric complications Total 166 (22%)</p>	<p>LLD &gt; 2 cm – 138 (83%)</p> <p>Limb deformity – 15 (9%)</p> <p>Implant-associated joint dysplasia (endoprosthesis dislocation, subluxation) – 13 (8%)</p>



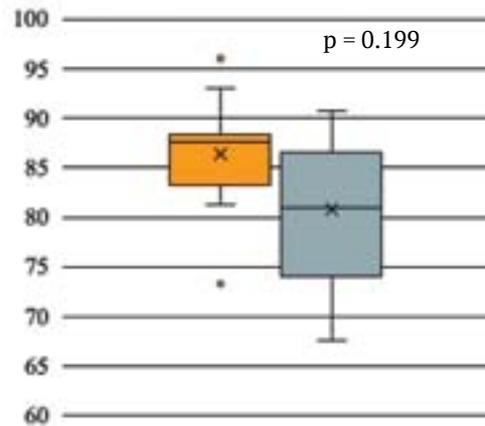
**Figure 4.** The structure of complications by their types according to the Henderson-ISOLS classification

Based on data analysis, endoprosthesis and patient survival rates were calculated. Prosthesis survival rate was defined by cases necessitating revision and replacement of implant components associated with failure, deep infections, and other causes. Assessment was performed over a 5-year period from the time of prosthesis implantation. During this period, 334 (42%) revisions were required, resulting in a 5-year mean prosthesis survival rate of 58%. Given the high frequency of type V complications, patient survival rate at the five- and ten-year marks was 80.0% and 78.5%, respectively.

The quality of life was assessed in all publications using the Musculoskeletal Tumor Society (MSTS) scale. Some authors used a system with a maximum score of 30 points, while others presented results as a percentage. To facilitate data consolidation, all results were converted to percentages, where the minimum result was 0% and the maximum was 100%. Subsequently, the data were grouped based on patient follow-up duration: less than 6 years and more than 6 years, with the average quality-of-life scores being 85.23% and 80.77%, respectively (Figure 5).

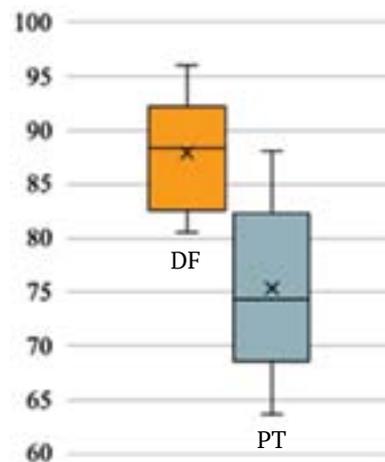
In terms of topography, neoplasms predominantly affected the distal femur (DF) and the proximal tibia (PT). Accordingly, the tumors of the majority of patients experiencing complications following arthroplasty had these localizations. For DF, the total number of complications was 340 (93.15%), while for PT, it was 37 (72.54%). The quality-of-life score according to the MSTS scale was statistically

significantly higher ( $p = 0.0256$ ) in the DF group, with an average score of 86.45% compared to 73.96% in the PT sarcoma group (Figure 6).



Legend: ■ Average MSTS score < 6 years ■ Average MSTS score > 6 years

**Figure 5.** Quality of life measured by the MSTS scale with follow-up periods of less than 6 years and more than 6 years



**Figure 6.** Quality of life after operations on different locations

The analysis of complication rate by endoprosthesis type showed 538 complications in 530 patients managed with non-invasively extendable implants, amounting to 101.51%, indicating that some patients had two or more types of complications. In the group with invasive and modular implants, 161 complications were noted in 197 patients, representing 81.72%. No significant differences in the quality of life and 5-year implant survival rates were observed based on the type of endoprosthesis (Table 2).

Table 2

**Comparison of different types of endoprostheses**

Comparison parameter	Non-invasively extendable endoprosthesis	Others	p-value between comparison parameters
Median MSTS	85%	74.29%	0.1421
5-year endoprosthesis survival rate	54.3%	60.3%	0.3884

**DISCUSSION**

The number of publications dedicated to the treatment of osteosarcomata in children has shown a progressive increase over the past decade, highlighting both the relevance of the topic and the accumulation and critical assessment of data on this disease and modern treatment options. Currently, limb-sparing surgery can be applied in 80-85% of cases in children with osteosarcomata [35]. This emphasizes the importance of analysing contemporary data on treatment outcomes. Unfortunately, out of 1.869 publications, only 30 high-quality studies suitable for analysis were found.

Until the 1970s, the predominant method of surgical treatment for osteosarcomata achieved 5-year survival rates in no more than 25% of cases [36]. Advances in modern chemotherapy protocols and surgical technologies have led to a 5-year survival rate of 70% for children with this pathology [35, 37]. According to our analysis, the 5-year survival rate for children reaches 80%. These results allow us to focus not only on life preservation but also on the quality of life comparable to that of children in the general population. The quality of life depends on the treatment outcomes and the frequency and nature of potential complications from aggressive surgery and chemotherapy aimed at achieving sustained remission.

According to our analysis, the primary type of endoprosthesis used in treating sarcomata in children is non-invasively extendable implants, which allow for the lengthening of the operated limb in line with the child's growth and development. Despite a high incidence of structural complications, the quality-of-life scores for this group were higher, confirming the importance of minimally invasive approaches in

pediatric surgery and orthopedics. Unfortunately, non-invasively extendable devices are currently not manufactured in the Russian Federation.

The performed analysis revealed a very high complication rate, consistent with the data from certain clinical series presented in various studies [7, 18]. Approximately 75% of all complications were non-oncologic in nature, primarily related to infections and, even more frequently, various orthopedic complications.

According to the data, tumors most often developed during growth spurts (average patient age — 11.4 years), with primary tumor sites typically located in growth zones characterized by high activity and contributing significantly to overall growth (distal femur and proximal tibia). Type VI complications were the second most frequent, raising the need for active involvement of pediatric orthopedic specialists in post-oncologic arthroplasty care. A.V. Petrichenko et al. also emphasize this problem [38].

The high complication rate highlights the quality-of-life scores measured by the MSTS scale, averaging 86.3% for the first 6 years of observation and 80.7% in subsequent years, despite nearly half of the endoprostheses failing within 5 years post-implantation. Possible reasons for this discrepancy include the subjectivity of the scale and the tendency of children to overlook existing problems due to high adaptability. Our study did not find any publications addressing this issue. However, M.G. Vitale et al. have raised questions about the insufficient effectiveness of quality-of-life scales for pediatric orthopedic patients compared to adult patients, particularly the SF-36 scale [39]. Similar traits may apply to quality-of-life assessments in this group. Methodological limitations tied to patient

categories should not be excluded. For instance, patients undergoing arthroplasty for the tumor of the distal femur retain a higher quality of life despite frequent oncologic complications. Given that metastatic recurrence can result in a patient's death, further quality-of-life assessments become impossible, leaving outcomes fixed at a high level. Conversely, aseptic loosening is a prolonged process, often spanning years (usually 2-3 years) [40, 41], masking clinical symptoms and causing minimal concern for the child.

A key aspect of the study is the near-total lack of research on patterns of orthopedic complications, their prevention, and treatment in pediatric patients. Despite the distraction capabilities of modern devices, the lengthening mechanism remains technically complex. The analysis revealed frequent malfunctions, preventing compensation for length discrepancies in limbs. The engineering solutions enabling lengthening require sufficient space, ultimately influencing the extent of bone resection. One potential approach to mitigating this limitation involves seeking for more advanced technical solutions and, where oncologically feasible, opting for surgical procedures that preserve the growth zone and joint. Studies focused on limited resections and biological reconstruction surgical techniques for pediatric musculoskeletal malignant tumors remain highly relevant [42, 43, 44, 45].

## CONCLUSIONS

The analysis of publications revealed a high level of interest in pediatric arthroplasty for malignant musculoskeletal tumors. However, the number of comprehensive studies that allow for an in-depth analysis of the accumulated global medical practice is relatively limited. The conducted analysis showed an extremely high frequency of complications in oncologic arthroplasty in growing children, primarily of a non-oncologic nature. This highlights the need to improve oncologic arthroplasty technologies, seek and develop alternative solutions that preserve the natural growth potential, and underscores the importance of involving pediatric trauma and orthopedic specialists in the treatment and follow-up care of this patient category.

## DISCLAIMERS

### **Author contribution**

*Zorin V.I.* — study concept and design, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

*Vissarionov S.V.* — study concept and design.

*Makarov A.Yu.* — data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Rybinskikh T.S.* — data acquisition, analysis and interpretation.

*Rodionova K.N.* — data analysis and interpretation.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## REFERENCES

1. Bolshakov N.A., Artemov A.Yu., Vorochai A.M., Khamin I.G., Tikhonova M.V., Slinin A.S. et al. Endoprosthesis reconstruction, as a surgical treatment of children and adolescence with bone tumors around the knee. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2019;18(1):55-61. (In Russian). doi: 10.24287/1726-1708-2019-18-1-55-61.
2. Hagleitner M.M., de Bont E.S., Te Loo D.M. Survival trends and long-term toxicity in pediatric patients with osteosarcoma. *Sarcoma*. 2012;2012:636405. doi: 10.1155/2012/636405.
3. Dotan A., Dadia S., Bickels J., Nirkin A., Flusser G., Issakov J. et al. Expandable endoprosthesis for limb-sparing surgery in children: long-term results. *J Child Orthop*. 2010;4(5):391-400. doi: 10.1007/s11832-010-0270-x.
4. Groundland J.S., Ambler S.B., Houskamp L.D.J., Orriola J.J., Binitie O.T., Letson G.D. Surgical and Functional Outcomes After Limb-Preservation Surgery for Tumor in Pediatric Patients: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2016;4(2):e2. doi: 10.2106/JBJS.RVW.O.00013.
5. Henderson E.R., O'Connor M.I., Ruggieri P., Windhager R., Funovics P.T., Gibbons C.L. et al. Classification of failure of limb salvage after reconstructive surgery for bone tumours : a modified system Including biological and expandable reconstructions. *Bone Joint J*. 2014;96-B(11):1436-1440. doi: 10.1302/0301-620X.96B11.34747.

6. Penna V., Toller E.A., Pinheiro C., Becker R.G. A new approach to partial knee endoprosthesis in primary bone sarcomas. *Rev Bras Ortop.* 2015;44(1):46-51. doi: 10.1016/S2255-4971(15)30048-3.
7. Badr I., Eid T.A., Salem D., Shaheen Ahmed el Dadawy, Habeeb Mohammed el Sawy, Donati Davide Marie et al. Functional outcome and Limb length discrepancy after endoprosthetic reconstruction in skeletally immature patients with bone tumor. *Egyptian Orthop J.* 2019;54(Suppl 1):25-30.
8. Savlaev K.F., Petrichenko A.V., Ivanova N.M., Sharoev T.A. Complications of endoprosthetics for bone tumors in children. *Quantum Satis.* 2021;4(1-4):19-22. (In Russian).
9. Henderson E.R., Pepper A.M., Letson G.D. What are estimated reimbursements for lower extremity prostheses capable of surgical and nonsurgical lengthening? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(4):1194-1203. doi: 10.1007/s11999-011-2186-2.
10. Zan P., Shen J., Liu K., Wang H., Cai Z., Ma X. et al. Custom-made semi-joint prosthesis replacement combined ligament advanced reinforcement system (LARS) ligament reconstruction for the limb salvage surgery of malignant tumors in the distal femur in skeletal immature children. *Front Pediatr.* 2023;11:1168637. doi: 10.3389/fped.2023.1168637.
11. Benevenia J., Patterson F., Beebe K., Tucker K., Moore J., Ippolito J. et al. Results of 20 consecutive patients treated with the Repiphysis expandable prosthesis for primary malignant bone. *Springerplus.* 2015;4:793. doi: 10.1186/s40064-015-1582-6.
12. Haidar R., Sagghieh S., Muwakitt S., Mumtaz G., Akel S., Kamzoul R. et al. Limb salvage surgery for children and adolescents with malignant bone tumors in a developing country. *Pediatr Blood Cancer.* 2008; 51(6):787-791. doi: 10.1002/pbc.21696.
13. Futani H., Minamizaki T., Nishimoto Y., Abe S., Yabe H., Ueda T. Long-term follow-up after limb salvage in skeletally immature children with a primary malignant tumor of the distal end of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(3):595-603. doi: 10.2106/JBJS.C.01686.
14. Gundavda M.K., Agarwal M.G. Growing Without Pain: The Noninvasive Expandable Prosthesis is Boon for Children with Bone Cancer, as well as Their Surgeons! *Indian J Orthop.* 2019;53(1):174-182. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho\_53\_17.
15. Raciborska A., Malesza I., Bilska K., Koziński T., Pachuta B. Double Endoprosthesis in the Management of Refractory Metastatic Primary Bone Tumors in Children and Young Adults. *Adv Orthop.* 2021;2021:9944702. doi: 10.1155/2021/9944702.
16. Shehadeh A., Al-Qawasmi M., Al Btoush O., Obeid Z. Tibia Multiplanar Deformities and Growth Disturbance Following Expandable Endoprosthetic Distal Femur Replacement. *J Clin Med.* 2022;11(22):6734. doi: 10.3390/jcm11226734.
17. Staals E.L., Colangeli M., Ali N., Casanova J.M., Donati D.M., Manfrini M. Are Complications Associated With the Repiphysis(®) Expandable Distal Femoral Prosthesis Acceptable for Its Continued Use? *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(9):3003-3013. doi: 10.1007/s11999-015-4355-1.
18. Masrouha K., Abboud M., Saab R., Muwakkit S.A., Khoury N., Haidar R. et al. Long-term follow-up of children treated with the Repiphysis expandable prosthesis for lower extremity bone sarcoma. *J Pediatr Orthop B.* 2022;31(2):e258-e263. doi: 10.1097/BPB.0000000000000891.
19. Torner F., Segur J.M., Ullot R., Soldado F., Domenech P., DeSena L. et al. Non-invasive expandable prosthesis in musculoskeletal oncology paediatric patients for the distal and proximal femur. First results. *Int Orthop.* 2016;40(8):1683-1688. doi: 10.1007/s00264-016-3163-x.
20. Raciborska A., Bilska K., Malesza I., Rodriguez-Galindo C., Pachuta B. Distal Tibial Reconstruction in the Management of Primary Bone Tumors in Children and Adolescents. *Foot Ankle Int.* 2021;42(11):1447-1453. doi: 10.1177/10711007211012690.
21. Sewell M.D., Spiegelberg B.G., Hanna S.A., Aston W.J., Bartlett W., Blunn G.W. et al. Total femoral endoprosthetic replacement following excision of bone tumours. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(11):1513-1520. doi: 10.1302/0301-620X.91B11.21996.
22. Ahlmann E.R., Menendez L.R., Kermani C., Gotha H. Survivorship and clinical outcome of modular endoprosthetic reconstruction for neoplastic disease of the lower limb. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(6):790-795. doi: 10.1302/0301-620X.88B6.17519.
23. Cipriano C.A., Gruzinova I.S., Frank R.M., Gitelis S., Virkus W.W. Frequent complications and severe bone loss associated with the repiphysis expandable distal femoral prosthesis. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(3):831-838. doi: 10.1007/s11999-014-3564-3.
24. Sambri A., Staals E., Medellin M.R., Abudu A., Gikas P., Pollock R. et al. Stanmore noninvasive extendible endoprosthesis in the treatment of bone sarcoma in the preadolescent. *J Surg Oncol.* 2019;120(2):176-182. doi: 10.1002/jso.25501.
25. Gong T., Lu M., Min L., Luo Y., Tu C. Reconstruction of a 3D-printed endoprosthesis after joint-preserving surgery with intraoperative physeal distraction for childhood malignancies of the distal femur. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):534. doi: 10.1186/s13018-023-04037-4.
26. Gilg M.M., Gaston C.L., Jeys L., Abudu A., Tillman R.M., Stevenson J.D. et al. The use of a non-invasive extendible prosthesis at the time of revision arthroplasty. *Bone Joint J.* 2018;100-B(3):370-377. doi: 10.1302/0301-620X.100B3.BJJ-2017-0651.R1.
27. Tsuda Y., Fujiwara T., Sree D., Stevenson J.D., Evans S., Abudu A. Physeal-preserving endoprosthetic replacement with short segment fixation in children with bone sarcomas. *Bone Joint J.* 2019;101-B(9):1144-1150. doi: 10.1302/0301-620X.101B9.BJJ-2018-1333.R1.

28. Saghieh S., Abboud M.R., Muwakkit S.A., Saab R., Rao B., Haidar R. Seven-year experience of using Repiphysis expandable prosthesis in children with bone tumors. *Pediatr Blood Cancer*. 2010;55(3):457-463. doi: 10.1002/pbc.22598.
29. Zou C., Zhao Z., Lin T., Huang Y., Xie X., Yin J. et al. Long-term outcomes of limb salvage treatment with custom-made extendible endoprosthesis for bone sarcoma around the knee in children. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):14. doi: 10.1186/s13018-019-1534-x.
30. Gilg M.M., Gaston C.L., Parry M.C., Jeys L., Abudu A., Tillman R.M. et al. What is the morbidity of a non-invasive growing prosthesis? *Bone Joint J*. 2016;98-B(12):1697-1703. doi: 10.1302/0301-620X.98B12.BJJ-2016-0467.
31. Ajit Singh V., Earnest Kunasingh D., Haseeb A., Yasin N.F. Outcome of expandable endoprosthesis: A single centre retrospective review. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2019;27(2):2309499019850313. doi: 10.1177/2309499019850313.
32. Huang J., Cheng J., Bi W., Xu M., Jia J., Han G. et al. Neoadjuvant Chemotherapy and Expandable Prosthesis Reconstruction to Treat Osteosarcoma around the Knee in Children. *Orthop Surg*. 2023;15(1):162-168. doi: 10.1111/os.13563.
33. Ji T., Yang Y., Li D.S., Tang X.D., Guo W. Limb Salvage Using Non-hinged Endoprosthesis and Staged Correction of Leg-length Discrepancy for Children with Distal Femoral Malignant Tumors. *Orthop Surg*. 2019;11(5):819-825. doi: 10.1111/os.12525.
34. El Ghoneimy A.M., Shehab A.M., Farid N. What is the Cumulative Incidence of Revision Surgery and What Are the Complications Associated With Stemmed Cementless Nonextendable Endoprostheses in Patients 18 Years or Younger With Primary Bone Sarcomas About the Knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2022;480(7):1329-1338. doi: 10.1097/CORR.0000000000002150.
35. Eaton B.R., Schwarz R., Vatner R., Yeh B., Claude L., Indelicato D.J. et al. Osteosarcoma. *Pediatr Blood Cancer*. 2021;68 Suppl 2:e28352. doi: 10.1002/pbc.28352.
36. Jafari F., Javdansirat S., Sanaie S., Naseri A., Shamekh A., Rostamzadeh D. et al. Osteosarcoma: A comprehensive review of management and treatment strategies. *Ann Diagn Pathol*. 2020;49:151654. doi: 10.1016/j.anndiagpath.2020.151654.
37. Panez-Toro I., Muñoz-García J., Vargas-Franco J.W., Renodon-Cornière A., Heymann M.F., Lézot F. et al. Advances in Osteosarcoma. *Curr Osteoporos Rep*. 2023;21(4):330-343. doi: 10.1007/s11914-023-00803-9.
38. Petrichenko A.V., Bukreeva E.A., Romanov P.A., Tiganova O.A., Ivanova N.M., Ochkurenko A.A. et al. Musculoskeletal sequelae of childhood bone sarcoma survivors. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(1):57-70. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS7157-70.
39. Vitale M.G., Levy D.E., Johnson M.G., Gelijns A.C., Moskowitz A.J., Roye B.P. et al. Assessment of quality of life in adolescent patients with orthopaedic problems: are adult measures appropriate? *J Pediatr Orthop*. 2001;21(5):622-628.
40. Bergin P.F., Noveau J.B., Jelinek J.S., Henshaw R.M. Aseptic loosening rates in distal femoral endoprostheses: does stem size matter? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(3):743-750. doi: 10.1007/s11999-011-2081-x.
41. Zhang H.R., Zhang J.Y., Yang X.G., Qiao R.Q., Li J.K., Ren Z.P. et al. The effects of length of femoral stem on aseptic loosening following cemented distal femoral endoprosthetic replacement in tumour surgery. *Int Orthop*. 2020;44(7):1427-1433. doi: 10.1007/s00264-020-04629-3.
42. Aponte-Tinao L., Ayerza M.A., Muscolo D.L., Farfalli G.L. Survival, recurrence, and function after epiphyseal preservation and allograft reconstruction in osteosarcoma of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(5):1789-1796. doi: 10.1007/s11999-014-4028-5.
43. Scanferla R., Scolari F., Muratori F., Tamburini A., Delcroix L., Scocciati G. et al. Joint-Sparing Resection around the Knee for Osteosarcoma: Long-Term Outcomes of Biologic Reconstruction with Vascularized Fibula Graft Combined with Massive Allograft. *Cancers (Basel)*. 2024;16(9):1672. doi: 10.3390/cancers16091672.
44. Takeuchi A., Yamamoto N., Hayashi K., Matsubara H., Miwa S., Igarashi K. et al. Joint-preservation surgery for pediatric osteosarcoma of the knee joint. *Cancer Metastasis Rev*. 2019;38(4):709-722. doi: 10.1007/s10555-019-09835-z.
45. Liu W., He H.B., Zhang C., Liu Y.P., Wan J. Distraction-suppression effect on osteosarcoma. *Med Hypotheses*. 2018;121:4-5. doi: 10.1016/j.mehy.2018.09.004.

## Authors' information

✉ Vyacheslav I. Zorin — Cand. Sci. (Med.)

Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>

e-mail: zoringlu@yandex.ru

Sergei V. Vissarionov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

e-mail: vissarionovs@gmail.com

Alexandr Yu. Makarov

<https://orcid.org/0000-0002-1546-8517>

e-mail: makarov.alexandr97@mail.ru

*Timofey S. Rybinskikh*

<https://orcid.org/0000-0002-4180-5353>

e-mail: timofey1999r@gmail.com

*Kristina N. Rodionova*

<https://orcid.org/0000-0001-6187-2097>

e-mail: rkn0306@mail.ru



## Ладьевидно-полулунный коллапс запястья: обзор литературы

Н.А. Щудло<sup>1</sup>, Ш.К. Куттыгул<sup>1</sup>, А.Р. Миронов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Введение.** Ладьевидно-полулунный коллапс (SLAC — scapholunate advanced collapse) — широко известная форма остеоартрита запястья, которая характеризуется прогрессирующей деформацией, нестабильностью и артритом вследствие хронической диссоциации ладьевидной и полулунной костей при застарелых повреждениях ладьевидно-полулунной межкостной связки (scapholunate interosseous ligament — SLIL). Купирование болевого синдрома и сохранение объема движений при данной патологии нередко представляет труднодостижимую задачу.

**Цель** — анализ патогенеза ладьевидно-полулунного коллапса, методов лучевой диагностики и лечения данной патологии по данным современной литературы.

**Материал и методы.** В базах данных eLIBRARY и PubMed проведен поиск по ключевым словам: ладьевидно-полулунный коллапс, ладьевидно-полулунная нестабильность, резекция проксимального ряда костей запястья, scapholunate advanced collapse, SLAC, scapholunate instability, proximal row carpectomy. Найдено 110 статей. Отобрано 86 публикаций, в которых исследуются вопросы патогенеза, лучевой диагностики и лечения рассматриваемой патологии.

**Результаты.** Ладьевидно-полулунный коллапс запястья является вторичным артрозом костей запястья вследствие разрыва ладьевидно-полулунной связки (SLIL), который имеет травматический и нетравматический характер. Консервативные методы лечения SLAC показаны при ранней стадии развития артроза, однако данных об их эффективности в мировой литературе нет. Оперативные методы лечения разнообразны, выбор зависит от клинической стадии заболевания.

**Заключение.** Эффективность консервативных методов лечения SLAC-синдрома не доказана. Разработано множество методов хирургического лечения и их модификаций, направленных на купирование болевого синдрома, максимально возможное сохранение движений и силы кистевого схвата, однако проблема выбора метода в зависимости от клинической стадии заболевания не имеет общепринятых решений. Для молодых активных пациентов особую актуальность имеет разработка адьювантных операций, направленных на повышение эффективности лечения. Накапливаются доказательства эффективности применения пирокарбонных имплантатов и артроскопических технологий.

**Ключевые слова:** ладьевидно-полулунный коллапс, артроз луче-ладьевидного сустава, резекция проксимального ряда костей запястья, четырехугольный артродез.

**Для цитирования:** Щудло Н.А., Куттыгул Ш.К., Миронов А.Р. Ладьевидно-полулунный коллапс запястья: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):168-179. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17530>.

Куттыгул Шынгыс Кайырбекулы; e-mail: artana.kaz@gmail.com

Рукопись получена: 23.04.2024. Рукопись одобрена: 01.10.2024. Статья опубликована онлайн: 21.11.2024.

© Щудло Н.А., Куттыгул Ш.К., Миронов А.Р., 2024



## Scapholunate Advanced Collapse of the Wrist: A Review

Nathalia A. Shchudlo<sup>1</sup>, Shyngys K. Kuttygul<sup>1</sup>, Artem R. Mironov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

<sup>2</sup> Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

### Abstract

**Background.** Scapholunate advanced collapse (SLAC) is a common type of the wrist osteoarthritis. It is characterized by progressive deformity, instability and arthritis due to chronic dissociation of the scaphoid and lunate bones with chronic scapholunate interosseous ligament (SLIL) injuries. Quite often, in this pathology, it is difficult to alleviate the pain syndrome and preserve the range of motion.

**The aim of the review** – based on the modern literature data, to analyse the concept and pathogenesis of scapholunate advanced collapse, current methods of radiological diagnosis and treatment modalities of the pathology.

**Methods.** The search was performed in eLIBRARY and PubMed databases using the following keywords: scapholunate advanced collapse, SLAC, scapholunate instability, proximal row carpectomy. We selected 86 original articles and reviews out of 110 papers found. The selected ones reveal the issues of pathogenesis, radiological diagnosis and treatment of the pathology.

**Results.** Scapholunate carpal collapse is secondary arthritis of the carpal bones resulting from rupture of the SLIL, which can be traumatic or non-traumatic. Conservative methods of the SLAC treatment can be used in the early stage of arthritis, but there is no data on their effectiveness in the world literature. Surgical treatment methods are varied, the choice depends on the clinical stage of the disease.

**Conclusions.** The efficiency of conservative treatment modalities of the SLAC syndrome has not been proved yet. There is a plenty of surgical treatment methods and their modifications developed to alleviate the pain syndrome and preserve the motion and strength of the wrist grip as far as it is possible. However, the choice of the treatment method depending on the clinical stage of the disease is still problematic. For young active patients especially important is the development of adjuvant techniques aimed to increase the treatment efficiency. To date, there is accumulating evidence of successful use of pyrocarbon implants and arthroscopy techniques in the wrist surgery.

**Keywords:** scapholunate advanced collapse, radioscaphoid arthritis, proximal row carpectomy, trapeziometacarpal arthrodesis.

**Cite as:** Shchudlo N.A., Kuttygul Sh.K., Mironov A.R. Scapholunate Advanced Collapse of the Wrist: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):168-179. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17530>.

✉ Shyngys K. Kuttygul; e-mail: artana.kaz@gmail.com

Submitted: 23.04.2024. Accepted: 01.10.2024. Published online: 21.11.2024.

© Shchudlo N.A., Kuttygul Sh.K., Mironov A.R., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Ладьевидно-полулунный коллапс (SLAC) — часто встречающаяся форма остеоартроза запястья, которая поражает лучезапястный и межзапястный суставы и характеризуется прогрессирующей деформацией, нестабильностью и артрозом вследствие хронической диссоциации ладьевидной и полулунной костей при застарелых повреждениях ладьевидно-полулунной межкостной связки (SLIL — scapholunate interosseous ligament) [1, 2]. SLIL относится к внутренним связкам запястья и считается первичным стабилизатором этих костей [3], в то время как ладьевидно-трапециевидную и луче-ладьевидно-головчатую связки относят к вторичным стабилизаторам ладьевидно-полулунного сустава [4]. SLIL состоит из трех частей — тыльной, мембранной и ладонной [5]. Тыльные и ладонные части являются истинными связками капсулы. Мембранная часть состоит из волокнистого хряща с разнонаправленными пучками коллагеновых волокон. Наибольшей механической прочностью обладает тыльная часть, представленная поперечно ориентированными коллагеновыми фасцикулами, окруженными соединительной тканью, содержащей нейро-сосудистые пучки [6].

Несмотря на значительный мировой опыт лечения SLAC, повышение качества жизни пациентов с данной патологией остается трудной задачей даже для опытных хирургов.

*Цель обзора* — определение патогенеза ладьевидно-полулунного коллапса, оценка эффективности методов лучевой диагностики и лечения данной патологии по данным современной литературы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск публикаций проводили в электронных базах данных eLIBRARY и PubMed по следующим ключевым словам: ладьевидно-полулунный коллапс, ладьевидно-полулунная нестабильность, резекция проксимального ряда костей запястья, scapholunate advanced collapse, SLAC, scapholunate instability, proximal row carpectomy. Всего было найдено 110 статей, отобрано из них 86 публикаций, в которых раскрываются вопросы патогенеза, лучевой диагностики и лечения рассматриваемой патологии, полнотекстовые статьи и рефераты, язык английский и русский, хронологические рамки с 1977 до марта 2024 г.

## Этиология и патогенез

Хронические повреждения SLIL, как правило, являются результатом травмы, причем во многих случаях степень повреждения запястья недооценивается и ставится диагноз: растяжение связок запястья. Подтвержденное результатами артро-

скопии повреждение SLIL встречается в 21,6% случаев внутрисуставных переломов лучевой кости и в 6,7% случаев внесуставных переломов [7].

По мнению одних авторов, повреждения SLIL неизбежно приводят к хронической нестабильности и артрозу кистевого сустава, что актуализирует проблему их своевременной диагностики и лечения [8]. Другие считают, что в настоящее время не существует доказательств того, что реконструкция SLIL при острых и хронических повреждениях может замедлить или предотвратить развитие артроза [9]. Вследствие хронических повреждений SLIL ладьевидная кость меняет форму и расположение. Это вызывает механические повреждения головчатой кости, которая со временем мигрирует между полулунной и ладьевидной костями.

SLAC чаще диагностируется у мужчин (80,3%) молодого и среднего возраста ( $53,1 \pm 10,4$  года); 49% пациентов занято ручным трудом, у 69,5% в анамнезе травма, длительность симптомов составляет  $10,3 \pm 13,3$  года [10]. SLAC может быть также проявлением кристаллической артропатии с отложением пирофосфат дегидрата [11].

## Клиническая диагностика SLAC

Если в анамнезе пациента есть падение на вытянутую руку, следует заподозрить повреждение SLIL. Оно может быть изолированным или сопутствовать переломам дистального отдела лучевой или ладьевидной кости. Иногда повреждения SLIL развиваются вторично при воспалительных артритах, например при псевдоподагре, в этом случае повреждение нередко бывает двусторонним [9]. Описан случай ятрогенного SLAC при широком иссечении ганглионарной кисты на тыльной стороне кисти [12].

SLAC на протяжении многих лет может протекать бессимптомно, однако обычно присутствует боль, которая усиливается при тяжелой работе, а иногда сопровождается ощущением «лязганья» при движениях [13]. Болевой синдром сопровождается снижением объема движений в суставах и ослаблением кистевого схвата.

Внешние проявления ладьевидно-полулунной нестабильности неочевидны. Даже в острой фазе отечность запястья может быть умеренной. Когда имеется прогрессирующее течение SLAC, выражена боль при движениях. Тест Ватсона позволяет выявить нестабильность ладьевидно-полулунного сустава [14]. Для его выполнения надавливают на бугристость ладьевидной кости, в то время как врач отклоняет запястье из крайней точки локтевой девиации в крайнюю точку локтевой девиации. В норме ладьевидная кость не смещается, так как зафиксирована большим пальцем врача. Положительный тест отмечается у пациентов с разрывом ладьевидно-полулунной

связки или слабостью запястья. Когда давление на ладьевидную кость устраняется, она возвращается в прежнее положение с типичным щелчком [15]. Чувствительность и специфичность теста невелики [16], поэтому отрицательный результат не является основанием для отказа от дополнительных методов диагностики.

### Терминология и рентгенодиагностика

Для характеристики прогрессирования SLAC используют четыре термина: ладьевидно-полулунная диссоциация, ладьевидно-полулунный диастаз, ротационный подвывих ладьевидной кости и DISI (dorsal intercalated segment instability) [17]. Эти признаки повреждения выявляются при специальных измерениях изображений ладьевидной и полулунной костей на рентгенограммах. При ладьевидно-полулунном диастазе на рентгенограмме в прямой проекции расстояние между ладьевидной и полулунной костями составляет более 4 мм, при диастазе 2–4 мм возникает подозрение на ладьевидно-полулунную диссоциацию. Ротационный подвывих ладьевидной кости выявляют, если на рентгенограмме в боковой проекции ладьевидно-полулунный угол составляет более 60–80° (ладьевидная кость наклонена в ладонную сторону), а луче-ладьевидный угол — более 60°. Рентгенологический признак «кольца с печаткой» или кортикального кольца расценивается как признак ротации ладьевидной кости вследствие ладьевидно-полулунного диастаза [18].

DISI также выявляется на рентгенограммах в боковой проекции, если величина ладьевидно-полулунного угла более 80° (при величине угла 60–80° подозревают DISI, если полулунная кость наклонена дорзально), луче-полулунный угол — более 10°, головчато-полулунный угол — более 30°. Расширение ладьевидно-полулунного промежутка названо также признаком Terry Thomas в память о знаменитом актере с диастемой между передними зубами [19].

Из дополнительных методов диагностики может быть полезна МРТ, которая непосредственно показывает разрыв SLIL. При прогрессирующем течении SLAC рентгенограмм обычно достаточно, МРТ может прояснить диагноз при начальных стадиях заболевания, так как выявляет истончение суставных поверхностей ладьевидной кости, синовит ладьевидной фасетки дистального отдела лучевой кости, головчато-полулунного сустава, а также лучезапястного и межзапястного суставов [20].

Бюджетная альтернатива МРТ — ультразвуковое исследование, которое также может выявить разрыв SLIL и особенно полезно у пациентов с предшествующими переломами костей запястья, фиксированными металлоконструкциями [21]. Перспективны исследования возможностей томосинтеза при сомнительной визуализации повреждений запястья [22].

### Стадии SLAC

В течении SLAC выделяют три рентгенологические стадии [4, 23], по данным других авторов — четыре [24] (рис. 1).

I стадия — поражены проксимальная часть ладьевидной кости и шиловидный отросток лучевой. На рентгенограммах в прямой проекции и на КТ на лучевой стороне ладьевидной кости и шиловидном отростке лучевой кости выявляются «острые подпорки» («клювы»), утрачивается нормальная округлая кривизна шиловидного отростка, развивается локальный артроз ладьевидной фасетки.

II стадия — поражение луче-ладьевидного сустава, прогрессивное сужение щели луче-ладьевидного сустава, склероз всей ладьевидной фасетки дистального луча.

III стадия — поражение головчато-полулунного сустава со склерозом и сужением суставной щели. При этом происходит проксимальная миграция головчатой кости со смещением полулунной кости в локтевую сторону.

IV стадия — дегенеративный артроз полулунно-лучевого сустава.



**Рис. 1.** Фрагменты рентгенограмм кисти пациентов с разными стадиями SLAC в прямой проекции  
**Figure 1.** X-ray fragments of patients' wrists with various SLAC stages in the AP view

### SLAC вследствие застарелого повреждения ладьевидно-полулунной связки

Тщательный анализ рентгенограмм с выявлением таких признаков, как лучевой «клюв», уменьшение щели луче-ладьевидного сустава, ладьевидно-полулунный диастаз и DISI, очень важен, так как нередко исключает необходимость дорогостоящих методов визуализации [25]. Вместе с тем рентгенография — это первая линия диагностики, КТ и МРТ могут дать дополнительную информацию, которая важна при планировании лечения и оценке его результативности [26]. Однако изучение опыта 337 кистевых хирургов показало, что 44,2% из них считают бесполезной МРТ, а 38,4% считают бесполезной КТ для принятия решения о выборе метода оперативного лечения при прогрессирующем артрозе запястья [27].

Тщательное выявление зон поражения критично для правильного выбора тактики хирургического лечения [28]. Рентгенологический метод исследования часто недооценивает изменения проксимальной поверхности полулунной кости, поэтому при выборе метода оперативного лечения нужно учитывать интраоперационные находки [29].

SLAC может развиваться без острой травмы или хронической травматизации у 26% пациентов с кристаллической артропатией [30]. Отложения в межкостную ладьевидно-полулунную связку кристаллов пирофосфата дегидрата являются триггерами воспаления [31], приводят к ее вялости и разрыву с последующей ротацией ладьевидной кости. Заподозрить кристаллическую артропатию следует при двустороннем поражении, кальцификации треугольного волокнистого хряща, периартикулярной кальцификации мягких тканей, при субхондральных кистах и остеоартритических изменениях пястно-фаланговых суставов, а также крючковидных и свисающих остеофитах на лучевых сторонах головок пястных костей [32].

### Методы лечения SLAC

При слабо выраженных симптомах терапией первой линии является *консервативное лечение* — НПВС, шинирование, инъекции кортикостероидов, однако исследований эффективности консервативного лечения SLAC в мировой литературе нет [9]. Некоторые авторы указывают на то, что фармакологический контроль боли и шинирование эффективны у пожилых пациентов и при кристаллических артропатиях [24]. Описан случай успешного лечения последствий разрыва SLIL и некроза полулунной кости внутрисуставными инъекциями частиц амниона и клеток пупочного канатика после безуспешной консервативной терапии болевого синдрома [33].

*Денервация запястья.* По результатам изучения отдаленных результатов нейрэктомии переднего и заднего межкостных нервов, эта операция предпочтительна для пациентов с сохранившимся объемом движений: она уменьшает или полностью купирует болевой синдром, улучшает силу схвата и практически не влияет на объем движений [34]. Однако, по данным американского общества кистевых хирургов, она применялась при любой стадии SLAC [35].

Операции по денервации лучезапястного сустава выполнялись уже в XIX в., но наибольшую популярность приобрели с 1959 г., когда инвазивная техника перерезки суставных ветвей нервов через множественные хирургические доступы перестала применяться, и был предложен один ограниченный доступ [36]. Известна техника денервации запястья через два хирургических доступа, которая обеспечивает удовлетворительное купирование болевого синдрома с сохранением объема движений и силы кистевого схвата [37].

По данным метаанализа A. Fidanza с соавторами, частичная денервация запястья при нейрэктомии заднего межкостного нерва позволила успешно купировать болевой синдром у 78,4% пациентов; при ее дополнении нейрэктомией переднего межкостного нерва преимуществ не выявлено [38]. По данным других авторов, нейрэктомия заднего межкостного нерва не дает пациентам никаких преимуществ при ее комбинации с резекцией проксимального ряда костей запястья [39]. Анализ 10 исследований исходов операций денервации запястья, которые вошли в метаанализ S.L. Zhu с соавторами, выявил 18,8% осложнений, включая нейропатическую боль и нарушения чувствительности; авторы сделали вывод о необходимости дальнейших исследований исходов операций денервации запястья [40].

*Резекция шиловидного отростка* предложена для купирования болей, связанных с луче-ладьевидным импинджментом, который развивается при разной этиологии артроза запястья — SLAC, а также несращения ладьевидной кости или последствиях переломов лучевой кости, повреждающих шиловидный отросток. Исторически эта операция производилась открытым способом через разрез, центрированный на шиловидном отростке [41]. По данным M. Maklad, эта операция противопоказана при SLAC, так как в отдаленном периоде усиливает нестабильность ладьевидной кости [24].

Различные варианты артроскопической техники стилоидэктомии, которые разрабатываются в последние десятилетия, позволяют уменьшить морбидность операции не только за счет малоинвазивных доступов, но и возможностей точной визуализации удаляемого количества кости.

В частности, для лечения SLAC II и III стадий предлагается использовать артроскопический дебридмент, синовэктомию и нейрэктомию. Этот малоинвазивный комбинированный подход, по мнению P.C. Noback с соавторами, сохраняет функцию, силу схватов и объем движений [42].

*Резекция дистального полюса ладьевидной кости.* По данным американского общества кистевых хирургов, эта операция чаще применялась при артрозе и коллапсе запястья, вызванном несращением ладьевидной кости (scaphoid nonunion advanced collapse) — так называемом SNAC-синдроме (главным образом при SNAC 1), однако было также прооперировано 68 пациентов со SLAC-синдромом [35]. Показания к этой операции лимитированы локальным артрозом, окружающим ладьевидную кость [43]. Хирургический доступ осуществляется через прямой разрез дорсальнее первого канала разгибателей. Предусматривается защита лучевой артерии и поверхностной ветви лучевого нерва. Через разрез суставной капсулы дистальную пятую часть ладьевидной кости резецируют с помощью остеотома; пространство резецированного участка кости может быть заполнено свернутым сухожильным трансплантатом [44].

*Резекция проксимального ряда костей запястья* (proximal row carpectomy — PRC) может быть рекомендована при I, II и III стадиях SLAC с минимальным поражением хряща головчатой кости [45] (рис. 2). Следует иметь в виду, что вновь сформированный сустав между головчатой и лучевой костями не конгруэнтен, с течением времени первоначально хорошие результаты операции могут ухудшаться, поэтому PRC не рекомендуется выполнять пациентам моложе 35 лет [46].

*Модификации PRC.* M.H. Ali с соавторами проанализировали отдаленные результаты PRC (минимальный срок наблюдения составил 15 лет,



**Рис. 2.** Фрагмент рентгенограммы кисти пациента с II стадией SLAC в первые сутки после резекции проксимального ряда костей запястья

**Figure 2.** X-ray fragment of a patient with SLAC stage II wrist on the 1st day after proximal row carpectomy

средний срок — 19,8 года). Оказалось, что к прежней тяжелой физической работе вернулась меньшая часть пациентов, несмотря на сохранение движений, большинство пациентов продолжал беспокоить болевой синдром. Авторы пришли к выводу, что полученные результаты обосновывают необходимость модификации этой операции [47]. Основные направления модификации PRC — капсулярные интерпозиционные аллотрансплантаты [48], восстановление поверхности головчатой кости пирокарбонными имплантатами [49, 50, 51], остеохондральные трансплантаты [52, 53].

По мнению Y. Zhang с соавторами, интерпозиционные капсулярные трансплантаты практически не влияют на функциональные параметры и выраженность болевого синдрома, однако остеохондральный трансплантат позволяет восстановить суставной хрящ головчатой кости [54]. A.C. Perry с соавторами считают, что применение капсулярных интерпозиционных аллотрансплантатов, восстановление поверхности головчатой кости пирокарбонными имплантатами, а также остеохондральные трансплантаты требуют дальнейших исследований отдаленных результатов [55]. Было проведено сравнительное исследование PRC в сочетании с пирокарбонными имплантатами и PRC в сочетании с интерпозицией капсулярного лоскута Eaton: в группе с пирокарбонными имплантатами лучше сохранялась высота запястья, и был достоверно меньше процент пациентов, которым потребовался артродез [56].

C.A. Purnell и R.Wollstein применяли у молодых и активных пациентов с SLAC I–II степени дорсальный капсулодез в комбинации с восстановлением выстилки луче-ладьевидного сустава двумя видами биодеградируемых имплантов. Биодеградируемые импланты должны были обеспечить восстановление хряща. Однако, по данным самих авторов, сила схвата после комбинированной операции оставалась слабой, а объем движений ограниченным [57].

Дорсальный капсулодез направлен на укрепление тыльных межзапястных связок с учетом их роли в динамической и статической ладьевидно-полулунной нестабильности [58]. Ранее было показано, что дорсальный капсулодез хотя и уменьшал болевой синдром, но в большинстве случаев не купировал его полностью; по данным рентгенологического исследования, при хронической ладьевидно-полулунной диссоциации выравнивание положения костей запястья не обеспечивается [59]. Однако поиск оптимальных адъювантных операций и эффективных способов восстановления суставного хряща важен для молодых пациентов с начальными проявлениями артроза запястья [58].

М. Artuso с соавторами провели анатомическое исследование результатов артроскопического замещения проксимального ряда костей запястья сухожильными трансплантатами, что позволяет сохранить высоту запястья [60]. Артроскопическая техника исключает проблему выраженного отека и синдрома, неизбежного при открытом тыльном доступе к запястью, а также обеспечивает стабильность трансплантата за счет сохранения связочного аппарата сустава [60]. Тыльный артроскопический портал по сравнению с ладонным является технически более простым и менее рискованным [61].

*Четырехугольный артродез* — это резекция ладьевидной кости в сочетании со сращением полулунной, головчатой, крючковатой и треугольной костей, этот способ лечения показан пациентам с III стадией артроза [4] (рис. 3).



**Рис. 3.** Фрагмент рентгенограммы кисти пациента с III стадией SLAC в первые сутки после четырехугольного артродеза с иссечением ладьевидной кости

**Figure 3.** X-ray fragment of a patient with SLAC stage III wrist on the 1st day after trapeziometacarpal arthrodesis with the scaphoid bone excision

После операции уменьшается болевой синдром, сохраняется 50% объема движений и 75% силы кистевого схвата по сравнению с контралатеральной кистью [62, 63, 64].

По данным систематического обзора, в который вошли 57 работ, сравнивающих методы остеосинтеза при четырехугольном артродезе, при использовании спиц Киршнера, скобок, неблокированных пластин, металлических блокированных пластин, рентгенопрозрачных блокированных пластин частота сращения была сопоставима. Метод фиксации влиял на сгибательную функцию, но попарное сравнение не выявило значимых межгрупповых отличий. Сила схвата при использовании металлических блокированных пластин была статистически значимо меньше, чем в группах с использованием спиц Киршнера (63,2% против 82,6%) [65].

Есть исследования, в которых доказывается важность использования взаимоперекрещенных под углом 90° винтов и их ретроградного введения с целью сохранения хряща полулунной кости [64]. У. Zenke с соавторами получили обнадеживающие результаты применения биодеградируемых пластин для четырехугольного артродеза у 10 пациентов [67]. Сравнительный анализ результатов открытого и артроскопического артродеза показал сопоставимый уровень по болевым и клиническим шкалам, костное сращение, достигнутое у всех 13 пациентов в группе открытого артродеза и у 13 из 14 в группе артроскопического артродеза, но больший объем движений при артроскопии [68]. При десятилетнем сроке наблюдения за пациентами, перенесшими четырехугольный артродез, выявлены незначительный функциональный дефицит и высокая удовлетворенность пациентов [69].

Другой систематический обзор отдаленных результатов четырехугольного артродеза 436 запястий по данным 11 исследований показал, что конверсия его в тотальный артродез выполнена в 6% случаев, но не было ни одного случая конверсии в тотальную артропластику запястья [70].

Поскольку удаление ладьевидной кости в сочетании с четырехугольным артродезом либо резекцией проксимального ряда костей запястья рассматриваются как спасительные операции при SLAC II и III, актуален вопрос: какой из методов дает лучшие результаты. По мнению К. Kruse и J.R. Fowler, при выборе операций следует учитывать проблемы костного сращения, поэтому резекция проксимального ряда костей запястья предпочтительна у курильщиков, а четырехугольный артродез — у пациентов моложе 35 лет [71]. Систематический обзор и метаанализ 8 исследований, включавших 311 пациентов, выявил достоверное, хотя и незначительное преимущество резекции проксимального ряда костей запястья в плане восстановления объема движений, силы схвата и уровня боли [72]. Однако последующий метаанализ 15 исследований не выявил разницы между методами PRC и четырехугольного артродеза в плане отдаленных результатов [73].

*Луче-ладьевидно-полулунный (треугольный) артродез* является методом выбора при IV стадии артроза. Сохранение мобильности межзапястного сустава обеспечивает «движение метания дротика» (dart thrower's motion — DTM) [74, 75].

Операция выполняется из срединного тыльного доступа, retinaculum extensorum рассекают через 3 и 4-й сухожильные каналы. После вскрытия суставной капсулы необходимо убедиться, что среднезапястный сустав не поврежден, затем удалить хрящевую ткань лучезапястного сустава, сустав временно зафиксировать спицей Киршнера.

Для восстановления конгруэнтности артродезируемых суставных поверхностей могут быть использованы костные трансплантаты. Фиксация достигается с помощью Т-образной пластины, винтов, скрепок с эффектом памяти или спиц Киршнера [76]. По мнению М. Colman с соавторами, трехугольный артродез может рассматриваться как альтернатива четырехугольному у пациентов с II и III степенями SLAC [77].

*Двухугольный артродез.* У пациентов со SLAC II–III было проведено сравнительное исследование результатов двухугольного и четырехугольного артродеза. Головчато-полулунный артродез обеспечивал лучшее восстановление функции сгибания. Частота осложнений и повторных операций в сравниваемых группах были сопоставимы [78].

*Тотальный артродез запястья* может использоваться не только как ревизионная операция, но и как первичная операция при IV стадии артроза и у лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом [79]. Наиболее часто техника тотального артродеза включает применение пластин либо интрамедуллярную фиксацию. В большинстве случаев пластины обеспечивают сращение, однако частота осложнений, связанных с их применением, а также раздражение мягких тканей, требующая их удаления, составляют 11% и 16% соответственно [80, 81]. Наиболее частое осложнение интрамедуллярной фиксации при тотальном артродезе запястья — миграция дистального винта [80].

Е.С. Rodriguez-Merchan с соавторами в обзоре анализируют публикации последних лет и приходят к выводу, что функционально выгодное положение кисти при тотальном артродезе остается дискуссионным; по-прежнему актуальна разработка новых имплантатов и артроскопической техники этой операции [83].

*Тотальная артропластика запястья* приводит к более частым осложнениям, чем тотальный артродез. Поэтому, по мнению D. Yeoh и L. Tourret, артропластика не может быть рекомендована для рутинного применения, необходим тщательный отбор пациентов [84]. Исторически лучезапястный сустав был одним из первых объектов протезирования.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### *Заявленный вклад авторов*

*Шудло Н.А.* — концепция исследования, поиск и анализ публикаций, написание и редактирование текста рукописи.

*Куттыгул Ш.К.* — поиск и анализ публикаций, написание и редактирование текста рукописи.

*Миронов А.Р.* — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надле-

жное преимущество артропластики перед артродезом — сохранение движений, однако вплоть до настоящего времени не решены проблемы пациент-специфичных эндопротезов и осложнений, связанных с мальпозицией, дислокацией и расшатыванием имплантатов [85]. Однако при двухлетнем наблюдении за 18 пациентами, перенесшими тотальную артропластику, и 29 пациентами после тотального артродеза, тотальный артродез не показал преимуществ, поэтому авторы сделали вывод о необходимости более широкого внедрения тотальной артропластики запястья [86].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной фактор патогенеза SLAC-синдрома — нарушения биомеханики запястья при острых и хронических повреждениях ладьевидно-полулунной связки вследствие травмы или кристаллической артропатии. Эффективность консервативных методов лечения SLAC-синдрома не доказана. Комплексная лучевая диагностика (рентгенография, КТ, МРТ) не всегда достаточна для уточнения стадии заболевания, при выборе тактики хирургического лечения критичны интраоперационные находки. Разработано множество методов хирургического лечения и их модификаций, направленных на купирование болевого синдрома, максимально возможное сохранение движений и силы кистевого схвата, однако проблема выбора метода в зависимости от клинической стадии заболевания не имеет общепринятых решений. Традиционно при SLAC I рекомендуется денервация запястья, при SLAC II — резекция проксимального ряда костей запястья или четырехугольный артродез, при SLAC III — четырехугольный артродез. Кроме стадии заболевания необходимо учитывать возраст, функциональные потребности и коморбидный статус пациента. Накапливаются доказательства эффективности применения пирокарбонных имплантов и артроскопических технологий в хирургии запястья. Необходимы дальнейшие сравнительные исследования для определения эффективности методов хирургического лечения SLAC и их модификаций.

## DISCLAIMERS

### *Author contribution*

*Shchudlo N.A.* — study concept, literature search and review, drafting and editing the manuscript.

*Kuttygul Sh.K.* — literature search and review, drafting and editing the manuscript.

*Mironov A.R.* — study concept and design, editing the manuscript.

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

жащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Не требуется.

consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Kitay A., Wolfe S.W. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg Am.* 2012;37(10):2175-2196. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.07.035.
- Shah C.M., Stern P.J. Scapholunate advanced collapse (SLAC) and scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC) wrist arthritis. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2013;6(1):9-17. doi: 10.1007/s12178-012-9149-4.
- Shahabpour M., Abid W., Van Overstraeten L., Van Royen K., De Maeseneer M. Extrinsic and Intrinsic Ligaments of the Wrist. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2021;25(2):311-328. doi: 10.1055/s-0041-1731653.
- Watson H.K., Ballet F.L. The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg Am.* 1984;9(3):358-365. doi: 10.1016/S0363-5023(84)80223-3.
- Berger R.A. The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 1996;21(2):170-178. doi: 10.1016/S0363-5023(96)80096-7.
- Berger R.A., Imeada T., Berglund L., An K.N. Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 1999;24(5):953-962. doi: 10.1053/jhsu.1999.0953.
- Richards R.S., Bennett J.D., Roth J.H., Milne K. Jr. Arthroscopic diagnosis of intra-articular soft tissue injuries associated with distal radial fractures. *J Hand Surg Am.* 1997;22(5):772-776. doi: 10.1016/S0363-5023(97)80068-8.
- Шершнева О.Г., Кирпичев И.В. Современные подходы к лечению повреждений ладьевидно-полулунной связки кистевого сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2020;26(4):593-599. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-593-599. Shershneva O.G., Kirpichev I.V. Modern approaches to the treatment of scapholunate interosseous ligament injuries (literature review). *Genij Ortopedii.* 2020;26(4):593-599. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-593-599.
- Strauch R.J. Scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse arthritis-update on evaluation and treatment. *J Hand Surg Am.* 2011;36(4):729-7735. doi: 10.1016/j.jhsa.2011.01.018.
- Murphy B.D., Nagarajan M., Novak C.B., Roy M., McCabe S.J. The Epidemiology of Scapholunate Advanced Collapse. *Hand (N Y).* 2020;15(1):23-26. doi: 10.1177/1558944718788672.
- Chen C., Chandnani V.P., Kang H.S., Resnick D., Sartoris D.J., Haller J. Scapholunate advanced collapse: a common wrist abnormality in calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease. *Radiology.* 1990;177(2):459-461. doi: 10.1148/radiology.177.2.2217785.
- Mehdian H., McKee M.D. Scapholunate instability following dorsal wrist ganglion excision: a case report. *Iowa Orthop J.* 2005;25:203-206.
- Konopka G., Chim H. Optimal management of scapholunate ligament injuries. *Orthop Res Rev.* 2018;10:41-54. doi: 10.2147/ORR.S129620.
- Watson H.K., Ashmead D. 4th, Makhlof M.V. Examination of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 1988;13(5):657-660. doi: 10.1016/S0363-5023(88)80118-7.
- LaStayo P., Howell J. Clinical provocative tests used in evaluating wrist pain: a descriptive study. *J Hand Ther.* 1995;8(1):10-17. doi: 10.1016/S0894-1130(12)80150-5.
- Schmauss D., Pöhlmann S., Weinzierl A., Schmauss V., Moog P., Germann G. et al. Relevance of the Scaphoid Shift Test for the Investigation of Scapholunate Ligament Injuries. *J Clin Med.* 2022;11(21):6322. doi: 10.3390/jcm11216322.
- Tischler B.T., Diaz L.E., Murakami A.M., Roemer F.W., Goud A.R., Arndt W.F. 3rd et al. Scapholunate advanced collapse: a pictorial review. *Insights Imaging.* 2014;5(4):407-417. doi: 10.1007/s13244-014-0337-1.
- Abe Y., Doi K., Hattori Y. The Clinical Significance of the Scaphoid Cortical Ring Sign: A Study of Normal Wrist X-Rays. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008;33(2):126-129. doi: 10.1177/1753193407087572.
- Frankel V.H. The Terry-Thomas sign. *Clin Orthop Relat Res.* 1977;(129):321-322. doi: 10.1097/00003086-197711000-00048.
- Stevenson M., Levis J.T. Image Diagnosis: Scapholunate Dissociation. *Perm J.* 2019;23:18-237. doi: 10.7812/TPP/18-237.
- Taljanovic M.S., Goldberg M.R., Sheppard J.E., Rogers L.F. US of the intrinsic and extrinsic wrist ligaments and triangular fibrocartilage complex--normal anatomy and imaging technique. *Radiographics.* 2011;31(1):e44. doi: 10.1148/rg.e44.
- Морозов С.П., Владимирский А.В., Басарболиев А.В., Барышов В.И., Агафонова О.А. Систематический обзор применения томосинтеза для диагностики травм и заболеваний опорно-двигательной системы. *Гений ортопедии.* 2020;26(3):432-441. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-432-441. Morozov S.P., Vladimirovsky A.V., Basarboliev A.V., Baryshov V.I., Agafonova O.A. Tomosynthesis for diagnosis of musculoskeletal injuries and diseases: a systematic review. *Genij Ortopedii.* 2020;26(3):432-441. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-432-441.
- Mayfield J.K., Johnson R.P., Kilcoyne R.K. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. *J Hand Surg Am.* 1980;5(3):226-241. doi: 10.1016/S0363-5023(80)80007-4.

24. Maklad M. Wrist Arthritis and Carpal Advanced Collapse-Systematic Review. *Int J Orthop*. 2020;7(6):1374-1378. doi: 10.17554/j.issn.2311-5106.2020.07.400.
25. Pai S.N., Jeyaraman N., Jayakumar T., Jeyaraman M. Scapholunate Advanced Collapse Wrist – Keeping it Simple – A Case Report. *J Orthop Case Rep*. 2023;13(12): 137-140. doi: 10.13107/jocr.2023.v13.i12.4110.
26. Kompolti E., Prodromou M., Karantanas A.H. SLAC and SNAC Wrist: The Top Five Things That General Radiologists Need to Know. *Tomography*. 2021;7(4):488-503. doi: 10.3390/tomography7040042.
27. Bayne C.O., Moontasri N.J., Boutin R.D., Szabo R.M. Advanced Arthritis of the Carpus: Preoperative Planning Practices of 337 Hand Surgeons. *J Wrist Surg*. 2023;12(6):517-521. doi: 10.1055/s-0043-1764302.
28. Deglmann C.J. Osteoarthritis of the wrist. *Orthopädie (Heidelb)*. 2024;53(6):463-476. (In German). doi: 10.1007/s00132-024-04502-w.
29. Zinberg E.M., Chi Y. Proximal row carpectomy versus scaphoid excision and intercarpal arthrodesis: intraoperative assessment and procedure selection. *J Hand Surg Am*. 2014;39(6):1055-1062. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.03.032.
30. Chen C., Chandnani V.P., Kang H.S., Resnick D., Sartoris D.J., Haller J. Scapholunate advanced collapse: a common wrist abnormality in calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease. *Radiology*. 1990;177(2):459-461. doi: 10.1148/radiology.177.2.2217785.
30. Ulas S.T., Pochandke L., Ohrndorf S., Diekhoff T., Ziegeler K. Four-dimensional computed tomography detects dynamic three-dimensional pathologies of the wrist in patients with calcium pyrophosphate deposition disease. *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1231667. doi: 10.3389/fmed.2023.1231667.
32. Jacobson J.A., Girish G., Jiang Y., Sabb B.J. Radiographic evaluation of arthritis: degenerative joint disease and variations. *Radiology*. 2008;248(3):737-747. doi: 10.1148/radiol.2483062112.
33. Kim S.R. Successful treatment of scapholunate advanced collapse: A case report. *Clin Case Rep*. 2019;7(6):1230-1232. doi: 10.1002/ccr3.220.
34. Rothe M., Rudolf K.D., Partecke B.D. Long-term results following denervation of the wrist in patients with stages II and III SLAC-/SNAC-wrist. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2006;38(4):261-266. (In German). doi: 10.1055/s-2006-924408.
35. Kale N.N., Foote J., Medvedev G. Use of Wrist Denervation in the Treatment of SLAC and SNAC Wrist by ASSH Members. *J Wrist Surg*. 2022;12(3):280-286. doi: 10.1055/s-0042-1756498.
36. Kadiyala R.K., Lombardi J.M. Denervation of the Wrist Joint for the Management of Chronic Pain. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(6):439-447. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00243.
37. Delclaux S., Elia F., Bouvet C., Aprédoaei C., Rongièrès M., Mansat P. Denervation of the wrist with two surgical incisions. Is it effective? A review of 33 patients with an average of 41 months' follow-up. *Hand Surg Rehabil*. 2017;36(4):281-285. doi: 10.1016/j.handsur.2017.04.003.
38. Fidanza A., Necozone S., Garagnani L. Does anterior plus posterior interosseus neurectomy lead to better outcomes than isolated posterior interosseus denervation in the treatment of chronic wrist pain? A systematic review of the literature and meta-analysis. *EFORT Open Rev*. 2023;8(3):110-116. doi: 10.1530/EOR-22-0089.
39. Tahta M., Aydin Y., Erpala F., Yildiz M., Gunal I., Sener M. No Benefits of Combining Proximal Row Carpectomy With PIN Neurectomy for Wrist Disorders – A Comparative Study With Systematic Review of the Literature. *Plast Surg (Oakv)*. 2019;27(2):130-134. doi: 10.1177/2292550319826099.
40. Zhu S.L., Chin B., Sarraj M., Wang E., Dunn E.E., McRae M.C. Denervation as a Treatment for Arthritis of the Hands: A Systematic Review of the Current Literature. *Hand (NY)*. 2023;18(2):183-191. doi: 10.1177/1558944721994251.
41. Herzberg G., Burnier M. Isolated Arthroscopic Radial Styloidectomy: The Three-Portal Approach. *J Wrist Surg*. 2020;9(4):353-356. doi: 10.1055/s-0040-1712979.
42. Noback P.C., Seetharaman M., Danoff J.R., Birman M., Rosenwasser M.P. Arthroscopic Wrist Debridement and Radial Styloidectomy for Advanced Scapholunate Advanced Collapse Wrist: Long-term Follow-up. *Hand (NY)*. 2018;13(6):659-665. doi: 10.1177/1558944717725383.
43. Kadhim M., Donohue J. K., Fowler R. Distal Scaphoid Excision for Chronic and Nonchronic Scaphoid Fracture Nonunion. *J Hand Surg Global Online*. 2024;6(4):519-523. doi: 10.1016/j.jhsg.2024.03.013.
44. Berkhout M.J., Bachour Y., Wessing D., Ritt M.J.P.F. Distal Pole Resection of the Scaphoid for the Treatment of Scaphotrapezotrapezoid Osteoarthritis. *Hand (NY)*. 2019;14(2):230-235. doi: 10.1177/1558944717735939.
45. Cohen M.S., Kozin S.H. Degenerative arthritis of the wrist: proximal row carpectomy versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Am*. 2001;26(1):94-104. doi: 10.1053/jhsu.2001.20160.
46. DiDonna M.L., Kiefhaber T.R., Stern P.J. Proximal row carpectomy: study with a minimum of ten years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am*. 2004; 86(11): 2359-2365.
47. Ali M.H., Rizzo M., Shin A.Y., Moran S.L. Long-term outcomes of proximal row carpectomy: a minimum of 15-year follow-up. *Hand (NY)*. 2012;7:72-78.
48. Gaspar M.P., Pham P.P., Pankiw C.D., Jacoby S.M., Shin E.K., Osterman A.L. et al. Mid-term outcomes of routine proximal row carpectomy compared with proximal row carpectomy with dorsal capsular interposition arthroplasty for the treatment of late-stage arthropathy of the wrist. *Bone Joint J*. 2018;100-B(2): 197-204. doi: 10.1302/0301-620X.100B2.BJJ-2017-0816.R2.
49. Bellemère P., Maes-Clavier C., Loubersac T., Gaisne E., Kerjean Y., Collon S. Pyrocarbon interposition wrist arthroplasty in the treatment of failed wrist procedures. *J Wrist Surg*. 2012;1(1):31-38. doi: 10.1055/s-0032-1323641.
50. Giacalone F., di Summa P.G., Fenoglio A., Sard A., Dutto E., Ferrero M. et al. Resurfacing Capitate Pyrocarbon Implant versus Proximal Row Carpectomy Alone: A Comparative Study to Evaluate the Role of Capitate Prosthetic Resurfacing in Advanced Carpal Collapse. *Plast Reconstr Surg*. 2017;140(5):962-970. doi: 10.1097/PRS.0000000000003759.
51. Goubier J.N., Vogels J., Teboul F. Capitate pyrocarbon prosthesis in radiocarpal osteoarthritis. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2011;15(1):28-31. doi: 10.1097/BTH.0b013e3181e3c3c3.
52. Tang P., Imbriglia J.E. Osteochondral resurfacing (OCRPRC) for capitate chondrosis in proximal row carpectomy. *J Hand Surg Am*. 2007;32(9):1334-1342. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.07.013.
53. Tang P., Imbriglia J.E. Technique: Osteochondral Grafting of Capitate Chondrosis in PRC. *J Wrist Surg*. 2013;2(3):206-211. doi: 10.1055/s-0033-1350084.

54. Zhang Y., Gillis J.A., Moran S.L. Management of scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse without proximal row carpectomy or four corner fusion. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021;46(1):50-57. doi: 10.1177/1753193420973322.
55. Perry A.C., Wilkes C., Curran M.W.T., Ball B.J., Morhart M.J. Proximal Row Carpectomy Modifications for Capitate Arthritis: A Systematic Review. *J Wrist Surg.* 2022;12(1):86-94. doi: 10.1055/s-0042-1751013.
56. Rieussec C., Caillard G., Helfter L., Girard P., Forli A., Corcella D. Comparison of proximal row carpectomy with RCPI® versus proximal row carpectomy with Eaton's capsular interposition in the management of advanced wrist osteoarthritis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2024;110(2):103783. doi: 10.1016/j.otsr.2023.103783.
57. Purnell C.A., Wollstein R. Treatment of Stage I and II Scapholunate Advanced Collapse (SLAC). *Curr Rheumatol Rev.* 2012;8:258-260. doi: 10.2174/157339712805077050.
58. Mitsuyasu H., Patterson R.M., Shah M.A., Buford W.L., Iwamoto Y., Viegas S.F. The role of the dorsal intercarpal ligament in dynamic and static scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2004;29(2):279-288. doi: 10.1016/j.jhsa.2003.11.004.
59. Moran S.L., Cooney W.P., Berger R.A., Strickland J. Capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2005;30(1):16-23. doi: 10.1016/j.jhsa.2004.07.021.
60. Artuso M., Protais M., Soubeyrand M. Arthroscopic proximal carpal row replacement by semitendinosus and gracilis graft (Carpus Row Plasty Using the Semitendinosus: CARPUS procedure). An anatomical study of 16 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2022;108(7):103124. doi: 10.1016/j.otsr.2021.103124.
61. DE Villeneuve Bargemon J.B., Merlini L., Mathoulin C., Levadoux M. Arthroscopic Radiocarpal Tendinous Inter-Position for Grade 2 Scapholunate Advanced Collapse – Surgical Technique. *J Hand Surg Asian Pac Vol.* 2022;27(5):889-894. doi: 10.1142/S2424835522710035.
62. Shin A.Y. Four-corner arthrodesis. *J Am Soc Surg Hand.* 2001;1(2):93-111. doi: 10.1053/jssh.2001.23905.
63. Vance M.C., Hernandez J.D., Didonna M.L., Stern P.J. Complications and outcome of four-corner arthrodesis: circular plate fixation versus traditional techniques. *J Hand Surg Am.* 2005;30(6):1122-1127. doi: 10.1016/j.jhsa.2005.08.007.
64. Wyrick J.D., Stern P.J., Kiefhaber T.R. Motion-preserving procedures in the treatment of scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1995;20(6):965-970. doi: 10.1016/S0363-5023(05)80144-3.
65. Hayes E., Cheng Y., Sauder D., Sims L. Four-Corner Arthrodesis With Differing Methods of Osteosynthesis: A Systematic Review. *J Hand Surg Am.* 2022;47(5):477.e1-477.e9. doi: 10.1016/j.jhsa.2021.06.002.
66. Mamede J., Castro Adeodato S., Aquino Leal R. Four-Corner Arthrodesis: Description of Surgical Technique Using Headless Retrograde Crossed Screws. *Hand (NY).* 2018;13(2):156-163. doi: 10.1177/1558944717702468.
67. Zenke Y., Oshige T., Menuki K., Hirasawa H., Yamanaka Y., Tajima T. et al. Four-corner fusion method using a bioabsorbable plate for scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse wrists: a case series study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):683. doi: 10.1186/s12891-020-03709-0.
68. Shim J.W., Kim J.W., Park M.J. Comparative study between open and arthroscopic techniques for scaphoid excision and four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2020;45(9):952-958. doi: 10.1177/1753193420908820.
69. Traverso P., Wong A., Wollstein R., Carlson L., Ashmead D., Watson H.K. Ten-Year Minimum Follow-Up of 4-Corner Fusion for SLAC and SNAC Wrist. *Hand (NY).* 2017;12(6):568-572. doi: 10.1177/1558944716681949.
70. Andronic O., Nagy L., Burkhard M.D., Casari F.A., Karczewski D., Kriechling P. et al. Long-term outcomes of the four-corner fusion of the wrist: A systematic review. *World J Orthop.* 2022;13(1):112-121. doi: 10.5312/wjo.v13.i1.112.
71. Kruse K., Fowler J.R. Scapholunate Advanced Collapse: Motion-Sparing Reconstructive Options. *Orthop Clin North Am.* 2016;47(1):227-233. doi: 10.1016/j.ocl.2015.08.002.
72. Amer K.M., Thomson J.E., Vosbikian M.M., Ahmed I. Four-Corner Arthrodesis Versus Proximal Row Carpectomy for Scapholunate Advanced Collapse: A Systematic Literature Review and Meta-analysis. *Ann Plast Surg.* 2020;85(6):699-703. doi: 10.1097/SAP.0000000000002398.
73. Ahmadi A.R., Duraku L.S., van der Oest M.J.W., Hundepool C.A., Selles R.W., Zuidam J.M. The never-ending battle between proximal row carpectomy and four corner arthrodesis: A systematic review and meta-analysis for the final verdict. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(2):711-721. doi: 10.1016/j.bjps.2021.09.076.
74. Crisco J.J., Coburn J.C., Moore D.C., Akelman E., Weiss A.P., Wolfe S.W. In vivo radiocarpal kinematics and the dart thrower's motion. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(12):2729-2740. doi: 10.2106/JBJS.D.03058.
75. Moritomo H., Murase T., Goto A., Oka K., Sugamoto K., Yoshikawa H. In vivo three-dimensional kinematics of the midcarpal joint of the wrist. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(3):611-621. doi: 10.2106/JBJS.D.02885.
76. Degeorge B., Dagneaux L., Montoya-Faivre D., Dautel G., Dap F., Coulet B. et al. Radioscapholunate fusion for posttraumatic osteoarthritis with consecutive excision of the distal scaphoid and the triquetrum: A comparative study. *Hand Surg Rehabil.* 2020;39(5):375-382. doi: 10.1016/j.hansur.2020.05.002.
77. Colman M., El Kazzi W., Salvia P., Feipel V., Schuind F. Three-Corner Arthrodesis (lunate - hamate - capitate): clinical and kinematical evaluation. *Acta Orthop Belg.* 2020;86(4):717-723.
78. Duraku L.S., Hundepool C.A., Hoogendam L., Selles R.W., van der Heijden B.E.P.A., Colaris J.W. et al. Two-Corner Fusion or Four-Corner Fusion of the Wrist for Midcarpal Osteoarthritis? A Multicenter Prospective Comparative Cohort Study. *Plast Reconstr Surg.* 2022;149(6):1130e-1139e. doi: 10.1097/PRS.00000000000009116.
79. Laulan J., Marteau E., Bacle G. Wrist osteoarthritis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015;101(1 Suppl):1-9. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.025.
80. Berber O., Garagnani L., Gidwani S. Systematic Review of Total Wrist Arthroplasty and Arthrodesis in Wrist Arthritis. *J Wrist Surg.* 2018;7(5):424-440. doi: 10.1055/s-0038-1646956.
81. Berling S.E., Kiefhaber T.R., Stern P.J. Hardware-related complications following radiocarpal arthrodesis using a dorsal plate. *J Wrist Surg.* 2015;4(1):56-60. doi: 10.1055/s-0034-1400069.

82. Kachooei A.R., Jones C.M., Beredjiklian P. Locked Intramedullary Total Wrist Arthrodesis: A Report of Three Patients With Distal Screw Migration. *Cureus*. 2022;14(7):e27420. doi: 10.7759/cureus.27420.
83. Rodriguez-Merchan E.C., Tabeayo-Alvarez E.D., Shojaie B., Kachooei A.R. Total Wrist Arthrodesis: An Update on Indications, Technique and Outcomes. *Arch Bone Joint Surg*. 2023;11(3):144-153. doi: 10.22038/ABJS.2022.65875.3154.
84. Yeoh D., Turret L. Total wrist arthroplasty: a systematic review of the evidence from the last 5 years. *J Hand Surg Eur Vol*. 2015;40(5):458-468. doi: 10.1177/1753193414539796.
85. Eschweiler J., Li J., Quack V., Rath B., Baroncini A., Hildebrand F. et al. Total Wrist Arthroplasty-A Systematic Review of the Outcome, and an Introduction of FreeMove-An Approach to Improve TWA. *Life (Basel)*. 2022;12(3):411. doi: 10.3390/life12030411.
86. Clementson M., Larsson S., Abramo A., Brogren E. Clinical and Patient-Reported Outcomes After Total Wrist Arthroplasty and Total Wrist Fusion: A Prospective Cohort Study with 2-Year Follow-up. *JBJS Open Access*. 2024;9(1):e23.00081. doi: 10.2106/JBJS.OA.23.00081.

---

#### Сведения об авторах

✉ Шынгыс Кайырбекулы Куттыгул  
Адрес: Россия, 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6  
<https://orcid.org/0009-0009-1072-468X>  
e-mail: artana.kaz@gmail.com

Шудло Наталья Анатольевна — д-р мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>  
e-mail: nshchudlo@mail.ru

Миронов Артем Романович  
<https://orcid.org/0009-0001-9273-8680>  
e-mail: ortopedix@yandex.ru

---

#### Authors' information

✉ Shyngys K. Kuttygul  
Address: 6, M. Ulyanova st., Kurgan, 640014, Russia  
<https://orcid.org/0009-0009-1072-468X>  
e-mail: artana.kaz@gmail.com

Nathalia A. Shchudlo — Dr. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>  
e-mail: nshchudlo@mail.ru

Artem R. Mironov  
<https://orcid.org/0009-0001-9273-8680>  
e-mail: ortopedix@yandex.ru



## Возможности фаготерапии при лечении перипротезной инфекции, вызванной полирезистентными возбудителями: обзор литературы

Т.У. Шералиев, А.Г. Самохин, Б.Р. Таштанов, А.А. Корыткин, В.В. Павлов

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

### Реферат

**Введение.** Одной из основных и наиболее затратных проблем эндопротезирования крупных суставов с социально значимыми потерями является перипротезная инфекция (ППИ). Особую значимость, сопровождаемую худшими результатами лечения, представляет собой ППИ, вызванная резистентными к антибиотикам возбудителями. В настоящее время, когда антибиотико-резистентные патогены быстро распространяются, в частности в медицинских организациях, исследователи находятся в постоянном поиске альтернативных методов лечения тяжелых случаев ППИ, вызванных резистентными и полирезистентными возбудителями. Одним из таких методов может стать фаготерапия.

**Целью обзора** было проанализировать применение персонализированных бактериофагов в ходе лечения перипротезной инфекции, вызванной полирезистентными возбудителями, при эндопротезировании крупных суставов нижних конечностей.

**Материал и методы.** Проведен поиск в электронных базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar и Scopus глубиной 20 лет — с 2003 по 2023 г.

**Результаты.** В ходе поиска было обнаружено 1482 публикации, удовлетворяющих цели настоящего обзора литературы. Непосредственно в обзор литературы с учетом принятых авторами критериев включения/невключения, было включено 12 исследований, в которых описано 45 случаев применения бактериофагов при лечении ППИ тазобедренного и коленного суставов, вызванных полирезистентными возбудителями. Полное купирование инфекционного процесса без рецидивов отмечено в 42 случаях (89,4%), рецидив был зафиксирован только в 5 случаях (10,6%).

**Заключение.** Проведенный анализ литературных источников подтверждает факт безопасности и эффективности комбинированной терапии антибактериальными препаратами и персонализированными фагами как адъювантной терапии. Бактериофаготерапия представляет собой перспективное направление в борьбе с резистентными возбудителями перипротезной инфекции, а ее комбинация с антибиотиками позволяет значительно повысить эффективность терапии инфекций, вызванных полирезистентными возбудителями, за счет синергии этих двух классов препаратов.

**Ключевые слова:** перипротезная инфекция, полирезистентные возбудители, антибиотикорезистентность, бактериофаг, фаготерапия, комбинированная терапия фагами и антибиотиками.

**Для цитирования:** Шералиев Т.У., Самохин А.Г., Таштанов Б.Р., Корыткин А.А., Павлов В.В. Возможности фаготерапии при лечении перипротезной инфекции, вызванной полирезистентными возбудителями: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):180-191. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17563>.

Шералиев Таалайбек Усеналиевич; e-mail: sheraliev.taalai@mail.ru

Рукопись получена: 02.06.2024. Рукопись одобрена: 22.10.2024. Статья опубликована: 06.12.2024.

© Шералиев Т.У., Самохин А.Г., Таштанов Б.Р., Корыткин А.А., Павлов В.В., 2024



## The Potential Utility of Phage Therapy in the Treatment of Periprosthetic Infection Caused by Multidrug-Resistant Pathogens: A Review

Taalaibek U. Sheraliev, Alexander G. Samokhin, Baikozho R. Tashtanov, Andrey A. Korytkin, Vitaliy V. Pavlov

*Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russian Federation.*

### Abstract

**Background.** One of the main and most costly problems in large joint arthroplasty associated with socially significant losses is periprosthetic infection. Of particular importance is periprosthetic joint infection (PJI) caused by antibiotic-resistant pathogens and followed by the worst treatment results. Currently, when antibiotic-resistant pathogens are spreading rapidly, particularly in health facilities, researchers are constantly looking for alternative treatments for severe cases of PJI. Phage therapy can be one of these methods.

**The aim of** the review was to analyse the application of personalized bacteriophages in the management of periprosthetic infection caused by multidrug-resistant pathogens during arthroplasty of large joints of the lower extremities.

**Methods.** A 20-year literature search (2003-2023) was performed in the eLIBRARY, PubMed, Google Scholar, and Scopus electronic databases.

**Results.** During the search, 1.482 publications meeting the objectives of this review were found. Taking into account the inclusion/non-inclusion criteria adopted by the authors, the review included 12 studies describing 45 cases of the use of bacteriophages in the management of hip and knee PJI caused by multidrug-resistant pathogens. The infection was eradicated without recurrence in 42 cases (89.4%), recurrence was recorded only in 5 cases (10.6%).

**Conclusions.** The analysis of the literature confirms that a combination therapy of personalized phages and antibiotics as adjuvant therapy is safe and effective. Bacteriophage treatment is a promising direction in the fight against resistant pathogens of periprosthetic infection. Its combination with antibiotics seems to be the most promising, as it can significantly increase the effectiveness of therapy for infections caused by multidrug-resistant pathogens due to the synergy of these drug classes.

**Keywords:** periprosthetic joint infection, multidrug-resistant pathogens, antimicrobial resistance, bacteriophage, phage therapy, phage-antibiotic combination therapy.

---

**Cite as:** Sheraliev T.U., Samokhin A.G., Tashtanov B.R., Korytkin A.A., Pavlov V.V. The Potential Utility of Phage Therapy in the Treatment of Periprosthetic Infection Caused by Multidrug-Resistant Pathogens: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(4):180-191. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17563>.

✉ Taalaibek U. Sheraliev; e-mail: sheraliev.taalai@mail.ru

Submitted: 02.06.2024. Accepted: 22.10.2024. Published: 06.12.2024.

© Sheraliev T.U., Samokhin A.G., Tashtanov B.R., Korytkin A.A., Pavlov V.V., 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Высокая эффективность и совершенствование хирургической техники тотального эндопротезирования при патологии суставов различного генеза привели к прогрессирующему росту количества операций эндопротезирования, что закономерно сопровождается увеличением числа инфекционных осложнений. Перипротезные инфекции (ППИ) увеличивают нагрузку на систему здравоохранения, приводят к значительным социально-экономическим затратам, а также физическим, эмоционально-психологическим и материальным проблемам конкретных пациентов [1].

В 2017 г. Всемирная организация здравоохранения опубликовала список устойчивых к действию антибиотиков, т.н. приоритетных патогенов, включающий 12 видов бактерий критической, высокой и средней степени устойчивости к антибактериальным лекарственным средствам [2]. Нынешние темпы формирования антибиотикорезистентности бактерий намного превышают скорость создания и выведения на фармакологический рынок антибактериальных препаратов, что представляет собой глобальную мировую проблему здравоохранения. В том же году была введена должность главного специалиста по клинической микробиологии и антимикробной резистентности Минздрава России, что подчеркивает исключительную значимость этой проблемы, нашедшей отражение на государственном уровне [3].

Перипротезная инфекция суставов является основной причиной неудач при первичном эндопротезировании коленного сустава и третьей по значимости причиной неудач при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава — на ее долю приходится от 15 до 25% всех ревизионных операций тазобедренного сустава. ППИ, вызванная поли- и панрезистентными возбудителями, является основной причиной рецидивирующего течения и наихудшего результата лечения [4, 5].

С ростом антибиотикорезистентности возбудителей ППИ в отдельный список выделили бактерии, которые вызывают инфекции, трудно поддающиеся лечению — «ДТТ» (difficult-to-treat infection) [6, 7]. При выявлении возбудителя из этого списка стандартные методы лечения неприменимы, поскольку они неэффективны и увеличивают количество рецидивов ППИ [4, 5].

Высокая частота рецидивов и неэффективность лечения ППИ побуждают к поискам альтернатив-

ных методов лечения. С каждым днем все больший интерес для лечения ППИ вызывает применение бактериофагов как эффективный и безопасный дополнительный метод лечения. Бактериофаги в основном используются в тяжелых случаях ППИ, вызванной полирезистентными возбудителями в рамках персонализированной медицины. Особым качеством бактериофагов является их способность проникать в бактериальную биопленку, что в комбинации с антибактериальными препаратами может стать перспективным методом лечения ППИ в тяжелых, рецидивирующих случаях [8, 9, 10, 11, 12].

*Цель обзора* — проанализировать применение персонализированных бактериофагов в ходе лечения перипротезной инфекции, вызванной полирезистентными возбудителями, при эндопротезировании крупных суставов нижних конечностей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Был выполнен поиск и анализ опубликованных в мировой литературе публикаций в электронных базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar и Scopus глубиной 20 лет — с 2003 по 2023 г. Поиск выполняли по следующим ключевым словам: бактериофаги, бактериофаготерапия, перипротезная инфекция, bacteriophages, bacteriophage therapy, periprosthetic infection.

*Критерии включения:*

- публикации на русском и английском языках;
- описание клинических случаев и клинические исследования, в которых описывается применение бактериофагов в лечении ППИ тазобедренного и коленного суставов.

Причиной невключения 876 публикаций было отсутствие сведений о характеристике применяемых фагов, исследования, проведенные на животных, случаи применения фагов при хронических остеомиелитах, при отсутствии металлоконструкций и протезов, случаи лечения фагами инфекции после нейроортопедических операций (рис. 1).

Таким образом, из общего массива найденной информации было отобрано 12 полнотекстовых статей, содержащих результаты применения бактериофаготерапии при ППИ, вызванной полирезистентными возбудителями у пациентов после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов [8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

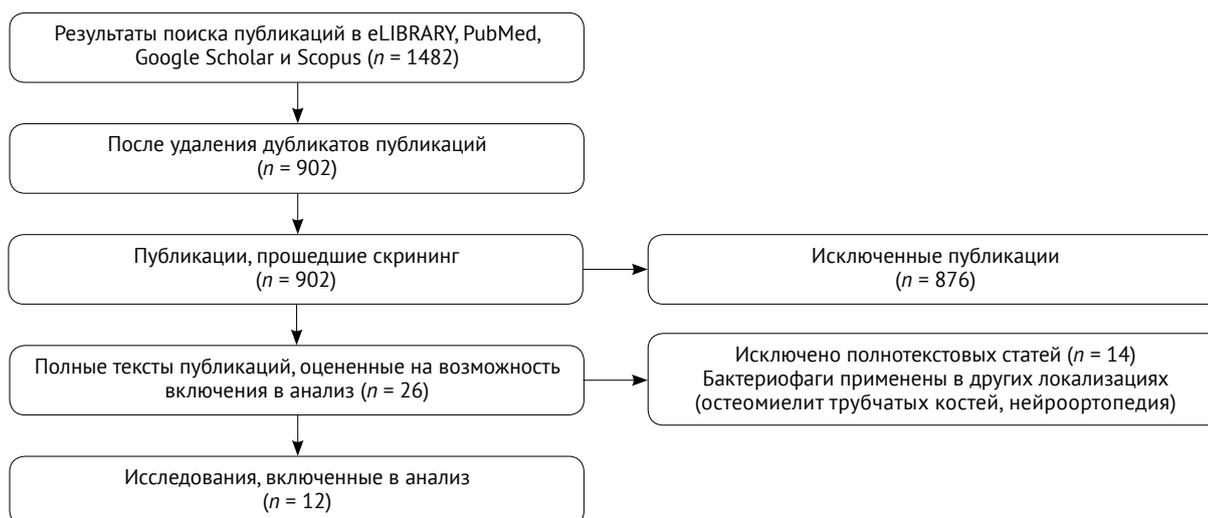


Рис. 1. Блок-схема исследования

Figure 1. Study design flowchart

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Сегодня бактериофаготерапия нашла широкое применение для лечения различных форм инфекционных осложнений области хирургического вмешательства (ИОХВ) [22, 23]. Этот интерес обусловлен увеличением резистентных форм возбудителей имплантат-ассоциированной инфекции, в том числе ППИ. Тем не менее на сегодняшний день публикации, в которых описывается применение фаготерапии для лечения ППИ, представлены в основном лишь клиническими случаями, в которых описаны исходы лечения одного-трех пациентов [8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24]. Только в двух публикациях мы обнаружили исследования с большим количеством пациентов — 10 и 23 человека соответственно [10, 21], на которых хотелось бы остановиться подробнее.

J.V. Doub с соавторами описали 10 случаев применения комбинированной терапии бактериофагами и антибактериальными препаратами при ППИ тазобедренного и коленного суставов, вызванной резистентными возбудителями. Какие именно антибиотики применялись для лечения ППИ, авторы, к сожалению, не указывают [10]. Авторы утверждают, что фаготерапия применялась как дополнение к стандартному лечению ППИ, то есть ее использовали как адъювантную терапию. Фаготерапия в варианте Phago — DAIR (санация с заменой пары трения + фаготерапия) была выполнена при рецидивирующем течении ППИ у пациентов с установленными ревизионными мегапротезами, хорошо фиксированными, без признаков расшатывания, при удалении которых имеется угроза потери не только конечности, но и жизни пациента. Адъювантную фаготерапию использовали как спасительный (последняя линия обороны) метод лечения для сохранения конечности, в связи с чем

выполняли санацию с заменой пары трения для локального снижения бактериальной нагрузки, а при инфицировании мегаэндопротеза коленного сустава применяли санационную эндоскопию с введением фагов в область протеза после предварительной обработки операционной раны щелочным буфером. В шести случаях из 10 авторам удалось сохранить эндопротез, в остальных четырех пришлось прибегнуть к повторной санации и резекционной артропластике. При рецидиве ППИ в трех случаях авторы описывают смену возбудителя ППИ, отличающегося от первичного возбудителя ППИ как по виду, так и по чувствительности к антибиотикам. Это обстоятельство подтверждает эффективность проведенной фаготерапии в отношении чувствительного к фагам первичного возбудителя ППИ, также свидетельствует о множественной этиологии ППИ. При неэффективном лечении ППИ из-за эрадикации лишь одного возбудителя оставшиеся в локусе патогены обуславливают последующее развитие инфекции. В одном из случаев пациенту была выполнена ампутация конечности в связи с развитием контрактуры протезированного сустава, при этом в анамнезе было отмечено успешно проведенное лечение ППИ с применением фагов, и рецидива ППИ не наблюдали [10].

Е. Fedorov с соавторами провели одноцентровое проспективное исследование, в котором применяли комбинированную терапию, включающую фаготерапию и антибиотикотерапию с одноэтапным хирургическим лечением ( $n = 23$ ) и сравнивали результаты со стандартным методом лечения контрольной группы пациентов ( $n = 28$ ). Основную группу ( $n = 23$ ) составили пациенты, которым было проведено одноэтапное реэндопротезирование тазобедренного сустава с имплантацией эндопро-

теза цементной фиксации и применением комбинированной этиотропной системной антибиотикотерапии (цефазолин, ванкомицин, даптомицин) и локальной фаготерапии, наряду с предварительным определением чувствительности возбудителя к бактериофагам и антибактериальным препаратам. Основная и контрольная группы были сопоставимы по возрасту, типу ППИ (поздняя ППИ), по методу хирургического лечения (одноэтапное лечение). При этом отмечено небольшое различие по микробиологическому составу возбудителей ППИ: в основной группе преобладали *S. aureus*, тогда как в контрольной группе было больше CoNS возбудителей [21].

Также обращает на себя внимание относительно короткий срок наблюдения — в течение 12 мес. Тем не менее частота рецидивов в основной группе, в которой проводили фаготерапию, была в 8 раз ниже, чем в контрольной группе, у пациентов которой применяли лишь типичные схемы антибиотикотерапии [21].

Если рассматривать применение фаготерапии у интересующей категории пациентов, то начиная с 2000 г. в литературе было описано всего 45 случаев применения бактериофагов при лечении ППИ коленного и тазобедренного суставов. Исследования опубликованы только с 2018 г. и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Публикации, включенные в анализ

Авторы	Год публикации	Возраст пациентов, лет	Этиология	Кол-во случаев	Срок наблюдения	Рецидив
Ferry T. et al. [8]	2020	80	<i>S. aureus</i>	3	30 мес.	нет
		84	<i>S. aureus</i>		7 мес.	нет
		83	<i>S. aureus</i>		11 мес.	да
Cano E.J. et al. [9]	2021	62	<i>K. pneumoniae</i>	1	12 мес.	нет
Doub J.B. et al. [10]	2022	нет данных	<i>S. aureus</i> — 5 случаев, <i>S. lugdunensis</i> — 2 случая, по одному случаю — <i>S. epidermidis</i> , <i>K. pneumoniae</i> и <i>E. faecalis</i>	10	от 5 мес. до 2,5 лет	нет
Tkhilaishvili T et al. [13]	2019	80	<i>P. aeruginosa</i> , MRSE	1	10 мес.	да
Ferry T. et al. [14]	2020	49	<i>S. epidermidis</i> , <i>S. aureus</i>	1	12 мес.	да
Cesta N. et al. [15]	2023	62	<i>P. aeruginosa</i>	1	24 мес.	нет
Ferry T. et al. [16]	2021	88	<i>P. aeruginosa</i>	1	12 мес.	нет
Ferry T. et al. [17]	2018	80	<i>S. aureus</i>	1	18 мес.	нет
Neuts A.S. et al. [18]	2021	76	<i>E. faecalis</i>	1	36 мес.	нет
Schoeffel J. et al. [19]	2022	64	<i>S. aureus</i>	1	11 мес.	нет
Ramirez-Sanchez C. et al. [20]	2021	61	<i>S. aureus</i>	1	более 6 мес.	да;
Fedorov E. [21]	2023	56,0±14,9	MSSE — 8, MSSA — 8, MRSE — 6, MRSA — 1	23	12 мес.	1 — да 22 — нет

**Применение бактериофагов**

*Способ доставки в инфекционный очаг*

Наиболее распространенные пути введения бактериофагов — в дренажи и/или интраоперационные аппликации [8, 9, 13, 14, 15, 17, 24].

T. Ferry с соавторами применяли фаги в виде гидрогеля с целью пролонгирования действия фагов за счет постепенного высвобождения с течением времени после однократной доставки интраоперационно [14]. Они смешивали суспензии синегнойного и стафилококкового бактериофагов в фосфатно-буферном физиологическом растворе Dulbecco, смешав фаги *P. aeruginosa* и фаги *S. aureus*

в двух различных физиологический растворах по 10 мл в виде «компаундированных» лекарственных препаратов. За рубежом их также называют препаратами Magistral, под которыми понимают исходно базовый, основной фаговый препарат, производство которого находится в США, и на основе него создаются фаговые препараты индивидуального производства непосредственно в стационаре микробиологом и клиническим фармакологом [25]. Полученный таким образом препарат применяют локально в условиях операционной раны. После выполнения хирургической санации операционной раны препарат фагов

в составе гидрогеля наносят на доступную поверхность эндопротеза или вводят непосредственно в рану. Операционная рана после этого зашивается [14]. Исходя из результатов проведенного нами анализа литературных источников, комбинированное применение, т.е. внутривенное и локальное введение в инфицированный сустав использовали лишь в 10 случаях [10, 18].

### Титр фагов и длительность курса фаготерапии

Необходимо отметить, что режимы дозирования для фаготерапии не установлены в связи с малоизученностью данного метода. Режим дозирования в исследованиях, включенных в анализ, характеризовался тем, что титр фаговых препаратов варьировал от  $1 \times 10^7$  до  $1 \times 10^{11}$  БОЕ (бляшкообразующих единиц), а продолжительность применения фаготерапии — от однократного применения до 7 нед.

N. Cesta с соавторами применили монофаги в комбинации с антибактериальными препаратами [15]. Фаготерапию монофагами также провели и E. Fedorov с соавторами [21]. Во всех остальных случаях авторы использовали «коктейль», состоящий из нескольких бактериофагов [8, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 24].

### Осложнения фаготерапии

Во всех описанных клинических случаях не было зарегистрировано значимых осложнений, связанных с применением бактериофагов, что согласуется с общими данными о безопасности фаготерапии. В некоторых случаях были зарегистрированы незначительный подъем температуры тела, локальная гиперемия, которые разрешались самостоятельно [13]. Также при введении фагов внутривенным путем отмечали умеренный подъем уровня трансаминаз АЛТ/АСТ в крови, который снижался до нормальных значений после отмены фаготерапии [10, 17].

### Особенности применения фагов в ране

Одной из особенностей применения фагов является стремление повлиять на изменение pH операционной раны, для чего после хирургической процедуры в область операции и каждый раз перед введением фагов в дренаж вводили 5 мл бикарбоната натрия (1,4%) [13].

Об этом же упоминают Т. Tkhalishvili с соавторами в своем исследовании. Они обрабатывали операционное поле и тщательно промывали рану 2–3% раствором бикарбоната натрия; при этом авторы уточняют, что антисептический раствор ими не применялся. Целесообразность такой тактики обусловлена стремлением изменить кислотность среды в сторону щелочной и тем самым избежать

риска разрушающего действия антисептиков на фаги, что теоретически повысит эффективность бактериофаготерапии [13].

### Эффективность фаготерапии у пациентов с перипротезной инфекцией

Фаготерапию в опубликованных работах оценивают как эффективную, когда происходит купирование инфекционного процесса в тяжелых случаях ППИ тазобедренного и коленного суставов, вызванной антибиотикорезистентными бактериями. Полное купирование инфекционного процесса без рецидивов ППИ отмечается в 42 случаях (89,4%), рецидив ППИ описан только в 5 случаях (10,6%). Следует отметить, что пациентам, у которых был отмечен рецидив ППИ, проведены повторное хирургическое лечение и дополнительный курс фаготерапии, после чего была отмечена стойкая ремиссия за весь период наблюдения, который составлял от 5 до 36 мес. [8, 18, 24].

### ОБСУЖДЕНИЕ

Возрождение интереса к фаготерапии объясняется увеличением числа возбудителей ППИ, устойчивых к антибактериальным препаратам, при этом фаготерапия может использоваться и как дополнение к антибиотикам, и как самостоятельный альтернативный метод лечения ППИ [26].

Бактериофаги являются самовоспроизводящимися вирусными частицами, и однократного введения теоретически должно быть достаточно для лечения бактериальной инфекции. Однако некоторые исследования показали, что использование нескольких доз фагов лучше, чем однократная доза [27, 28].

Во всех случаях лечения ППИ, описанных в анализируемых публикациях, фаготерапия сопровождалась антибактериальной терапией: назначались доксициклин SAT, моноциклин, даптомицин, цефтазидим, ципрофлоксацин и рифампицин, колистин, меропенем, амоксициклин, цефтаролин. На сегодняшний день отказ от антибиотиков запрещен законом и всеми нормами лечения инфекционных процессов в организме человека, именно поэтому монотерапию бактериофагами, как правило, не применяли. При этом не следует их противопоставлять, потому что в ряде исследований фаги рассматривают как полезное дополнение к антибиотикотерапии [29, 30]. Также есть работы, авторы которых выдвигают теорию об увеличении чувствительности к антибактериальным препаратам на фоне использования бактериофаготерапии, в частности при инфекции, вызванной возбудителями с множественной лекарственной устойчивостью [13, 31].

При оценке безопасности фаготерапии в 33 случаях из 45 нежелательных реакций не отмечено.

В оставшихся 12 случаях описаны следующие реакции. E.J. Sano с соавторами провели курс из 40 доз внутривенного введения фага КрJH46Ф2 одному пациенту и описали нежелательные явления в виде незначительного и периодически возникающего зуда в правой нижней конечности, в которой находился очаг воспалительного процесса, примерно через 2 нед. после начала терапии, при этом явных побочных эффектов от инфузий не регистрировали [9]. T. Tkhalishvili с соавторами сообщают, что через 4 нед. после реимплантации прием колистина и цефтазидима был прекращен из-за нефротоксичности (скорость клубочковой фильтрации достигла 12 мл/мин.) и нейротоксичности (спутанность сознания, дезориентация и возбуждение), при этом это нежелательное явление авторы никак не связывают с фаготерапией. Авторы заявляют, что это обстоятельство требует уточнения, и отразили его для полноты клинической картины [13].

Обращает на себя внимание еще одно осложнение, описанное T. Ferry с соавторами. На фоне применения «коктейля» из фагов PP1493 и PP1815 в титре  $1 \times 10^9$  ед./мл через 5 дней после операции и начала фаготерапии у пациента развился инфаркт миокарда. Потребовалось экстренное стентирование с двойной антитромбоцитарной терапией салициловой кислотой и тикагрелором (антагонист рецептора P2Y<sub>12</sub>). Это осложнение может напрямую быть связано с цитокиновыми реакциями и повышением концентрации маркеров воспаления при применении фагов, с активизацией тромбоцитарного звена и развитием тромбозов [14].

J. Schoeffel с соавторами сообщают о росте показателей АСТ и АЛТ до 136 ммоль/л и 86 ммоль/л соответственно после третьей внутривенной дозы бактериофагов, в связи с чем введение было прекращено [19]. Об аналогичном эффекте сообщают J.V. Doub с соавторами — после введения трех доз бактериофагов у пациентки наблюдали повышение уровня АСТ и АЛТ в 2,5 раза по сравнению с верхней границей нормы. Спустя четыре дня после отмены фагов показатели нормализовались. Однако в другом клиническом случае те же J.V. Doub с соавторами сообщают, что при применении литических бактериофагов против метициллинрезистентного золотистого стафилококка (MRSA) у пациента не было никаких побочных реакций, и ежедневные анализы не выявили какого-либо нарушения функции печени, поэтому синдром цитолиза гепатоцитов с ростом внутриклеточных аминотрансфераз нужно на этом этапе трактовать с определенной осторожностью как проявление эндотоксикоза, обусловленного лизисом бактерий [10].

Наиболее ожидаемое осложнение приведено в клиническом случае, описанном N. Cesta с соавторами. Эпизод представлял собой классическую

реакцию на введение бактериофага (phage Pa53) — повышение температуры тела до 39°C и озноб после первого введения 10 мл в дренаж, в связи с чем пациенту впоследствии снизили дозировку фагового препарата до 5 мл кратностью 3 раза в день со 2-го по 15-й день лечения фагом. При последующем введении каких-либо побочных реакций не отмечено. Несмотря на то, что титр фага был довольно низким ( $10^5$  БОЕ/мл), авторы были вынуждены применить фаготерапию и вводить препарат в дренаж в течение 14 дней по настоянию пациента. При этом контроль за уровнем эндотоксина в растворе с фагами уже не проводили, поэтому, с чем конкретно была связана пирогенная реакция, осталось невыясненным [15].

Интересное наблюдение приводят С. Ramirez-Sanchez с соавторами. Пациентка в возрасте 61 года успешно получила два курса бактериофаготерапии, проведенных во время двухэтапного лечения ППИ коленного сустава, вызванной золотистым стафилококком (MSSA). При использовании «коктейля» AB-SA01, который включал три фага (J-Sa36, Sa83 и Sa87), при уровне в нем эндотоксина меньше единицы (<1 ЕД/мл) авторы не отметили осложнений, связанных с введением бактериофагов. Но при оценке гуморального ответа на парентеральное введение фага в сыворотке крови были выявлены нейтрализующие фаг антитела. Они присутствовали в сыворотке крови пациентки как в начале лечения (наличие антител к фагам может быть нормой для человеческой популяции), так и по завершении фаготерапии, причем в повышенной концентрации. В связи с этим при развитии гуморального иммунного ответа на введение фагов можно ожидать уменьшение их титра, что допустимо расценивать как нежелательные явления фаготерапии [20].

Ряд авторов сообщают о применении фаготерапии при тяжелом течении хронической ППИ, вызванной полирезистентными патогенами, у пациентов с ревизионными стабильными конструкциями (мегаэндопротезами). После рецидивов ППИ у пациентов, получивших стандартные методы лечения, такие как DAIR, одно- и двухэтапное хирургическое лечение с установкой спейсера, и даже резекционную артропластику, применялась фаготерапия с целью сохранения мегаэндопротезов [8, 9, 10, 14, 15, 17, 19, 20].

В 13 случаях рецидива ППИ при отсутствии признаков расшатывания компонентов мегаэндопротеза пациентам проводили Phago — DAIR с заменой пары трения, после чего начинали комбинированную терапию бактериофагами и антибиотиками [8, 10, 14, 15, 17]. Эта методика была применена в тех случаях, когда удаление инфицированного протеза однозначно могло привести к потере анатомических структур конечности.

Е. J. Sano с соавторами и Т. Ferru с соавторами описали следующую тактику: в связи с дефицитом мягких тканей в области инфицированного сустава и предположением о возможном длительном заживлении послеоперационной раны, при обязательном отсутствии признаков расшатанности эндопротезов, проводили артроскопическую санацию через выполненные переднемедиальный и переднебоковой порты. В ходе санации промывали инфицированный протезированный сустав только физиологическим раствором и в конце процедуры вводили по 30 мл суспензии фага, после чего кожные раны от портов ушивали [9, 16]. Отсутствие рецидивов свидетельствовало о правильно выбранной тактике.

J. Schoeffel с соавторами описывают применение бактериофагов на фоне рецидива ППИ тазобедренного и коленного суставов после установки спейсеров. При рецидиве ППИ, вызванной MRSA, пациенту была проведена повторная установка спейсеров тазобедренного и коленного суставов с ванкомицином и тобрамицином, после чего применен «коктейль» фагов (SaWIQ0488ø1) вместе с этиотропной антибактериальной терапией (даптомицин, рифампицин) [19].

Аналогичные случаи описывают Т. Tkhliaishvili с соавторами и С. Ramirez-Sanchez с соавторами. Авторы также получили рецидив ППИ коленного сустава после выполнения первого этапа лечения, в связи с чем инфицированный спейсер был удален, и вместо него был установлен новый спейсер, содержащий антибиотик (ванкомицин/тобрамицин)/(гентамицин, клиндамицин) с назначением этиотропной антибактериальной терапии (ванкомицин)/(рифампицин, доксициклин) и с дальнейшим применением бактериофаготерапии (AB-SA01 (J-Sa36-Sa83-Sa87)) [13, 20].

A.S. Neuts с соавторами применили комбинированную терапию бактериофагами и антибиотиками у пациента после рецидивирующего течения ППИ тазобедренного сустава, вызванной полирезистентным *Enterococcus faecalis*. Пациенту была выполнена резекционная артропластика с удалением всех компонентов инфицированного эндопротеза, после чего были применены терапия фагами и этиотропная антибактериальная терапия. Об успешности терапии можно судить по описанию авторами результата лечения: прием всех антибиотиков был прекращен, на контрольном осмотре пациент не предъявлял жалоб [18].

Е. Fedorov с соавторами проводили фаготерапию предложенным ими оригинальным методом, ранее не описанным ни в одной из опубликованных статей. Авторы добавили фабричные бактериофаги в костный цемент для местной терапии фагами и также дополнительно вводили фаги через дренажную трубку в первый день по-

сле операции, после чего дренаж удаляли, и далее пункционным методом в течение 9 дней вводили фаг в область эндопротеза. Эффективность, по утверждению авторов, составила 95% [21].

Вызывают определенный интерес также исследования, направленные на изучение взаимодействия фагов с антибиотиками. N. Cesta с соавторами показали, что минимальная подавляющая концентрация меропенема на конкретную бактерию-возбудитель ППИ *P. aeruginosa* составляла 8 мкг/мл. При этом авторами отмечено, что воздействие на нее бактериофага с концентрацией  $10^8$  БОЕ/мл в течение 24 ч. не привело к эрадикации бактерии-возбудителя ППИ, тогда как при сочетании бактериофага в аналогичном титре с меропенемом, применяемом даже в более низкой концентрации в 1 мкг/мл, уже в течение 24 ч. можно добиться эрадикации возбудителя [15].

При использовании фаготерапии для лечения ППИ необходимо различать эффективность применения фаготерапии и эффективность лечения ППИ — это два совершенно не тождественных друг другу явления, что отражает суть применения фагов.

Т. Ferru с соавторами для контроля эффективности фаготерапии прибегали к открытой биопсии тканей и методом ПЦР исключали наличие ДНК стартового возбудителя *S. aureus* после фаготерапии. Отсутствие в перипротезных тканях целевого для фага возбудителя, а также его ДНК, были критерием эффективности применения фага [8]. Точно также поступили J. Schoeffel с соавторами, когда при повторной установке спейсера они не обнаружили признаков инфекции после взятия биоптатов и несмотря на это ввели бактериофаг SaWIQ0488ø1 в дозе  $1,2 \times 10^9$  ЕД в 10 мл NS. В дальнейшем при бактериологическом исследовании все интраоперационные бактериологические посева из мягких тканей, бедренного канала и девитализированной бедренной кости дали отрицательный результат [19].

Для доказательства эффективности фаготерапии С. Ramirez-Sanchez с соавторами провели у пациента многократные ( $n = 25$ ) посева синовиальной жидкости и раневых биоптатов. По результатам бактериологического исследования все материалы не были контаминированы MSSA, наличие которого определяли до фаготерапии [20]. Такая обнадеживающая ситуация возможна только при ППИ, вызванной одним возбудителем, против которого применяется определенный фаг, с предварительной оценкой чувствительности возбудителя к нему.

В случаях ППИ, вызванной несколькими возбудителями, возможно достичь эрадикации целевого (одного) возбудителя конкретным фагом или «коктейлем» фагов и тем самым добиться положи-

тельного результата фаготерапии, но не достичь купирования ППИ. Развившийся далее рецидив ППИ поддерживается уже следующим, конкурентным предыдущему возбудителем, который до того находился в состоянии состязательного антагонистического подавления и после устранения фагами конкурента занял освободившуюся нишу в сценарии течения ППИ [11].

Есть следующие подтверждения этой гипотезы.

В 4 (9%) случаях из 45 произошла смена ведущего возбудителя ППИ:

- 1) *E. faecalis* сменился на MRSA;
- 2) *P. aeruginosa* и MSSA сменились на «комменсалов» — *Citrobacter koseri*;
- 3) *S. aureus* сменился на *P. aeruginosa*, *Achromobacter* spp. и *Proteus mirabilis*;
- 4) *P. aeruginosa* сменился MRSE.

J.B. Doub с соавторами описали рецидив ППИ после применения литического бактериофага *E. faecalis*. Причиной рецидива определили MRSA, что потребовало ампутации у пациента конечности ниже колена [32].

T. Ferry с соавторами описывают рецидив ППИ, приводя клинический пример использования двух фагов против *S. aureus* — PP1493 и PP1815. Через 5 сут. из раны были выделены другие возбудители ППИ — *P. aeruginosa* и *Achromobacter* spp., а также *Proteus mirabilis*, которые были расценены как ко-инфекты, при этом роста *S. aureus* не выявили. Исходные препараты в схеме антибактериальной терапии были заменены на цефтазидим, ципрофлоксацин и рифампицин [16].

Смену возбудителя с рецидивом ППИ после целевой фаготерапии против *P. aeruginosa* (она всегда целевая) описывают также и Т. Tkhalishvili с соавторами. Через 2 нед. после экплантации протеза у пациента появились гнойные выделения, по поводу чего были проведены санация и замена спейсера. По результатам бактериологического исследования из образцов соникационной жидкости был выделен штамм MRSE, но при этом не была выделена *P. aeruginosa*, против которой изначально была применена фаготерапия. На основании этих результатов была проведена корректировка этиотропной антибактериальной терапии: меропенем был заменен даптомицином (по 700 мг каждые 48 ч.), который добавляли к колистину для внутривенного введения и цефтазидиму. После антибактериальной терапии при ревизионном протезировании были взяты биоптаты, в ходе анализа которых роста патогенных микроорганизмов не выявили. Таким образом, эффективная фаготерапия привела к рецидиву ППИ со сменой возбудителя и последующим назначением этиотропной антибиотикотерапии с учетом изменения возбудителя в очаге ППИ, обеспечив тем самым клинический эффект лечения ППИ [13].

Схожий клинический случай описали N. Cesta с соавторами. На 14-й день применения фага Pa53 и антибактериальной терапии (меропенем) у пациента сформировался свищ при отсутствии покраснения, отека или боли на стороне поражения. Из свищевого хода взяли мазок, и в результате проведенного бактериологического исследования был верифицирован метициллинрезистентный *S. hominis*, но *P. aeruginosa* уже отсутствовала, что констатирует эффективность проведенной фаготерапии [15].

Лечение ППИ с применением адьювантной фаготерапии не всегда эффективно. Из 45 представленных случаев в 2 наблюдениях пришлось прибегнуть к ампутации из-за рецидива ППИ со сменой возбудителя [16, 32].

Эффективность лечения ППИ всегда описывается в соответствии с критериями сроков наблюдения. Для оценки отдаленных результатов критерием служит отсутствие рецидива ППИ, например, в течение 2 лет после завершения лечения, или отсутствие свищей в области протезированного сустава. При оценке ближайших результатов критерием эффективности лечения ППИ служит уровень С-реактивного белка в пределах референтных значений — от 0 до 5 мг/л.

T. Ferry с соавторами главным признаком эффективности лечения ППИ с использованием фагов считают стерильность синовиальной жидкости без признаков суперинфекции и отрицательные результаты ПЦР. Сам факт наличия свища с выделением синовиальной жидкости и повышение уровня содержания в крови С-реактивного белка до 20 мг/л в течение 11 мес. как проявление ППИ, вызванной культуронегативными организмами, ими не учитывается [8].

E.J. Sano с соавторами указывают срок наблюдения за пациентами с ППИ, лечение которых проводилось с применением фагов, до 34 нед. с исчезновением местных симптомов и признаков инфекции и восстановлением функции протезированного сустава [9].

T. Ferry с авторами после применения антистафилококковых фагов PP1493 и PP1815 в гидрогеле при MRSA отметили на 5-е сут. в гематоме области послеоперационного рубца появление новых возбудителей — *P. aeruginosa*, *Achromobacter* spp. и *Proteus mirabilis*. При этом возбудитель ППИ, против которого проводилась таргетная фаготерапия, не выделялся. Дальнейшее лечение ППИ было неэффективно. Через год после фаготерапии была выполнена трансфеморальная ампутация нижней конечности. Во время ампутации взяты биоптаты, и по результатам бактериологического исследования в образцах ткани регистрировали наличие нескольких патогенов — *Streptococcus anginosus*, *Fingoldia magna*, *P. mirabilis* и *S. aureus* (генетичес-

ки различный с первоначальным возбудителем). Патоморфологический анализ костной ткани не выявил инфильтрации воспалительными клетками. Авторы констатируют факт эрадикации одного штамма фагами (эффективная фаготерапия) при прогрессировании перипротезной полимикробной инфекции [16].

Одной из основных причин неудачного лечения ППИ являются бактерии, которые образуют биопленку на ортопедических имплантатах, поскольку за счет способности образовывать биопленки бактерии получают повышенную устойчивость к антибактериальным препаратам [33, 34]. В последние годы предприняты попытки разрушить биопленки для увеличения эффективности антибактериальных препаратов. Появляются публикации, авторы которых демонстрируют, что бактериофаги способны не только разрушать бактериальную биопленку, увеличивая эффективность антибактериальных препаратов, но и лизировать бактерии, вызвавшие ППИ внутри биопленок [17, 35]. Более того, есть мнение, что фаги способны проникать через бактериальную биопленку и самостоятельно усиливать свою локальную концентрацию для достижения мощного терапевтического эффекта [11].

Фаготерапия имеет огромный потенциал для лечения ППИ, вызванной антибиотикорезистент-

ными бактериями. В США достигли первого консенсуса о выборе алгоритма фаготерапии при лечении ППИ, что подчеркивает серьезные намерения наших зарубежных коллег в создании нового направления антибактериальной терапии [26]. Надеемся, что будет положено начало широкому применению фаготерапии в отечественной клинической практике.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный нами анализ литературы показал, что можно говорить о реализованных возможностях, безопасности (сравнительно легкой переносимости пациентами) и эффективности комбинированной терапии фагами и антибактериальными препаратами. Бактериофаготерапия представляет собой перспективное направление в борьбе с резистентными формами возбудителей ППИ. Доклинические и клинические исследования с использованием фаготерапии с антибактериальными препаратами демонстрируют очень хорошие результаты. Однако описанных случаев недостаточно для формирования клинических рекомендаций по выбору наиболее эффективного пути введения и длительности применения фаготерапии, в связи с чем необходимы дополнительные исследования с глубоким анализом особенностей, безопасности и эффективности ее применения.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Шералиев Т.У.* — концепция обзора, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

*Самохин А.Г.* — поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

*Таштанов Б.Р.* — поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

*Корыткин А.А.* — концепция обзора, поиск и анализ литературы, редактирование текста рукописи.

*Павлов В.В.* — концепция обзора, поиск и анализ литературы, редактирование текста рукописи.

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

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

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Не требуется.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Sheraliev T.U.* — review concept, literature search and review, editing the manuscript, drafting the manuscript.

*Samokhin A.G.* — literature search and review, drafting the manuscript.

*Tashtanov B.R.* — literature search and review, drafting the manuscript.

*Korytkin A.A.* — review concept, literature search and review, editing the manuscript.

*Pavlov V.V.* — review concept, literature search and review, editing the manuscript.

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

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

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Шералиев Т.У., Федоров Е.А., Гольник В.Н., Павлов В.В. Перипротезная инфекция при эндопротезировании тазобедренного сустава: особенности современной этиологии, проблемы и перспективы диагностики: монография. Красноярск: Научно-инновационный центр; 2021. 230 с. doi: 10.12731/978-5-907208-50-6. Sheraliev T.U., Fedorov E.A., Golnik V.N., Pavlov V.V. Periprosthetic infection during hip replacement: features of modern etiology, problems and diagnostic prospects: monograph. Krasnoyarsk: Scientific and Innovation Center; 2021. 230 p. (In Russian). doi: 10.12731/978-5-907208-50-6.
2. Asokan G.V., Ramadhan T., Ahmed E., Sanad H. WHO Global Priority Pathogens List: A Bibliometric Analysis of Medline-PubMed for Knowledge Mobilization to Infection Prevention and Control Practices in Bahrain. *Oman Med J.* 2019;34(3):184-193. doi: 10.5001/omj.2019.37.
3. Козлов Р.С., Голуб А.В. Остановить темпы роста антибиотикорезистентности микроорганизмов сегодня — дать шанс на выживание человечества завтра. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2019;21(4):310-315. doi: 10.36488/cmasc.2019.4.310-315. Kozlov R.S., Golub A.V. To stop the progress of antimicrobial resistance today means to give a chance of mankind surviving tomorrow. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy.* 2019;21(4):310-315. (In Russian). doi: 10.36488/cmasc.2019.4.310-315.
4. Darwich A., Dally F.J., Abu Olba K., Mohs E., Gravius S., Hetjens S. et al. Superinfection with Difficult-to-Treat Pathogens Significantly Reduces the Outcome of Periprosthetic Joint Infections. *Antibiotics (Basel).* 2021;10(10):1145. doi: 10.3390/antibiotics10101145.
5. Wimmer M.D., Hischebeth G.T.R., Randau T.M., Gathen M., Schildberg F.A., Fröschen F.S. et al. Difficult-to-treat pathogens significantly reduce infection resolution in periprosthetic joint infections. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2020;98(2):115114. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115114.
6. Винклер Т., Трампуш А., Ренц Н., Перка К., Божкова С.А. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016;22(1):33-45. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45. Winkler T., Trampuz A., Renz N., Perka C., Bozhkova S.A. Classification and algorithm for diagnosis and treatment of hip prosthetic joint infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016;22(1):33-45. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45.
7. Ливенцов В.Н., Божкова С.А., Кочиш А.Ю., Артюх В.А., Разоренов В.Л., Лабутин Д.В. Трудноизлечимая перипротезная инфекция тазобедренного сустава: результаты saniрующих операций. *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):88-97. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-88-97. Liventsov V.N., Bozhkova S.A., Kochish A.Yu., Artyukh V.A., Razorenov V.L., Labutin D.V. Difficult-To-Treat Periprosthetic Hip Infection: Outcomes of Debridement. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019;25(4):88-97. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-88-97.
8. Ferry T., Kolenda C., Batailler C., Gustave C.A., Lustig S., Malatray M. et al. Phage Therapy as Adjuvant to Conservative Surgery and Antibiotics to Salvage Patients With Relapsing *S. aureus* Prosthetic Knee Infection. *Front Med (Lausanne).* 2020;7:570572. doi: 10.3389/fmed.2020.570572.
9. Cano E.J., Cafilisch K.M., Bollyky P.L., Van Bellegem J.D., Patel R., Fackler J. et al. Phage Therapy for Limb-threatening Prosthetic Knee *Klebsiella pneumoniae* Infection: Case Report and In Vitro Characterization of Anti-biofilm Activity. *Clin Infect Dis.* 2021;73(1):e144-e151. doi: 10.1093/cid/ciaa705.
10. Doub J.B., Johnson A.J., Nandi S., Ng V., Manson T., Lee M. et al. Experience Using Adjuvant Bacteriophage Therapy for the Treatment of 10 Recalcitrant Periprosthetic Joint Infections: A Case Series. *Clin Infect Dis.* 2023;76(3):e1463-e1466. doi: 10.1093/cid/ciac694.
11. Kovacs C.J., Rapp E.M., McKenzie S.M., Mazur M.Z., Mchale R.P., Brasko B. et al. Disruption of Biofilm by Bacteriophages in Clinically Relevant Settings. *Mil Med.* 2023;189(5-6):e1294-e1302. doi: 10.1093/milmed/usad385.
12. Ландышев Н.Н., Воронько Я.Г., Тимошина О.Ю., Суслина С.Н., Акимкин В.Г., Мирошников К.А. Обзор законодательства в области обращения персонализированных препаратов бактериофагов. *Вопросы вирусологии.* 2020;65(5):259-266. doi: 10.36233/0507-4088-2020-65-5-2. Landyshev N.N., Voronko Ya.G., Timoshina O.Yu., Suslina S.N., Akimkin V.G., Miroshnikov K.A. A review of the regulatory framework for personalized bacteriophages registration. *Problems of Virology.* 2020;65(5):259-266. (In Russian). doi: 10.36233/0507-4088-2020-65-5-2.
13. Tkhilashvili T., Winkler T., Müller M., Perka C., Trampuz A. Bacteriophages as Adjuvant to Antibiotics for the Treatment of Periprosthetic Joint Infection Caused by Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Antimicrob Agents Chemother.* 2019;64(1):e00924-19. doi: 10.1128/AAC.00924-19.
14. Ferry T., Batailler C., Petitjean C., Chateau J., Fevre C., Forestier E. et al. The Potential Innovative Use of Bacteriophages Within the DAC® Hydrogel to Treat Patients With Knee Megaprosthesis Infection Requiring “Debridement Antibiotics and Implant Retention” and Soft Tissue Coverage as Salvage Therapy. *Front Med (Lausanne).* 2020;7:342. doi: 10.3389/fmed.2020.00342.
15. Cesta N., Pini M., Mulas T., Materazzi A., Ippolito E., Wagemans J. et al. Application of Phage Therapy in a Case of a Chronic Hip-Prosthetic Joint Infection due to *Pseudomonas aeruginosa*: An Italian Real-Life Experience and In Vitro Analysis. *Open Forum Infect Dis.* 2023;10(2):ofad051. doi: 10.1093/ofid/ofad051.
16. Ferry T., Kolenda C., Batailler C., Gaillard R., Gustave C.A., Lustig S. et al. Case Report: Arthroscopic “Debridement Antibiotics and Implant Retention” With Local Injection of Personalized Phage Therapy to Salvage a Relapsing *Pseudomonas Aeruginosa* Prosthetic Knee Infection. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:569159. doi: 10.3389/fmed.2021.569159.
17. Ferry T., Leboucher G., Fevre C., Herry Y., Conrad A., Josse J. et al. Salvage Debridement, Antibiotics and Implant Retention («DAIR») With Local Injection of a Selected Cocktail of Bacteriophages: Is It an Option for an Elderly Patient With Relapsing *Staphylococcus aureus* Prosthetic-Joint Infection? *Open Forum Infect Dis.* 2018;5(11):ofy269. doi: 10.1093/ofid/ofy269.

18. Neuts A.S., Berkhout H.J., Hartog A., Goosen J.H.M. Bacteriophage therapy cures a recurrent Enterococcus faecalis infected total hip arthroplasty? A case report. *Acta Orthop.* 2021;92(6):678-680. doi: 10.1080/17453674.2021.1968714.
19. Schoeffel J., Wang E.W., Gill D., Frackler J., Horne B., Manson T. et al. Successful Use of Salvage Bacteriophage Therapy for a Recalcitrant MRSA Knee and Hip Prosthetic Joint Infection. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2022; 15(2):177. doi: 10.3390/ph15020177.
20. Ramirez-Sanchez C., Gonzales F., Buckley M., Biswas B., Henry M., Deschenes M.V. et al. Successful Treatment of Staphylococcus aureus Prosthetic Joint Infection with Bacteriophage Therapy. *Viruses*. 2021;13(6):1182. doi: 10.3390/v13061182.
21. Fedorov E., Samokhin A., Kozlova Y., Kretien S., Seraliev T., Morozova V. et al. Short-Term Outcomes of Phage-Antibiotic Combination Treatment in Adult Patients with Periprosthetic Hip Joint Infection. *Viruses*. 2023;15(2):499. doi: 10.3390/v15020499.
22. Clarke A.L., De Soir S., Jones J.D. The Safety and Efficacy of Phage Therapy for Bone and Joint Infections: A Systematic Review. *Antibiotics (Basel)*. 2020;9(11):795. doi: 10.3390/antibiotics9110795.
23. Лыско К.А., Отрашевская Е.В., Игнатъев Г.М. Лечебно-профилактические препараты бактериофагов: краткий обзор производства и применения. *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение*. 2013;(4):4-9.  
Lysko K.A., Otrashkevskaya E.V., Ignatyev G.M. Curative and preventive bacteriophage drugs: short review of manufacturing and use. *Biological Products. Prevention, Diagnosis, Treatment*. 2013;(4):4-9. (In Russian).
24. Wang L., Di Luca M., Tkhilashvili T., Trampuz A., Gonzalez Moreno M. Synergistic Activity of Fosfomycin, Ciprofloxacin, and Gentamicin Against Escherichia coli and Pseudomonas aeruginosa Biofilms. *Front Microbiol.* 2019;10:2522. doi: 10.3389/fmicb.2019.02522.
25. Pirnay J.P., Verbeken G., Ceyskens P.J., Huys I., De Vos D., Ameloot C. et al. The Magistral Phage. *Viruses*. 2018;10(2):64. doi: 10.3390/v10020064.
26. Suh G.A., Lodise T.P., Tamma P.D., Knisely J.M., Alexander J., Aslam S. et al. Considerations for the Use of Phage Therapy in Clinical Practice. *Antimicrob Agents Chemother.* 2022;66(3):e0207121. doi: 10.1128/AAC.02071-21.
27. Patey O., McCallin S., Mazure H., Liddle M., Smithyman A., Dublanche A. Clinical Indications and Compassionate Use of Phage Therapy: Personal Experience and Literature Review with a Focus on Osteoarticular Infections. *Viruses*. 2018;11(1):18. doi: 10.3390/v11010018.
28. Ly-Chatain M.H. The factors affecting effectiveness of treatment in phages therapy. *Front Microbiol.* 2014;5:51. doi: 10.3389/fmicb.2014.00051.
29. Chan B.K., Sstrom M., Wertz J.E., Kortright K.E., Narayan D., Turner P.E. Phage selection restores antibiotic sensitivity in MDR Pseudomonas aeruginosa. *Sci Rep.* 2016;6:26717. doi: 10.1038/srep26717.
30. Gu Liu C., Green S.L., Min L., Clark J.R., Salazar K.C., Terwilliger A.L. et al. Phage-Antibiotic Synergy Is Driven by a Unique Combination of Antibacterial Mechanism of Action and Stoichiometry. *mBio*. 2020;11(4):e01462-20. doi: 10.1128/mBio.01462-20.
31. Racenis K., Rezevska D., Madelane M., Lavrinovics E., Djebara S., Petersons A. et al. Use of Phage Cocktail BFC 1.10 in Combination With Ceftazidime-Avibactam in the Treatment of Multidrug-Resistant Pseudomonas aeruginosa Femur Osteomyelitis-A Case Report. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:851310. doi: 10.3389/fmed.2022.851310.
32. Doub J.B., Chan B., Johnson A.J. Salphage: Salvage bacteriophage therapy for a chronic Enterococcus faecalis prosthetic joint infection. *IDCases*. 2023;33:e01854. doi: 10.1016/j.idcr.2023.e01854.
33. Mah T.F., O'Toole G.A. Mechanisms of biofilm resistance to antimicrobial agents. *Trends Microbiol.* 2001; 9(1):34-39. doi: 10.1016/s0966-842x(00)01913-2.
34. Гордина Е.М., Божкова С.А. Бактериальные биопленки в ортопедии: проблема и возможные перспективы профилактики. *PMЖ*. 2021;8:29-32.  
Gordina E.M., Bozhkova S.A. Bacterial biofilms in orthopedics: the problem and possible prospects for prevention. *RMJ*. 2021;8:29-32. (In Russian).
35. Akanda Z.Z., Taha M., Abdelbary H. Current review-The rise of bacteriophage as a unique therapeutic platform in treating peri-prosthetic joint infections. *J Orthop Res*. 2018;36(4):1051-1060. doi: 10.1002/jor.23755.

#### Сведения об авторах

✉ Шералиев Таалайбек Усеналиевич  
Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17  
<https://orcid.org/0000-0002-7261-2730>  
e-mail: sheraliev.taalai@mail.ru

Самохин Александр Геннадьевич — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0001-5599-3925>  
e-mail: motorist@inbox.ru

Таштанов Байкожо Рустамович  
<https://orcid.org/0000-0002-8553-9712>  
e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>  
e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>  
e-mail: pavlovdoc@mail.ru

#### Authors' information

✉ Taalaibek U. Sheraliev  
Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-7261-2730>  
e-mail: sheraliev.taalai@mail.ru

Alexander G. Samokhin — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0001-5599-3925>  
e-mail: motorist@inbox.ru

Baikozho R. Tashtanov  
<https://orcid.org/0000-0002-8553-9712>  
e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>  
e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>  
e-mail: pavlovdoc@mail.ru