

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



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY
AND ORTHOPEDICS
OF RUSSIA

2025 • Т. 31 • № 3

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 31, No 3, 2025

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, 191181, Russia
E-mail: info@eco-vector.com
<https://eco-vector.com>
Phone: +7(812)648-83-67

EDITORIAL OFFICE

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

INDEXING

Scopus
Emerging Sources Citation Index (Web of Science)
Russian Science Citation Index
Google Scholar
BASE
Dimensions
Directory of Open Access Journals (DOAJ)

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 the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media.
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: S.V. Gavrilova
Translators: M.A. Sergeeva, A.E. Chepushtanova

Printed in "Typography Lesnik",
197183, St. Petersburg, Sabirovskaya st., 37,
office 206

© Vreden National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg,
Russia, 2025
© Eco-Vector, 2025

Editor-in-Chief

Rashid M. Tikhilov – Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the RAS
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics,
St. Petersburg, Russia)
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

Deputy Editor-in-Chief

Igor I. Shubnyakov – Dr. Sci. (Med.)
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics,
St. Petersburg, Russia)
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>

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, Full Member of the RAS
(St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia)
Igor G. Belenkiy – Dr. Sci. (Med.), Professor (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 (Olymp Clinic MARS, Moscow, Russia)
Andrey A. Korytkin – Cand. Sci. (Med.) (Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology
and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)
Dmitry S. Kudashev – Dr. Sci. (Med.) (Samara State Medical University, Samara, Russia)
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)
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 (OCM Klinik, 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 31, Выпуск 3, 2025

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: 191181, г. Санкт-Петербург,
Аптекарский пер., д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
https://eco-vector.com
Тел.: +7(812)648-83-67

РЕДАКЦИЯ

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

ИНДЕКСАЦИЯ

Scopus
Emerging Sources Citation Index (Web of Science)
RSCI
РИНЦ
Google Scholar
BASE
Dimensions
Directory of Open Access Journals (DOAJ)

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 в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 10 декабря 2021 г. (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-82474).



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

Подписные индексы:

Пресса России – 333020
Глобал Пресс – 33020
Урал-Пресс – 33020; 85760

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: 09.09.2025.
Выпуск в свет: 22.09.2025.
Формат 60×84¹/₈. Объем 19,25 печ. л.
Заказ № 25НФ-095035.
Тираж 150 экз. Цена свободная.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург,
ул. Сабировская, д. 37, литера Д, комната 206.

18+

© ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России, 2025
© ООО «Эко-Вектор», 2025

Главный редактор

Тихилов Рашид Муртузалиевич — д-р мед. наук, профессор, чл.-кор. РАН
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

Заместитель главного редактора

Шубняков Игорь Иванович — д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>

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. — д-р мед. наук, профессор, академик РАН (Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия)
Беленький И.Г. — д-р мед. наук, профессор (СПб НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия)
Белов М.В. — канд. мед. наук (Клиническая больница скорой медицинской помощи им. Н.В. Соловьева, Ярославль, Россия)
Божкова С.А. — д-р мед. наук, 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 (Олимп Клиник МАРС, 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)
Кудашев Д.С. — д-р мед. наук (Самарский ГМУ, Самара)
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)
Рябых С.О. — д-р мед. наук (РНИМУ 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 (Клиника ОСМ, Мюнхен, Германия)

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



CONTENTS

CLINICAL STUDIES

- Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetsky A.N., Tikhilov R.M.**
Choice of Antibiotics for the Treatment of Orthopedic Infection Caused by Gram-Positive Pathogens, Based on a 12-Year Follow-Up. Part 2: Fluoroquinolones, Sulfonamides, Tetracyclines, Lincosamides, Fosfomycin5
- Golnik V.N., Ivanyuk A.M., Dzhukhaev D.A., Zolovkina A.G., Korenyak N.A., Batrak Yu.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V.**
Revision and Complex Primary Total Hip Arthroplasty with Impaction Bone Grafting for Acetabular Defects: Medium-Term Results20
- Gurazhev M.B., Lukinov V.L., Baitov V.S., Gofer A.S., Ivanov E.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A., Pronskikh A.A.**
Predictors of Early Aseptic Loosening of Prosthetic Components Following Primary Total Knee Arthroplasty35
- Kotelnikov G.P., Shcherbatov N.D., Kudashev D.S., Zuev-Ratnikov S.D.**
Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Detached and Non-Detached Autografts: Comparative Analysis50
- Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Oleinik A.V., Sergeeva M.A., Maierov B.A.**
Impact of Using an Original Guiding Device on Operative Time and Radiation Exposure in Minimally Invasive *Hallux Valgus* Correction.....61
- Osnach S.A., Protsko V.G., Obolenskiy V.N., Bregovsky V.B., Komelyagina E.Yu., Dalmatova A.B., Sabantchieva N.I., Demina A.G., Tamoev S.K., Bobrov D.S., Kuznetsov V.V., Rybinskaya A.L., Zagorodniy N.V.**
Classification of Midfoot Deformities in Charcot Neuroarthropathy70

- Silantjev V.N., Dzuba G.G., Katina M.M.**
Results of the Use of Modified Bipolar Radiofrequency Ablation in Patients with Proximal Plantar Fasciopathy84
- Pashkova E.A., Sorokin E.P., Faustova Yu.P., Konovalchuk N.S., Kubrina T.N., Demianova K.A., Preobrazhensky P.M.**
Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFQ) in Patients with Foot and Ankle Disorders96
- Bondi L., Ottonello C., Giuliani P., Bondi R., Giuliani L.**
Psychological Implications in Percutaneous *Hallux Valgus* Surgery105
- Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N., Ostanina D.A.**
Histological Features of Fascial Fibromatosis in Patients with Rapidly Progressive Dupuytren's Contracture111
- NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS
- Tsybul E.S., Rodomanova L.A., Malyshev V.I.**
A New Surgical Approach for Reconstruction of the Achilles Tendon.....121
- EXPERIENCE EXCHANGE
- Elzyati M.S., Youssef M.G., Zaki M.S.**
Assessment of the Accuracy of Pedicle Screw Fixation in Thoracolumbar Vertebrae using Freehand Technique in Resource-Limited Settings: Insights from a Prospective Analysis.....129
- REVIEWS
- Stafeev D.V., Spetsialnyi D.V., Lyakh A.R., Iev N.V., Denisov A.O., Tikhilov R.M.**
Isolated Head and Liner Exchange for Polyethylene Wear and Periprosthetic Osteolysis in Revision Hip Arthroplasty: A Review139

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Касимова А.Р., Божкова С.А., Туфанова О.С., Гордина Е.М., Гвоздецкий А.Н., Тихилов Р.М.
Выбор антибиотиков для лечения ортопедической инфекции, вызванной грамположительными возбудителями, по результатам 12-летнего наблюдения.
Часть 2: фторхинолоны, сульфаниламиды, тетрациклины, линкозамиды, фосфомидин5

Гольник В.Н., Иванюк А.М., Джухаев Д.А., Золовкина А.Г., Корень Н.А., Батрак Ю.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В.
Среднесрочные результаты ревизионного и первичного сложного эндопротезирования тазобедренного сустава с применением импакционной костной пластики дефектов вертлужной впадины20

Гуражев М.Б., Лукинов В.Л., Баитов В.С., Гофер А.С., Иванов Е.А., Павлов В.В., Корыткин А.А., Пронских А.А.
Предикторы раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза при первичном эндопротезировании коленного сустава35

Котельников Г.П., Щербатов Н.Д., Кудашев Д.С., Зуев-Ратников С.Д.
Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутооттрансплантатов50

Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Олейник А.В., Сергеева М.А., Майоров Б.А.
Влияние применения оригинального направителя на продолжительность операции и лучевую нагрузку при малоинвазивной коррекции *hallux valgus*61

Оснач С.А., Процко В.Г., Оболенский В.Н., Бреговский В.Б., Комелягина Е.Ю., Далматова А.Б., Сабанчиева Н.И., Демина А.Г., Тамоев С.К., Бобров Д.С., Кузнецов В.В., Рыбинская А.Л., Загородний Н.В.
Классификация деформаций среднего отдела стопы при остеоартропатии Шарко70

Силантьев В.Н., Дзюба Г.Г., Катина М.М.
Результаты применения модифицированной биполярной радиочастотной абляции у пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией84

Пашкова Е.А., Сорокин Е.П., Фаустова Ю.П., Коновальчук Н.С., Кубрина Т.Н., Демьянова К.А., Преображенский П.М.
Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ) у пациентов с патологией стоп и голеностопных суставов96

Бонди Л., Оттонелло К., Джулиани П., Бонди Р., Джулиани Л.
Психологические последствия чрескожной хирургической коррекции *hallux valgus*105

Шудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Останина Д.А.
Гистологические характеристики фасциального фиброматоза у пациентов с быстрым прогрессированием контрактуры Дюпюитрена111

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ
Цыбуль Е.С., Родоманова Л.А., Малышев В.И.
Способ оперативного доступа при вмешательствах на ахилловом сухожилии121

ОБМЕН ОПЫТОМ
Эльзайят М.С., Юссеф М.Г., Заки М.С.
Оценка точности транспедикулярной фиксации в груднопоясничном отделе позвоночника методом «свободной руки» в условиях ограниченных ресурсов: результаты проспективного анализа129

ОБЗОРЫ
Стафеев Д.В., Специальный Д.В., Лях А.Р., Иев Н.В., Денисов А.О., Тихилов Р.М.
Модульная ревизия эндопротезов тазобедренного сустава у пациентов с износом полиэтиленовых вкладышей и перипротезным остеолитом: обзор литературы139

Выбор антибиотиков для лечения ортопедической инфекции, вызванной грамположительными возбудителями, по результатам 12-летнего наблюдения. Часть 2: фторхинолоны, сульфаниламиды, тетрациклины, линкозамиды, фосфомицин

А.Р. Касимова^{1,2}, С.А. Божкова¹, О.С. Туфанова¹, Е.М. Гордина¹, А.Н. Гвоздецкий³, Р.М. Тихилов¹

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

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

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

Реферат

Цель исследования — обосновать выбор лекарственного средства для эмпирической антибактериальной терапии на основании результатов анализа динамики чувствительности к антибактериальным препаратам ведущих Грам(+) бактерий, выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией с 2011 по 2022 г.

Материал и методы. Выполнено ретроспективное исследование данных о чувствительности к антибактериальным препаратам ведущих Грам(+) бактерий, изолированных от пациентов, находившихся на лечении с 01.01.2011 по 31.12.2022. На основании полученных данных была исследована динамика и определен прогноз резистентности ведущих Грам(+) возбудителей. Проанализированы пять групп антибиотиков, активных в отношении Грам(+) микроорганизмов: фторхинолоны, сульфаниламиды, тетрациклины, линкозамиды, фосфомицин. Препаратам с узким спектром действия была посвящена первая часть работы.

Результаты. Более 75% штаммов MRSA и более 50% штаммов MRSE демонстрировали устойчивость к фторхинолонам. Метициллин-чувствительные штаммы обладают меньшим профилем резистентности, доля резистентных к моксифлоксацину MSSA за весь период наблюдения составила 2,3%, MSSE — 14,7%. Доля резистентных к ципрофлоксацину штаммов *E. faecalis* снизилась в течение 12 лет наблюдения с 61,3% в 2011 до 40,4% в 2022 г. В нашем центре за 12 лет наблюдения отмечается снижение доли штаммов *Staphylococcus* spp., устойчивых к ко-тримоксазолу. При этом препарат более активен против *S. aureus* и метициллин-чувствительных штаммов, чем в отношении *S. epidermidis* и MR-штаммов соответственно. Данные локального мониторинга в нашем центре демонстрируют активность фосфомицина в отношении более 90% стафилококков. В целом средняя доля устойчивых к данному препарату штаммов MRSA составила 5,8%, MRSE — 7,7%, MSSE — 7%. Доля устойчивых к клиндамицину MSSA увеличилась с 1,5 до 12% и в среднем составила 4,4%. В то же время частота выделения клиндамицин-резистентных MRSA варьировала в диапазоне 39–60% с тенденцией к снижению до 48% к концу срока наблюдения.

Заключение. Ни один из антибиотиков широкого спектра нельзя рекомендовать для использования в стартовой эмпирической терапии ортопедической инфекции. Фторхинолоны и ко-тримоксазол активны в отношении 30–33%, тетрациклины — в отношении 39% (преимущественно за счет сохраняющейся активности миноциклина и тигециклина), клиндамицин — в отношении 64% Грам(+) возбудителей. Фосфомицин сохраняет активность в отношении примерно 90% стафилококков. Однако на сегодняшний день нет критериев для оценки чувствительности к нему энтерококков, в связи с чем чувствительность энтерококков к фосфомицину не определяли.

Ключевые слова: ортопедическая инфекция; имплантат-ассоциированная инфекция; перипротезная инфекция; антибактериальная терапия; антибиотикорезистентность; *S. aureus*; *S. epidermidis*; эмпирическая терапия.

 **Для цитирования:** Касимова А.Р., Божкова С.А., Туфанова О.С., Гордина Е.М., Гвоздецкий А.Н., Тихилов Р.М. Выбор антибиотиков для лечения ортопедической инфекции, вызванной грамположительными возбудителями, по результатам 12-летнего наблюдения. Часть 2: фторхинолоны, сульфаниламиды, тетрациклины, линкозамиды, фосфомицин. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):5-19. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17710>.

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

Рукопись получена: 11.04.2025. Рукопись одобрена: 03.06.2025. Статья опубликована онлайн: 30.07.2025.

© Касимова А.Р., Божкова С.А., Туфанова О.С., Гордина Е.М., Гвоздецкий А.Н., Тихилов Р.М., 2025

Choice of Antibiotics for the Treatment of Orthopedic Infection Caused by Gram-Positive Pathogens, Based on a 12-Year Follow-Up. Part 2: Fluoroquinolones, Sulfonamides, Tetracyclines, Lincosamides, Fosfomycin

Alina R. Kasimova^{1,2}, Svetlana A. Bozhkova¹, Olga S. Tufanova¹, Ekaterina M. Gordina¹, Anton N. Gvozdetsky³, Rashid M. Tikhilov¹

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

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

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

Abstract

The aim of the study — to substantiate the choice of a drug for empirical antibacterial therapy based on the analysis of antimicrobial resistance dynamics in leading Gram(+) bacteria isolated from patients with orthopedic infection from 2011 to 2022.

Methods. We performed a retrospective study of data on the antimicrobial susceptibility in leading Gram(+) bacteria isolated from patients who were treated from 01.01.2022 to 31.12.2022. Based on the data obtained, we investigated the dynamics and determined the prognosis of resistance in leading Gram(+) pathogens. This article analyzes 5 groups of antibiotics active against Gram(+) microorganisms: fluoroquinolones, sulfonamides, tetracyclines, lincosamides, fosfomycin.

Results. More than 75% of MRSA strains and more than 50% of MRSE strains demonstrated resistance to fluoroquinolones. Methicillin-sensitive strains have a lower resistance profile; the proportion of moxifloxacin-resistant MSSA during the entire follow-up period was 2.3%, MSSE — 14.7%. The proportion of ciprofloxacin-resistant *E. faecalis* strains decreased during the 12-year follow-up from 61.3% in 2011 to 40.4% in 2022. Over the 12-year follow-up period, our center has seen a decrease in the proportion of *Staphylococcus* spp. strains resistant to co-trimoxazole. At the same time, the drug is more active against *S. aureus* and methicillin-sensitive strains than against *S. epidermidis* and MR strains, respectively. The local monitoring data in our center demonstrate the activity of fosfomycin against more than 90% of staphylococci. In general, the average proportion of MRSA strains resistant to this drug was 5.8%, MRSE — 7.7%, and MSSE — 7%. The proportion of clindamycin-resistant MSSA increased from 1.5 to 12% and averaged 4.4%. At the same time, the incidence of clindamycin-resistant MRSA varied between 39–60% with a tendency to decrease to 48% by the end of the follow-up period.

Conclusions. None of the broad-spectrum antibiotics can be recommended for use in the initial empirical therapy of orthopedic infection. Fluoroquinolones and co-trimoxazole are active against 30–33%, tetracyclines — against 39% (mainly due to the continued activity of minocycline and tigecycline), clindamycin — against 64% of gram-positive pathogens. Fosfomycin remains active against about 90% of staphylococci. However, to date, there are no criteria for assessing the sensitivity of enterococci to it, and therefore the sensitivity of enterococci to fosfomycin has not been determined.

Keywords: orthopedic infection; implant-associated infection; periprosthetic joint infection; antibacterial therapy; antibiotic resistance; *S. aureus*; *S. epidermidis*; empirical therapy.

Cite as: Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetsky A.N., Tikhilov R.M. Choice of Antibiotics for the Treatment of Orthopedic Infection Caused by Gram-Positive Pathogens, Based on a 12-Year Follow-Up. Part 2: Fluoroquinolones, Sulfonamides, Tetracyclines, Lincosamides, Fosfomycin. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):5–19. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17710>.

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

Submitted: 11.04.2025. Accepted: 03.06.2025. Published online: 30.07.2025.

© Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetsky A.N., Tikhilov R.M., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Инфекция области хирургического вмешательства (ИОХВ) после ортопедических операций развивается относительно нечасто, а именно в 1,5–1,6% случаев — тазобедренного и коленного [1]. Частота перелом-ассоциированной инфекции значительно выше — она достигает 27% и зависит от различных факторов, в том числе от особенностей получения травмы и ее локализации [2]. Несмотря на относительно невысокую распространенность, прогноз исхода ортопедической инфекции в сравнении с инфекциями иных локализаций более сложный по причине частого формирования микробных биопленок на поверхности имплантируемых устройств и окружающих их тканей, либо секвестров в толще костной ткани, что делает инфекционный очаг труднодоступным для антибактериальных препаратов и требует проведения комбинированного лечения (хирургического и медикаментозного) [3].

Ведущая роль в развитии ортопедической инфекции принадлежит грамположительным — Грам(+) — возбудителям. По данным НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена (далее — Центр), суммарная доля *S. aureus* и *S. epidermidis* в спектре микроорганизмов, изолированных из биоматериала пациентов с имплантат-ассоциированной инфекцией (ИАИ) и остеомиелитом, превышает 50% [4]. Аналогичные данные были получены А.В. Цискарашвили с соавторами [5] и F.S. Fröschen с соавторами [6] в 2022 г. Помимо этого, по данным Центра, в спектр ведущих микроорганизмов, изолированных от пациентов с ортопедической инфекцией, входят и другие Грам(+) возбудители: иные коагулазоотрицательные стафилококки (CoNS) — 5,8%, *Enterococcus* spp. — 5,5% и *Corynebacterium striatum* — 4,5% [4]. При этом настораживающим фактором является тенденция к росту доли метициллин-резистентных *S. epidermidis* до 66% в структуре чувствительности штаммов данного вида [4], что указывает на необходимость отдавать предпочтение антибактериальным препаратам, активным в отношении данных возбудителей, в эмпирических схемах противомикробной терапии.

Выбор антибактериальных препаратов для лечения пациентов с ортопедической инфекцией представляет собой непростую задачу для клиницистов. Предпочтение должно отдаваться бактерицидным препаратам, обладающим антибиопленочной активностью, хорошей пенетрацией в костную ткань и активностью в отношении MRSE

и MRSA [7]. Поэтому препаратами выбора, согласно современным клиническим рекомендациям¹, являются бета-лактамы, гликопептиды, оксазолидиноны, рифампицин и фузидиевая кислота, особенности применения которых описаны в предыдущей публикации. Однако сложности могут возникать, когда из биоматериала пациентов изолируют несколько патогенов различных видов бактерий, существующих в микробной ассоциации. В таких случаях в качестве альтернативы данным препаратам можно применять антибактериальные средства, обладающие широким спектром действия — фторхинолоны, тетрациклины, линкозамиды, фосфомицин и триметоприм-сульфаметоксазол [7].

Особенностью антибактериальной терапии (АБТ) ортопедической инфекции является ее длительность, которая зависит от множества факторов, в том числе от вида проведенного хирургического вмешательства, и может составлять 6–12 нед. [8]. При этом первые две недели пациент получает в стационаре инфузионные антибактериальные препараты, арсенал которых достаточно широк. Эффективность ванкомицина в отношении Грам(+) возбудителей очень велика, и к данному препарату в настоящее время регистрируют устойчивость среди штаммов *Enterococcus* spp. (VRE), доля которых мала [4]. Однако данный антибиотик отсутствует в пероральной форме, и в качестве препаратов выбора для амбулаторного применения при лечении инфекции, вызванной проблемными Грам(+) микроорганизмами, могут стать альтернативные антибактериальные средства — фторхинолоны, тетрациклины, линкозамиды и триметоприм-сульфаметоксазол. Это особенно актуально, учитывая высокую стоимость пероральных оксазолидинонов и отсутствие на фармацевтическом рынке перорального рифампицина и фузидовой кислоты.

Применение каждого из данных групп антибактериальных препаратов имеет свои преимущества и недостатки. Так, фторхинолоны выгодно отличает от других препаратов антибиопленочная активность, однако при длительном применении препараты данной группы часто способствуют развитию нежелательных реакций [9], а ко-тримоксазол — одновременная активность в отношении некоторых грамотрицательных (Грам(-)) возбудителей, которые часто встречаются в составе микробных ассоциаций с Грам(+) микроорганизмами [10]. Тетрациклины и линкозамиды являются бактериостатиками, однако эти препараты обладают хорошей активностью

¹ Инфекция, ассоциированная с ортопедическими имплантатами: клинические рекомендации. 2024. Режим доступа: <https://library.mededtech.ru/rest/documents/60122168/>

в отношении ведущих Грам(+) микроорганизмов, в том числе метициллин-резистентных стафилококков, по причине отсутствия их широкого применения в амбулаторной сети.

Следует отметить, что анализ антибиотикочувствительности ведущих возбудителей к антибактериальным препаратам играет важную роль в разработке как эмпирических, так и лечебных схем АБТ. Данная статья является второй частью исследования и логическим завершением ранее опубликованной работы, посвященной антибиотикам, преимущественно активным в отношении Грам(+) микроорганизмов [11].

Цель исследования — обосновать выбор лекарственного средства для эмпирической антибактериальной терапии на основании результатов анализа динамики чувствительности к антибактериальным препаратам ведущих Грам(+) бактерий, выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией с 2011 по 2022 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выполнено ретроспективное одноцентровое исследование данных о резистентности к антибактериальным препаратам ведущих Грам(+) бактерий, изолированных от пациентов, находившихся на лечении в отделении гнойной остеологии Центра с 01.01.2011 по 31.12.2022. К ведущим возбудителям относили микроорганизмы, доля которых в общем спектре возбудителей ортопедической инфекции превышала 3,5% по результатам опубликованного ранее центрального мониторинга [4]. Штаммы с минимальной подавляющей концентрацией ванкомицина ниже 1,5 мг/л расценивали как чувствительные.

Эпидемиологический анализ результатов микробиологического исследования выполняли с применением программы «Система микробиологического мониторинга “Микроб-2” («МедПроект-3», Россия, 2002–2020) и лабораторной информационной системы «Акресс-Инжиниринг» (2021–2022). Микробиологическое исследование биоматериала пациентов выполняли в соответствии с международными стандартами (Standards for microbiology investigations (UK SMI)). До 2021 г. идентификацию бактерий проводили биохимическим методом на панелях Microtest (Erba Lachema) с помощью iEMS Reader MF (Labsystems, Финляндия), с 2021 г. — методом MALDI-TOF-MS с использованием системы FlexControl и программного обеспечения MBT Compass 4.1 (Bruker Daltonics, Германия), Score $\geq 2,0$. Чувствительность культур бактерий к антибактериальным препаратам оценивали в соответствии с требованиями EUCAST (v.1-12)².

Помимо динамики антибиотикочувствительности Грам(+) возбудителей в Центре были проанализированы эффективность основных групп антибактериальных лекарственных средств в лечении ортопедической инфекции на основании данных научных публикаций, а также кумулятивная вероятность успеха (попадания) при эмпирическом назначении данной группы, основываясь на динамике выделения резистентных штаммов в Центре за 12 лет.

Статистический анализ

Для описания категориальных переменных использовали абсолютные значения и доли от целого — n (%). Переменные, имеющие непрерывный характер распределения, описывали средним и стандартным отклонениями ($M \pm \sigma$). Также вычисляли минимальное и максимальное значения (min-max).

Моделирование кривой «резистентность — время» производили при помощи библиотеки MGCV. В качестве зависимой переменной выступала доля резистентных штаммов в году, в качестве независимых — время и вид бактерий. Моделирование нелинейной зависимости проводили методом кубической сплайн-трансформации от времени с эффектом взаимодействия с групповой принадлежностью. Так как зависимая переменная принадлежит диапазону (0, 1), применяли модель бета-распределения. Для исключения экстремальных значений (0 и 1) выполнялась следующая трансформация зависимой переменной:

$$(y \cdot (n - 1) + 0,5)/n,$$

где y — зависимая переменная, n — количество наблюдений. Синтаксис модели был следующим: `gam (y ~ s(time, bs = 'cr', k = 5) + name + s(time, by = name, bs = 'cr', k = 5), family = betar())`.

Модель характеризовали коэффициентом псевдодетерминации R^2 , нормализованным корнем из среднеквадратичной ошибки (nRMSE), степенями свободы. Для уточнения данных на полученных моделях тестировали гипотезы линейного тренда. Для коррекции множественного тестирования гипотез использовали среднюю долю ложных отклонений (FDR). Все расчеты выполнены на языке программирования R 4.4.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фторхинолоны (ципрофлоксацин, левофлоксацин, моксифлоксацин)

Фторхинолоны — это большая группа синтетических антимикробных лекарственных средств. Фторхинолоны оказывают бактерицидный эффект

² The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing — EUCAST. Режим доступа: <https://www.eucast.org/>

за счет необратимого ингибирования двух жизненно важных ферментов микробной клетки — ДНК-гиразы и топоизомеразы-4 — что нарушает синтез ДНК и вызывает гибель бактерий. Препараты обладают широким спектром активности, а наличие парентеральных и пероральных форм позволяет применять их для продленной ступенчатой терапии на амбулаторном этапе [12].

Несмотря на то, что большинство сообщений о формировании адаптивной резистентности к фторхинолонам касаются Грам(-) бактерий, в настоящее время среди Грам(+) видов все чаще встречаются штаммы, устойчивые к препаратам данной группы. Устойчивость формируется вследствие реализации различных механизмов и может быть обусловлена одной или несколькими мутациями в гене-мишени QRDR (quinolone resistance determining region), повышенной скоростью выведения лекарственного средства из клетки, синтезом модифицированных ферментов и/или белками, защищающими мишень [13]. Широкое необоснованное применение фторхинолонов в амбулаторной практике, особенно во время пандемии COVID-19, усугубило ситуацию с повсемест-

ным ростом количества штаммов, устойчивых к препаратам данной группы [14].

Доля резистентных к моксифлоксацину MSSA за весь период наблюдения составила 2,3%, регистрировали тенденцию к увеличению данного показателя, который составил в 2021–2022 гг. соответственно 5 и 6%. Аналогичный показатель для MSSE был выше и составил в среднем для всего периода наблюдения 17,9; 16,5 и 14,7% соответственно для лево-, мокси- и ципрофлоксацина, также с тенденцией к росту (рис. 1).

Более 75% штаммов MRSA демонстрировали устойчивость к фторхинолонам, при этом наблюдался незначительный тренд к снижению доли резистентных штаммов до 67 и 69% соответственно для мокси- и ципрофлоксацина к концу срока наблюдения. Доля устойчивых к лево- и ципрофлоксацину штаммов MRSE на протяжении 12 лет наблюдения колебалась в диапазоне 56–69% без каких-либо закономерностей. Динамика выделения резистентных к моксифлоксацину штаммов MRSE имела волнообразную структуру с общей тенденцией к увеличению (рис. 2).

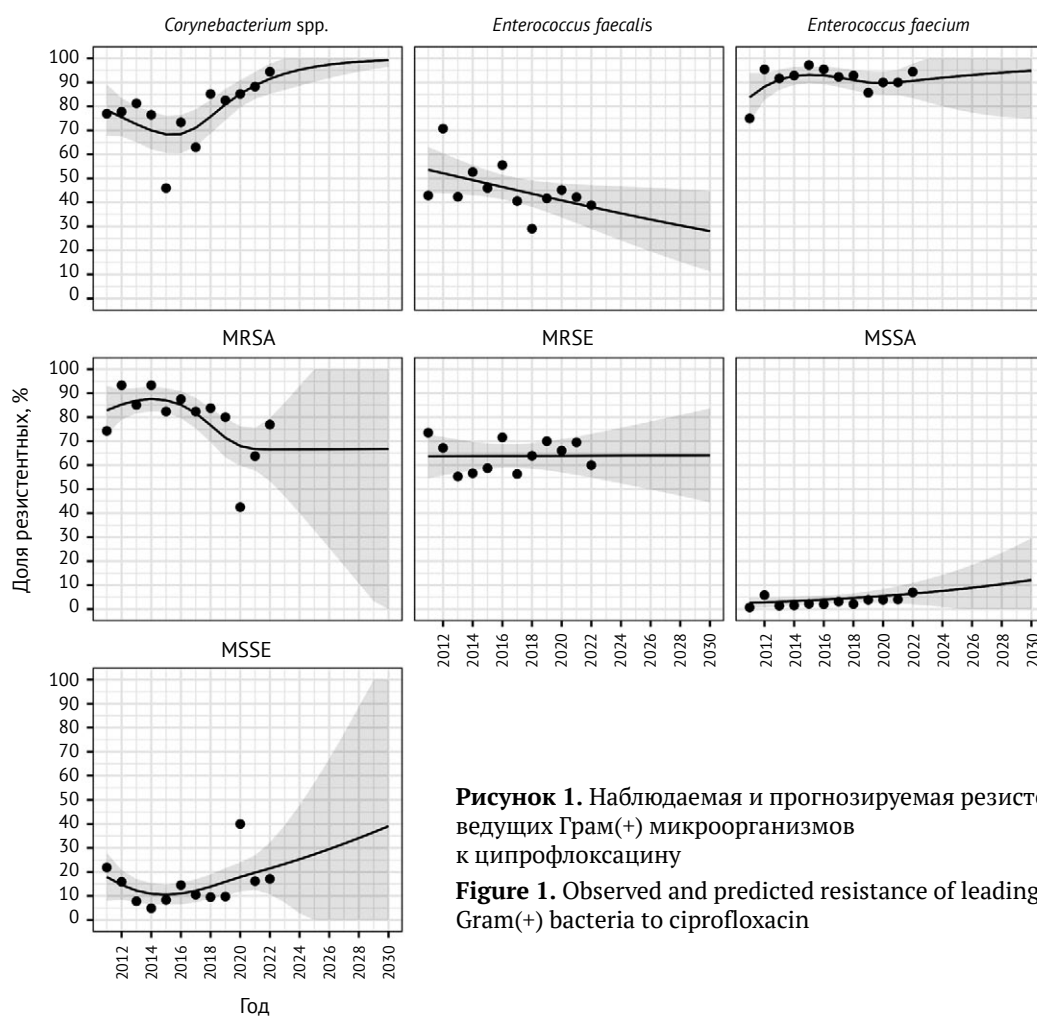


Рисунок 1. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к ципрофлоксацину

Figure 1. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to ciprofloxacin

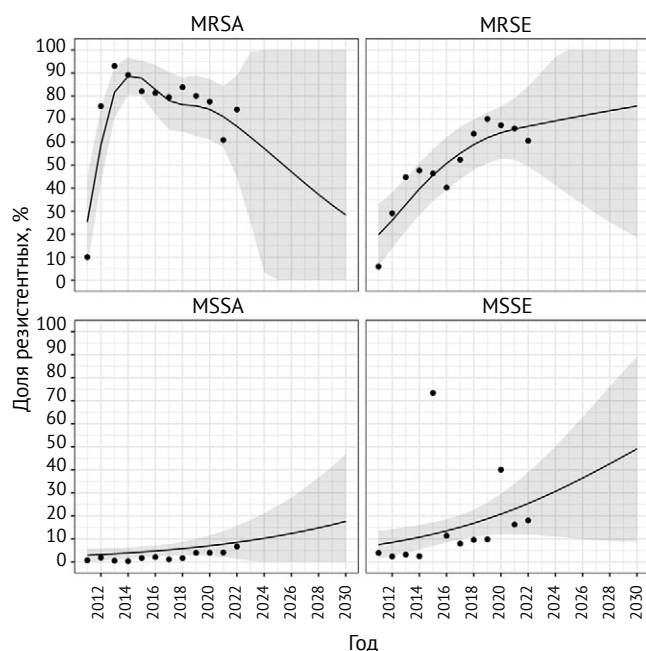


Рисунок 2. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к моксифлоксацину

Figure 2. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to moxifloxacin

В целом активность разных препаратов из группы фторхинолонов в отношении метициллин-чувствительных стафилококков была сопоставима (табл. 1), но были выявлены межвидовые различия. Фторхинолоны проявляли более выраженную активность в отношении штаммов MSSA в сравнении с MSSE ($p = 0,017$) и в отношении штаммов MRSE в сравнении с MRSA ($p = 0,03$).

Частота выделения резистентных к ципрофлоксацину штаммов *Corynebacterium* spp., изолированных от пациентов с ортопедической инфекцией, в Центре выросла за 12 лет наблюдения с 79% в 2011 г. до 92% в 2022 г. Несмотря на то, что

в течение четырех лет (2015–2018) доля устойчивых штаммов снижалась, общий тренд можно охарактеризовать как увеличение, а прогнозируемая частота выделения резистентных к ципрофлоксацину культур стремится к 100% (см. рис. 1). Резистентность *Corynebacterium* spp. к фторхинолонам описывается также в различных зарубежных публикациях [15, 16]. Доля *Corynebacterium* spp., выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией, чувствительных к ципрофлоксацину, составляет менее 6% [15].

Различные виды энтерококков также отличались между собой по чувствительности к ципрофлоксацину. Доля резистентных к ципрофлоксацину штаммов *E. faecalis* снизилась в течение 12 лет наблюдения с 61,3% в 2011 г. до 40,4% в 2022 г. Общий тренд можно охарактеризовать как снижение. Среди *E. faecium* определяли большее количество устойчивых к фторхинолонам штаммов: в 2011 г. — 91,7%, в 2022 г. — 100% (см. рис. 1).

На сегодняшний день фторхинолоны не могут быть рекомендованы для эмпирической терапии ортопедической инфекции. Низкая частота выделения чувствительных штаммов позволяет использовать их только для этиотропной терапии по результатам микробиологического исследования биоматериала или удаленных конструкций.

По данным С. El Naj с соавторами, одной из наиболее эффективных комбинаций антибиотиков при лечении ортопедической инфекции, вызванной стафилококками, является сочетание левофлоксацина с рифампицином. Данная комбинация не вызывает формирования приобретенной резистентности стафилококков к рифампицину [17]. Однако при назначении фторхинолонов в составе длительной комбинированной АБТ необходимо учитывать вероятность развития нежелательных реакций: гепатотоксичности, периферической полинейропатии, фототоксичности и тератогенного эффекта [9].

Таблица 1

Средняя частота выделения устойчивых к фторхинолонам штаммов Грам(+) бактерий за период 2011–2022 гг., %

Микроорганизм	Ципрофлоксацин	Левофлоксацин	Моксифлоксацин
MSSA ($n = 2373$)	3,2 (1,9–3,9)	н/д	2,3 (1,0–3,9)
MSSE ($n = 957$)	14,7 (9,2–16,4)	17,9 (9,7–21,3)	16,5 (3,7–16,6)
MRSA ($n = 542$)	78,8 (76,3–85,7)	н/д	73,9 (75,2–82,4)
MRSE ($n = 601$)	64,1 (58,2–69,6)	62,1 (60,5–69,5)	49,4 (43,6–64,1)
<i>E. faecalis</i> ($n = 449$)	45,6 (41,4–47,6)	н/д	н/д
<i>E. faecium</i> ($n = 130$)	91,1 (90,0–94,7)	н/д	н/д
<i>Corynebacterium</i> spp. ($n = 467$)	77,5 (75,7–85,2)	н/д	н/д

н/д — нет данных.

Триметоприм-сульфаметоксазол (ко-тримоксазол)

Препарат представляет собой комбинацию триметоприма (синтетического антибактериального агента, действующего на биосинтез фолата путем конкурентного связывания с ферментом дигидрофолатредуктазой) и сульфаметоксазола — сульфаниламид, воздействующий на другой фермент — дигидроптероатсинтазу [18]. В состав лекарственного средства они входят в соотношении один к пяти, а при попадании в организм соотношение концентраций активных веществ в крови и тканях составляет примерно один к двадцати, что обеспечивает максимальный синергетический эффект [19].

Ко-тримоксазол характеризуется широким спектром антимикробной активности и большим перечнем зарегистрированных показаний к применению, включая инфекции костей и суставов. Препарат хорошо проникает в костную ткань, синовиальную жидкость и создает там концентрации, превышающие МИК₉₀ в отношении Грам(+) патогенов [20]. Именно это объясняет широкое применение данного препарата при лечении пациентов с ортопедической инфекцией, в том числе обусловленной Грам(+) возбудителями [8].

Однако, по данным М. Sánchez-Osuna с соавторами, резистентность к ко-тримоксазолу опосредована изменчивостью ферментов, способных

выполнять свою биологическую функцию без связывания с этими препаратами [18]. В Центре за 12 лет наблюдения отмечается снижение доли штаммов *Staphylococcus* spp., устойчивых к ко-тримоксазолу (рис. 3). При этом препарат более активен против *S. aureus* и метициллин-чувствительных штаммов, чем в отношении *S. epidermidis* и метициллин-резистентных штаммов. Доля резистентных к ко-тримоксазолу штаммов MRSA сократилась с 9,9% в 2011 г. до 1% в 2022 г. При этом за весь период только три штамма MSSA были устойчивы к данному препарату.

Динамика выделения устойчивых к ко-тримоксазолу штаммов *S. epidermidis* имела волнообразное течение с трендом к снижению. В 2021–2022 гг. только 10% MSSE и 27% MRSE были резистентными к данному препарату (рис. 3, 4).

Частота выделения резистентных к ко-тримоксазолу *E. faecalis* возросла с 36,5% в 2011 г. до 39,7% в 2018 г. Однако с 2019 г. ко-тримоксазол исключен из перечня лекарственных средств, к которым определяют чувствительность *Enterococcus* spp. в связи с отсутствием критериев его активности в отношении энтерококков и, следовательно, невозможно прогнозировать клинический исход. Изоляты с минимальной ингибирующей концентрацией (МИК) более 1 мг/л, скорее всего, имеют механизмы резистентности к ко-тримоксазолу. Для *E. faecalis* и *E. faecium* это

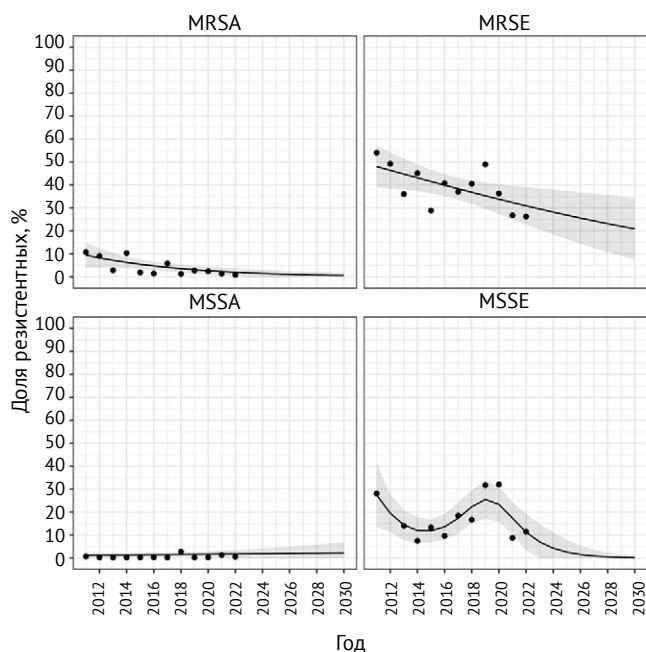


Рисунок 3. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к ко-тримоксазолу

Figure 3. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to co-trimoxazole

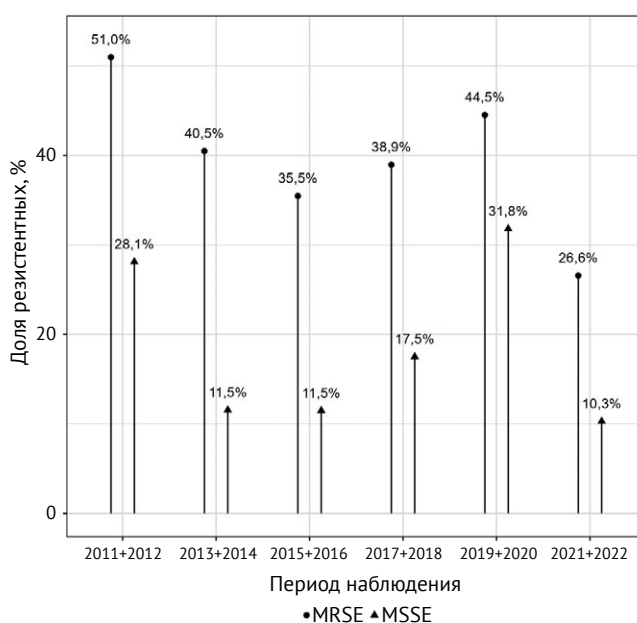


Рисунок 4. Доля резистентных к ко-тримоксазолу штаммов MSSE и MRSE

Figure 4. The proportion of co-trimoxazole-resistant MSSE and MRSE strains

соответствует диаметру зоны подавления роста вокруг диска менее 21 мм для триметоприма и менее 23 мм для сульфаметоксазола согласно EUCAST.

Несмотря на то, что за 12 лет наблюдения в Центре регистрировали сокращение частоты выделения резистентных к ко-тримоксазолу штаммов всех значимых Грам(+) возбудителей ортопедической инфекции, препарат демонстрирует активность только в отношении 67% Грам(+) бактерий, что не позволяет использовать его в схеме стартовой эмпирической терапии.

Тетрациклины

Тетрациклиновый ряд антибиотиков в настоящее время в России представлен четырьмя препаратами: тетрациклин (первое поколение), доксициклин и миноциклин (второе поколение), тигециклин (третье поколение). В целом они характеризуются бактериостатическим действием на широкий спектр микроорганизмов за счет подавления синтеза белка в микробной клетке путем взаимодействия с 30S субъединицей рибосомы. Препараты хорошо проникают в органы и ткани, включая синовиальную жидкость, могут накапливаться в костной ткани, создавая необратимые комплексы с Ca^{2+} . При этом доксициклин и миноциклин характеризуются лучшим профилем безопасности и имеют пероральные формы. Резистентные к тетрациклину штаммы возбудителей могут быть чувствительны ко второму поколению (доксициклин и миноциклин), чувствительность к тигециклину определяется отдельно.

Устойчивость стафилококков к тетрациклинам обусловлена ускоренным выведением препарата из бактериальной клетки с помощью эффлюксного насоса (MFS — major facilitator superfamily) [21]. Кроме того, флавинзависимая монооксигеназа TetX обеспечивает резистентность ко всем тетрациклинам, так как катализирует их моногидроксилирование в присутствии молекул NADPH, O_2 и Mg^{2+} , что приводит к внутримолекулярной циклизации и распаду молекулы препарата [22].

Несмотря на бактериостатическое действие, доксициклин демонстрирует активность в отношении 70% штаммов *S. epidermidis*, а также аддитивное (усиливающее) действие в комбинации с рифампицином, линезолидом и ципрофлоксацином [23], что позволяет рассматривать его как аль-

тернативу рифампицину при лечении пациентов с ортопедической инфекцией.

В целом за анализируемый период активность тетрациклина в отношении *Staphylococcus* spp. изменялась незначительно. При этом препарат демонстрировал большую активность в отношении штаммов стафилококков, чувствительных к метициллину. Устойчивость MSSA снизилась за период наблюдения с 9,1 до 5%, а для MSSE данный показатель был выше и составил в среднем 16,3% с ростом до 21% к 2021–2022 гг. Частота выделения устойчивых к тетрациклину штаммов MRSA колебалась в широких пределах от 21,3 до 45,7% с тенденцией к снижению и на период 2021–2022 гг. составила в среднем 38%. Доля устойчивых штаммов MRSE была стабильной весь период наблюдения и составила в среднем 35,5%.

В спектр действия тетрациклинов, помимо стафилококков, входят и *Corynebacterium* spp. В Центре с 2011 по 2014 г. частота выделения резистентных штаммов *Corynebacterium* spp. уменьшилась с 57,0 до 28,4%, однако за следующие 8 лет наблюдения активность тетрациклина начала линейно снижаться, и в 2021–2022 гг. около 73,3% штаммов были к нему устойчивы (рис. 5).

Начиная с 1976 г., когда на примере *S. aureus* было подтверждено, что чувствительные к тетрациклину штаммы чувствительны и к другим препаратам тетрациклинового ряда [24], чувствительность возбудителей определяли только к тетрациклину. Однако за последнее время все больше исследований демонстрируют, что миноциклин характеризуется большей активностью в сравнении с тетрациклином и доксициклином в отношении *S. aureus*, CoNS, *Enterococcus* spp. и даже карбапенем-устойчивых штаммов *Acinetobacter baumannii* [10, 25, 26]. Например, в недавнем исследовании чувствительности 85 изолятов CoNS М.А. Амег с соавторами показали, что из девяти протестированных антибиотиков (оксацилинон и гликопептиды не изучали) самую высокую активность продемонстрировали тетрациклины. Устойчивыми к тетрациклину были 28,3%, доксициклину — 11,7% и миноциклину — 8,3% изолятов [27]. Таким образом, на сегодняшний день имеется доказательная база для того, чтобы проводить тестирование на чувствительность к миноциклину штаммов, демонстрирующих резистентность к тетрациклину или доксициклину, что реализовано в нашем Центре с 2023 г.

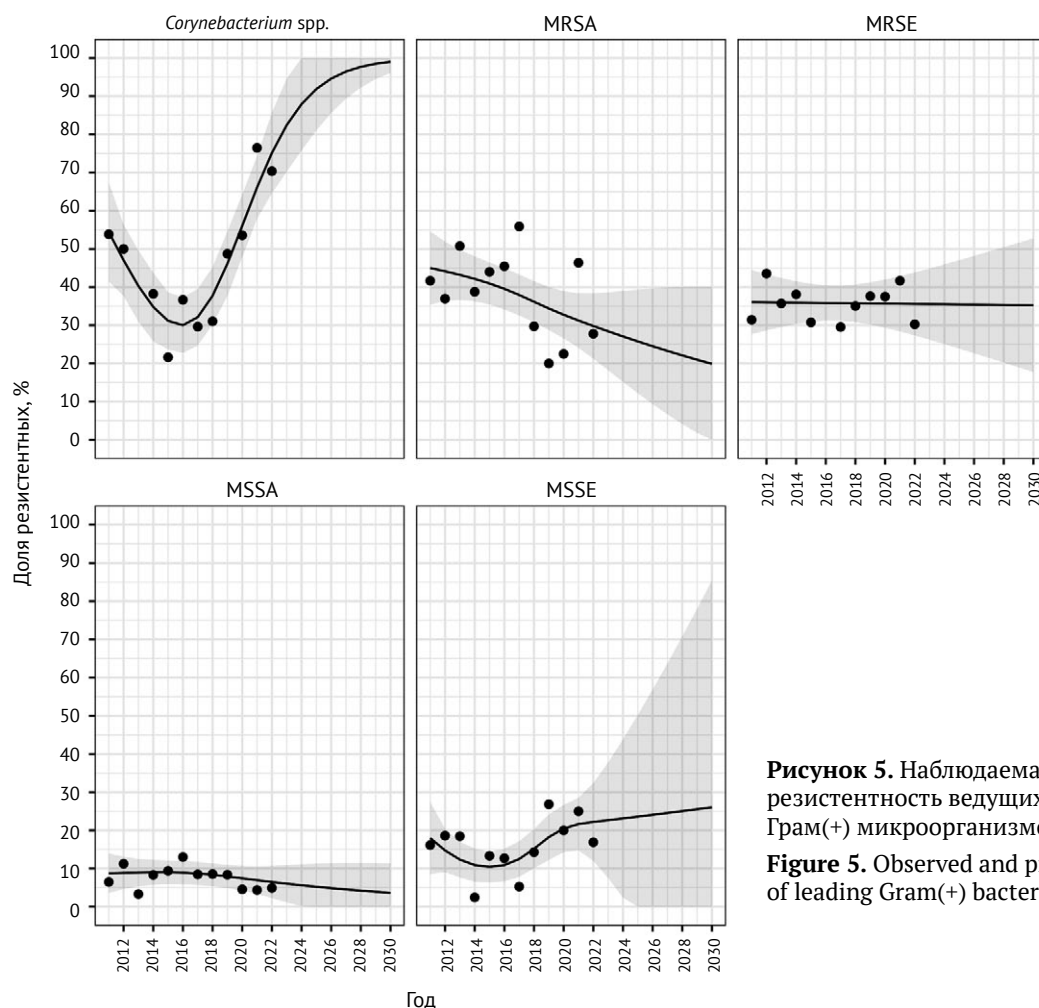


Рисунок 5. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к тетрациклину
Figure 5. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to tetracycline

Тигециклин принадлежит к классу глицилциклинов, структурно сходных с тетрациклинами. Тигециклин рассматривается в основном в контексте лечения инфекций, вызванных Грам(-) возбудителями. Однако, согласно EUCAST, определены контрольные точки и для таких возбудителей, как *Staphylococcus* spp. (включая метициллин-чувствительные и резистентные штаммы), *Enterococcus* spp. Тигециклин может преодолевать два основных механизма резистентности микроорганизмов, наблюдаемых в отношении классических тетрациклинов первого и второго поколений: рибосомальную защиту и активное выведение. Была продемонстрирована перекрестная резистентность между тигециклин- и миноциклин-резистентными изолятами *Enterobacteriaceae*, опосредованная эффлюксными насосами, обеспечивающими множественную лекарственную

устойчивость. В нашем исследовании штаммы *Enterococcus* spp. демонстрировали сохраненный профиль чувствительности к тигециклину (рис. 6). Всего 5% *Enterococcus faecium* в 2022 г. были резистентными. Общий тренд также свидетельствует о сохраняющейся активности лекарственного препарата в отношении *Enterococcus* spp.

Несмотря на хорошую пенетрацию препаратов данной группы в костную ткань, низкий уровень нефротоксичности и низкую стоимость, тетрациклины нельзя рассматривать в качестве препаратов выбора для стартовой эмпирической терапии. Однако пероральные формы доксициклина и миноциклина активно применяют в схемах лечения пациентов с ИАИ, в том числе в качестве длительной супрессивной терапии при невозможности выполнить радикальное хирургическое вмешательство [28, 29, 30].

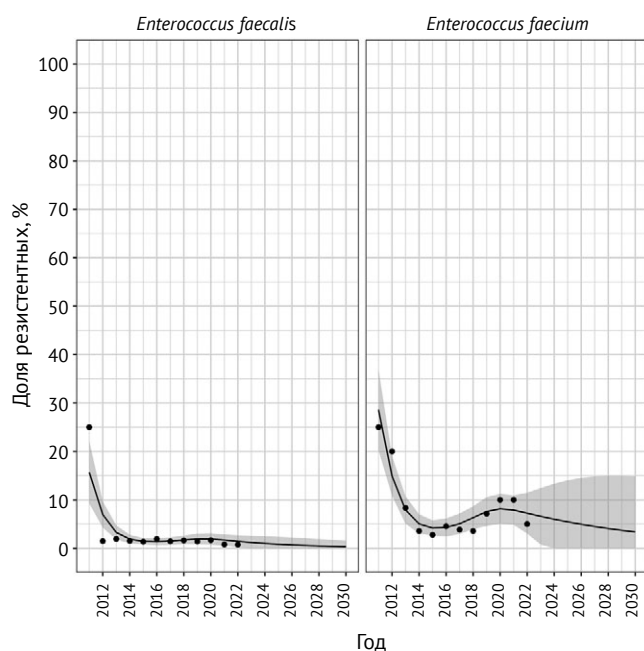


Рисунок 6. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к тигециклину

Figure 6. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to tigecycline

Линкозамиды (клиндамицин)

Клиндамицин, препарат из группы линкозамидов, обладает, как и тетрациклины, бактериостатическим действием за счет связывания с 50S субъединицей рибосомы и ингибирования синтеза белка у широкого спектра микроорганизмов. Хорошо проникает в ткани и органы, включая костную ткань. Однако отмечается появление большого количества резистентных к нему штаммов стафилококков [31, 32]. Наиболее распространенным механизмом устойчивости бактерий является модификация целевого участка, опосредованная генами *erm*, кодирующими фермент метилазу, который и изменяет 23S рибосомальную РНК.

R.R. Albavera-Gutierrez с соавторами в недавнем когортном исследовании показали, что чувствительность *S. aureus*, выделенных от пациентов с инфекцией, ассоциированной с ортопедическими имплантатами, к клиндамицину составила 89% [33]. Другие авторы установили, что устойчивость к клиндамицину была выше у культур MRSA в сравнении с MSSA — 79,4% против 41,8% [34].

В нашем исследовании была выявлена похожая закономерность для обоих видов стафилококков.

Доля устойчивых к клиндамицину MSSA увеличилась с 1,5 до 12% и в среднем составила 4,4%. В то же время частота выделения клиндамицин-резистентных MRSA варьировала в промежутке 39–60% с тенденцией к снижению до 48% к концу срока наблюдения (рис. 7).

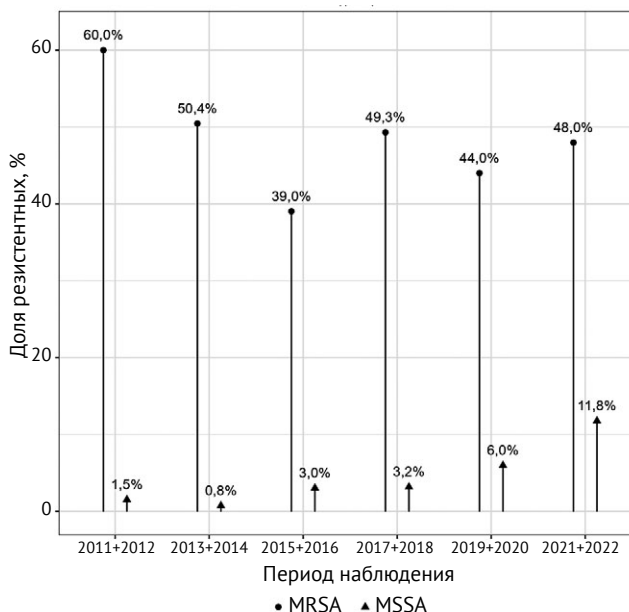


Рисунок 7. Доля резистентных к клиндамицину штаммов MSSA и MRSA

Figure 7. The proportion of clindamycin-resistant MSSA and MRSA strains

Динамика доли клиндамицин-резистентных *S. epidermidis* была схожей независимо от чувствительности к метициллину. Сначала фиксировали снижение показателя с 2011 по 2013 г., затем — рост, и к концу срока наблюдения доля устойчивых MSSE составила 27%, MRSE — 48% при средней величине показателя 11,6 и 36% соответственно (рис. 8).

Наличие парентеральной и пероральной форм выпуска, широкий диапазон дозировок, низкий аллергенный потенциал являются плюсами использования клиндамицина при лечении пациентов с ортопедической инфекцией, которое предполагает длительные курсы АБТ. Стандартная дозировка препарата — 600 мг каждые 8 ч. — обеспечивает высокую вероятность получения концентраций в тканях, равных по меньшей мере его МИК (0,25 мг/л) в отношении *Staphylococcus* spp. При повышении МИК более 0,25 мг/л возможны увеличение дозы до 450 мг и четырехкратный прием [35].

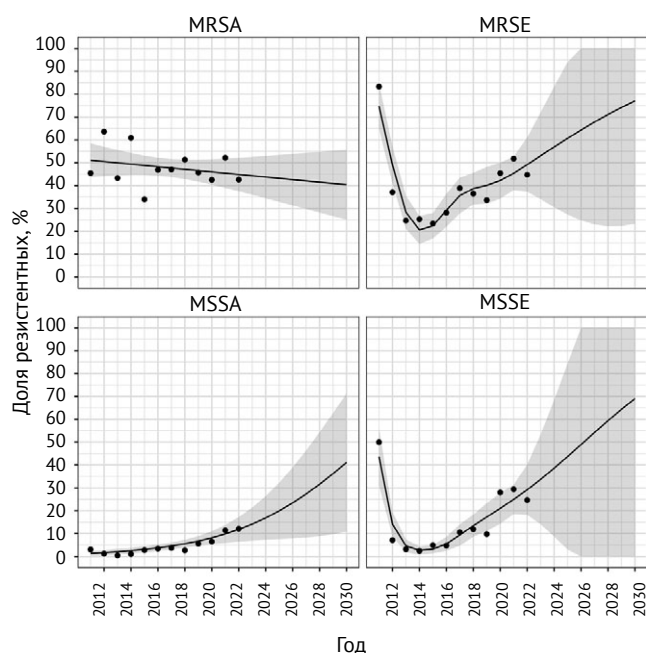


Рисунок 8. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к клиндамицину

Figure 8. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to clindamycin

Однако в последние годы опубликованы результаты нескольких исследований, которые показывают, что применение клиндамицина в комбинации с рифампицином существенно изменяет фармакокинетику линкозамида за счет увеличения его клиренса в 16 раз [36]. В такой ситуации достижение эффективной концентрации клиндамицина в тканях требует значительного увеличения его дозировки — непрерывной инфузии 4,2 г в сутки, что возможно только под контролем лекарственного мониторинга и при тщательном мониторинге нежелательных явлений, в частности антибиотик-ассоциированного колита [37]. Необходимо учитывать, что значительное влияние рифампицина на фармакокинетические/фармакодинамические показатели клиндамицина при их одновременном применении может привести к клинической неэффективности в случаях чувствительных к ним возбудителей.

Узкий спектр действия и значительная доля устойчивых к антибиотику штаммов не позволяют рекомендовать клиндамицин для стартовой эмпирической терапии. Однако он является препаратом выбора для периоперационной профилак-

тики в травматологии и ортопедии у пациентов с аллергией на пенициллины и цефалоспорины. Недавние публикации результатов анализа норвежского регистра эндопротезирования с включением данных о 2655 пациентах, получивших в качестве периоперационной антибиотикопрофилактики клиндамицин, демонстрируют его аналогичную с цефазолином эффективность в плане предупреждения ППИ при 5-летнем сроке наблюдения [38].

Фосфомицин

Фосфомицин — единственное производное фосфоновой кислоты, разработанное для клинической практики в 1970-х гг., бактерицидный антибиотик широкого спектра действия с уникальным механизмом действия, низкой токсичностью и хорошей проникающей способностью в ткани при глубоких инфекциях костей и суставов. За счет низкой молекулярной массы (138 Да), незначительного связывания с белками плазмы и сходства его химической структуры с гидроксиапатитом хорошо проникает в костную ткань и распределяется в неорганической части кости [39]. Бактерицидное действие препарата определяется необратимым ингибированием ранней стадии синтеза клеточной стенки бактерий. Фосфомицин проявляет антимикробную активность в отношении широкого перечня патогенов. В спектр его активности среди Грам(+) бактерий входят стафилококки, в т.ч. устойчивые к метициллину, и энтерококки, в т.ч. и *E. faecium* [40]. Указанные свойства определяют эффективность препарата в лечении пациентов с ортопедической инфекцией [39, 41].

Данные локального мониторинга в нашем Центре демонстрируют активность фосфомицина в отношении более 90% стафилококков. В целом средняя доля устойчивых к данному препарату штаммов MRSA составила 5,8%, MRSE — 7,7% (рис. 9), MSSE — 7%. Все MSSA были чувствительны к фосфомицину. Несмотря на то, что фосфомицин включен в рекомендации для комбинированной терапии ИАИ, вызванной энтерококками, EUCAST не содержит критериев для оценки чувствительности энтерококков, в связи с чем чувствительность энтерококков к фосфомицину в бактериологической лаборатории не определяли. Несмотря на сохранение высокой активности, препарат не рассматривают в качестве эмпирической терапии, однако широко применяют для лечения пациентов с ортопедической инфекцией.

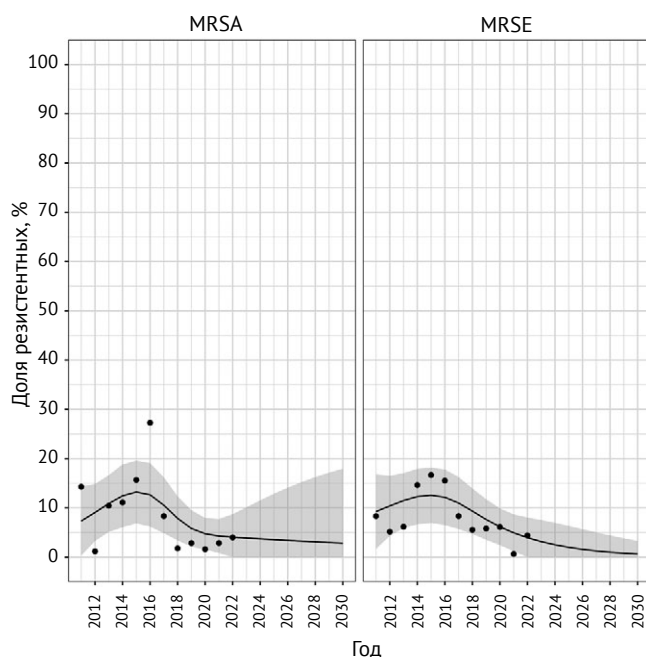


Рисунок 9. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к фосфомицину

Figure 9. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to fosfomycin

Согласно инструкции по применению, дозирование фосфомицина возможно в широких пределах — до 24 г в сутки в 3–4 введения. Недавнее исследование показало, что введение фосфомицина пациентам с инфекциями костей и суставов в режиме непрерывной инфузии от 8 до 16 г в сутки позволяет достигнуть целевых доз препарата для эффективного подавления патогенов с МИК до 128 мг/л. В случае инфекции, вызванной *S. aureus* (включая MRSA) и CoNS, эффективный режим дозирования фосфомицина был соответственно по 2 г 6 раз в сутки и непрерывно 8 г в сутки [42]. Кроме того, препарат проявляет синергидное взаимодействие со многими антибиотиками, и в случае лечения ИАИ его необходимо применять в составе комбинированной терапии. Несмотря на то, что не было описано случаев развития приобретенной устойчивости возбудителей к фосфомицину, в экспериментальной работе было показано четырехкратное увеличение МИК в ходе лечения ИАИ у лабораторных животных [40]. Одной из наиболее эффективных комбинаций в настоящее время считают сочетание фосфоми-

цина с рифампицином, что, по-видимому, обусловлено выраженным антибиопленочным действием рифампицина при ИАИ [40, 43].

Другие группы антибактериальных препаратов

При проведении микробиологического исследования биоматериала и удаленных конструкций пациентов с ортопедической инфекцией, вызванной различными Грам(+) микроорганизмами, выполняли определение антибиотикочувствительности к эритромицину, гентамицину, имипенему в соответствии с международными рекомендациями EUCAST по определению антибиотикочувствительности выделенных бактерий.

Однако макролиды, учитывая фармакокинетические особенности данных препаратов, не используют для антибактериальной профилактики или терапии ортопедической инфекции. Гентамицин в клинической практике для системной терапии применяется крайне редко, несмотря на то, что присутствует в некоторых рекомендациях по лечению ППИ в качестве дополнительного препарата для комбинированной терапии инфекции, вызванной *E. fecalis* [8]. В связи с указанными фактами данные локального мониторинга для них не представлены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным исследования, ни один из антибиотиков широкого спектра нельзя рекомендовать для использования в стартовой эмпирической терапии ортопедической инфекции. Фторхинолоны и ко-тримоксазол активны в отношении 30–33%, тетрациклины — в отношении 39% (преимущественно за счет сохраняющейся активности миноциклина и тигециклина), клиндамицин — в отношении 64% Грам(+) возбудителей. Фосфомицин сохраняет активность в отношении примерно 90% стафилококков. Однако на сегодняшний день нет критериев для оценки чувствительности к нему энтерококков, в связи с чем чувствительность энтерококков к фосфомицину не определяли. Для ускорения принятия решений необходимо знать эпидемиологию заболеваемости, этиологическую значимость различных видов бактерий и их распространенность, а также основные тенденции изменения резистентности возбудителей к антимикробным препаратам.

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. Tubb C.C., Polkowski G.G., Krause B. Diagnosis and Prevention of Periprosthetic Joint Infections. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(8):e340-e348. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00405>.
2. Birt M.C., Anderson D.W., Bruce Toby E., Wang J. Osteomyelitis: Recent advances in pathophysiology and therapeutic strategies. *J Orthop.* 2016;14(1):45-52. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.10.004>.
3. Zimmerli W., Sendi P. Orthopaedic biofilm infections. *APMIS.* 2017;125(4):353-364. <https://doi.org/10.1111/apm.12687>.
4. Касимова А.Р., Туфанова О.С., Гордина Е.М., Гвоздецкий А.Н., Радаева К.С., Рукина А.Н. и др. Двенадцатилетняя динамика спектра ведущих возбудителей ортопедической инфекции: ретроспективное исследование. *Травматология и ортопедия России.* 2024;30(1):66-75. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16720>.
5. Kasimova A.R., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetsky A.N., Radaeva K.S., Rukina A.N. et al. Twelve-Year Dynamics of Leading Pathogens Spectrum Causing Orthopedic Infection: A Retrospective Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2024;30(1):66-75. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-16720>.
6. Цискарашвили А.В., Меликова Р.Э., Новожилова Е.А. Анализ шестилетнего мониторинга основных возбудителей перипротезной инфекции крупных суставов и их тенденция к резистентности. *Гений Ортопедии.* 2022;28(2):179-188. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188>.
7. Fröschén F.S., Randau T.M., Franz A., Molitor E., Hischebeth G.T.R. Microbiological Profiles of Patients with Periprosthetic Joint Infection of the Hip or Knee. *Diagnostics (Basel).* 2022;12(7):1654. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071654>.
8. Tsiskarashvili A., Melikova R., Novozhilova E. Analysis of six-year monitoring of common pathogens causing periprosthetic joint infection of major joints and the tendency to resistance. *Genij Ortopedii.* 2022;28(2):179-188. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188>.
9. Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetsky A.N., Rukina A.N. et al. Choice of Antibiotics for the Treatment of Orthopedic Infection Caused by Gram-Positive Pathogens, Based on a 12-Year Follow-Up. Part 1: Penicillins, Cephalosporins, Glycopeptides, Oxazolidinones, Fusidic Acid, Rifampicin. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2025;31(2):5-17. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17680>.
10. Bernad L., Arvieux C., Brunschweiler B., Touchais S., Ansart S., Bru J.P. et al. Antibiotic Therapy for 6 or 12 Weeks for Prosthetic Joint Infection. *N Engl J Med.* 2021;384(21):1991-2001. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2020198>.
11. Hussen N.H.A., Qadir S.H., Rahman H.S., Hamalaw Y.Y., Kareem P.S.S., Hamza B.A. Long-term toxicity of fluoroquinolones: a comprehensive review. *Drug Chem Toxicol.* 2024;47(5):795-806. <https://doi.org/10.1080/01480545.2023.2240036>.
12. Perdigo Neto L.V., Oliveira M.S., Orsi T.D., Prado G.V.B.D., Martins R.C.R., Leite G.C. et al. Alternative drugs against multiresistant Gram-negative bacteria. *J Glob Antimicrob Resist.* 2020;23:33-37. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2020.07.025>.
13. Winkler T., Trampuz A., Renz N., Perka C., Bozhkova S.A. Classification and algorithm for diagnosis and treatment of hip periprosthetic infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016;(1):21-32. (In Russian).
14. 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.

12. Majalekar P.P., Shirote P.J. Fluoroquinolones: Blessings or Curses. *Curr Drug Targets*. 2020;21(13):1354-1370. <https://doi.org/10.2174/1389450121666200621193355>.
13. Zang W., Li D., Gao L., Gao S., Hao P., Bian H. The Antibacterial Potential of Ciprofloxacin Hybrids against *Staphylococcus aureus*. *Curr Top Med Chem*. 2022;22(12):1020-1034. <https://doi.org/10.2174/1568026622666220317162132>.
14. Domingues M., Torre C., Guerreiro J.P., Barata P., Correia-Neves M., Rocha J. et al. COVID-19 pandemic and the quality of antibiotic use in primary care: an interrupted time-series study. *Int J Qual Health Care*. 2023;35(2):mzad014. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzad014>.
15. Kalt F., Schulthess B., Sidler F., Herren S., Fucetese S.F., Zingg P.O. et al. *Corynebacterium* Species Rarely Cause Orthopedic Infections. *J Clin Microbiol*. 2018;56(12):e01200-e01218. <https://doi.org/10.1128/JCM.01200-18>.
16. Milosavljevic M.N., Milosavljevic J.Z., Kocovic A.G., Stefanovic S.M., Jankovic S.M., Djesevic M. et al. Antimicrobial treatment of *Corynebacterium* striatum invasive infections: a systematic review. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*. 2021;63:e49. <https://doi.org/10.1590/S1678-9946202163049>.
17. El Haj C., Murillo O., Ribera A., Lloberas N., Gómez-Junyent J., Tubau F. et al. Evaluation of linezolid or trimethoprim/sulfamethoxazole in combination with rifampicin as alternative oral treatments based on an in vitro pharmacodynamic model of staphylococcal biofilm. *Int J Antimicrob Agents*. 2018;51(6):854-861. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.01.014>.
18. Sánchez-Osuna M., Cortés P., Llagostera M., Barbé J., Erill I. Exploration into the origins and mobilization of di-hydrofolate reductase genes and the emergence of clinical resistance to trimethoprim. *Microb Genom*. 2020;6(11):mgen000440. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000440>.
19. Wormser G.P., Keusch G.T., Heel R.C. Co-trimoxazole (trimethoprim-sulfamethoxazole): an updated review of its antibacterial activity and clinical efficacy. *Drugs*. 1982;24(6):459-518. <https://doi.org/10.2165/00003495-198224060-00002>.
20. Thabit A.K., Fatani D.F., Bamakhrama M.S., Barnawi O.A., Basudan L.O., Alhejaili S.F. Antibiotic penetration into bone and joints: An updated review. *Int J Infect Dis*. 2019;81:128-136. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.02.005>.
21. Mahey N., Tambat R., Verma D.K., Chandan N., Thakur K.G., Nandanwar H. Antifungal Azoles as Tetracycline Resistance Modifiers in *Staphylococcus aureus*. *Appl Environ Microbiol*. 2021;87(15):e0015521. <https://doi.org/10.1128/AEM.00155-21>.
22. Baquero F., Martínez J.L., Lanza V.F., Rodríguez-Beltrán J., Galán J.C., San Millán A. et al. Evolutionary Pathways and Trajectories in Antibiotic Resistance. *Clin Microbiol Rev*. 2021;34(4):e0005019. <https://doi.org/10.1128/CMR.00050-19>.
23. Hamad T., Hellmark B., Nilsdotter-Augustinsson Å., Söderquist B. Antibiotic susceptibility among *Staphylococcus epidermidis* isolated from prosthetic joint infections, with focus on doxycycline. *APMIS*. 2015;123(12):1055-1060. <https://doi.org/10.1111/apm.12465>.
24. Lewis S.A., Altmeier W.A. Correlation of *in vitro* resistance of *Staphylococcus aureus* to tetracycline, doxycycline, and minocycline with *in vivo* use. *Chemotherapy*. 1976;22(5):319-323. <https://doi.org/10.1159/000221939>.
25. Doub J.B., Nandi S., Putnam N. Retention of Minocycline Susceptibility When Gram-Positive Periprosthetic Joint Infection Isolates Are Non-Susceptible to Doxycycline. *Infect Dis Rep*. 2022;14(5):641-645. <https://doi.org/10.3390/idr14050069>.
26. Wang P., Bowler S.L., Kantz S.F., Mettus R.T., Guo Y., McElheny C.L. et al. Comparison of Minocycline Susceptibility Testing Methods for Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii*. *J Clin Microbiol*. 2016;54(12):2937-2941. <https://doi.org/10.1128/JCM.01810-16>.
27. Amer M.A., Darwish M.M., Soliman N.S., Amin H.M. Resistome, mobilome, and virulome explored in clinical isolates derived from acne patients in Egypt: unveiling unique traits of an emerging coagulase-negative *Staphylococcus* pathogen. *Front Cell Infect Microbiol*. 2024;14:1328390. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1328390>.
28. Pradier M., Robineau O., Boucher A., Titecat M., Blondiaux N., Valette M. et al. Suppressing antibiotic therapy with oral tetracyclines for prosthetic joint infections: a retrospective study of 78 patients. *Infection*. 2018;46(1):39-47. <https://doi.org/10.1007/s15010-017-1077-1>.
29. Ceccarelli G., Perciballi B., Russo A., Martini P., Marchetti F., Capparuccia M.R. et al. Chronic Suppressing Antibiotic Treatment for Staphylococcal Bone and Joint Implant-Related Infections. *Antibiotics (Basel)*. 2023;12(5):937. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12050937>.
30. Pradier M., Nguyen S., Robineau O., Titecat M., Blondiaux N., Valette M. et al. Suppressing antibiotic therapy with oral doxycycline for *Staphylococcus aureus* prosthetic joint infection: a retrospective study of 39 patients. *Int J Antimicrob Agents*. 2017;50(3):447-452. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2017.04.019>.
31. Helmy H.A., Abdelhamed M.R., Youssef M.I., El Zamek H.M.F., Kamal A., Abdelfattah A. et al. A Multicenter Experience of Inducible Clindamycin Resistance in *Staphylococcus aureus* Infection among 800 Egyptian Patients with or without Diabetes Mellitus. *Am J Trop Med Hyg*. 2023;109(2):350-355. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.22-0492>.
32. Hu L., Fu J., Zhou Y., Chai W., Zhang G., Hao L. et al. Trends in microbiological profiles and antibiotic resistance in periprosthetic joint infections. *J Int Med Res*. 2021;49(3):3000605211002784. <https://doi.org/10.1177/03000605211002784>.
33. Albavera-Gutierrez R.R., Espinosa-Ramos M.A., Rebolledo-Bello E., Paredes-Herrera F.J., Carballo-Lucero D., Valencia-Ledezma O.E. et al. Prevalence of *Staphylococcus aureus* Infections in the Implantation of Orthopedic Devices in a Third-Level Hospital: An Observational Cohort Study. *Pathogens*. 2024;13(8):620. <https://doi.org/10.3390/pathogens13080620>.
34. Adhikari R.P., Shrestha S., Barakoti A., Amatya R. Inducible clindamycin and methicillin resistant *Staphylococcus aureus* in a tertiary care hospital, Kathmandu, Nepal. *BMC Infect Dis*. 2017;17(1):483. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2584-5>.

35. Mimram L., Magréault S., Kerroumi Y., Salmon D., Kably B., Marmor S. et al. Population Pharmacokinetics of Orally Administered Clindamycin to Treat Prosthetic Joint Infections: A Prospective Study. *Antibiotics (Basel)*. 2022;11(11):1462. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111462>.
36. Goulenok T., Seurat J., Selle A., Jullien V., Leflon-Guibout V., Grall N. et al. Pharmacokinetic interaction between rifampicin and clindamycin in staphylococcal osteoarticular infections. *Int J Antimicrob Agents*. 2023;62(2):106885. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2023.106885>.
37. Mimram L., Magréault S., Kerroumi Y., Salmon D., Kably B., Marmor S. et al. What clindamycin dose should be administered by continuous infusion during combination therapy with rifampicin? A prospective population pharmacokinetics study. *J Antimicrob Chemother*. 2023;78(12):2943-2949. <https://doi.org/10.1093/jac/dkad335>.
38. Pawloy K., Fenstad A.M., Leta T., Hallan G., Gjertsen J.E., Dale H. et al. No difference in risk of revision due to infection between clindamycin and cephalosporins as antibiotic prophylaxis in cemented primary total knee replacements: a report from the Norwegian Arthroplasty Register 2005-2020. *Acta Orthop*. 2023;94:404-409. <https://doi.org/10.2340/17453674.2023.16907>.
39. Tsegka K.G., Voulgaris G.L., Kyriakidou M., Kapaskelis A., Falagas M.E. Intravenous fosfomycin for the treatment of patients with bone and joint infections: a review. *Expert Rev Anti Infect Ther*. 2022;20(1):33-43. <https://doi.org/10.1080/14787210.2021.1932463>.
40. Mihailescu R., Furustrand Taffin U., Corvec S., Oliva A., Betrisey B., Borens O. et al. High activity of Fosfomycin and Rifampin against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilm *in vitro* and in an experimental foreign-body infection model. *Antimicrob Agents Chemother*. 2014;58(5):2547-2553. <https://doi.org/10.1128/AAC.02420-12>.
41. Renz N., Trebse R., Akgün D., Perka C., Trampuz A. Enterococcal periprosthetic joint infection: clinical and microbiological findings from an 8-year retrospective cohort study. *BMC Infect Dis*. 2019;19(1):1083. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4691-y>.
42. Rinaldi M., Cojutti P.G., Zamparini E., Tedeschi S., Rossi N., Conti M. et al. Population pharmacokinetics and Monte Carlo simulation for dosage optimization of fosfomycin in the treatment of osteoarticular infections in patients without renal dysfunction. *Antimicrob Agents Chemother*. 2023;65(5):e02038-20. <https://doi.org/10.1128/AAC.02038-20>.
43. Rieg S., Ernst A., Peyerl-Hoffmann G., Joost I., Camp J., Hellmich M. et al. Combination therapy with rifampicin or fosfomycin in patients with *Staphylococcus aureus* bloodstream infection at high risk for complications or relapse: results of a large prospective observational cohort. *J Antimicrob Chemother*. 2020;75(8):2282-2290. <https://doi.org/10.1093/jac/dkaa144>.

Сведения об авторах

✉ Касимова Алина Рашидовна — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0001-6284-7133>
e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук,
профессор
<http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Туфанова Ольга Сергеевна
<https://orcid.org/0000-0003-4891-4963>
e-mail: katieva@mail.ru

Гордина Екатерина Михайловна — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0003-2326-7413>
e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Гвоздецкий Антон Николаевич — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0001-8045-1220>
e-mail: Gvozdetskiy_AN@hotmail.com

Тихилов Рашид Муртузалиевич — д-р мед. наук,
профессор, чл.-кор. РАН
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
e-mail: rtikhilov@gmail.com

Authors' information

✉ Alina R. Kasimova — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,
195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-6284-7133>
e-mail: kasi-alina@yandex.ru

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

Olga S. Tufanova
<https://orcid.org/0000-0003-4891-4963>
e-mail: katieva@mail.ru

Ekaterina M. Gordina — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0003-2326-7413>
e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Anton N. Gvozdetsky — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0001-8045-1220>
e-mail: Gvozdetskiy_AN@hotmail.com

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Corresponding Member of the RAS
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
e-mail: rtikhilov@gmail.com

Revision and Complex Primary Total Hip Arthroplasty with Impaction Bone Grafting for Acetabular Defects: Medium-Term Results

Vadim N. Golnik¹, Alexey M. Ivanyuk¹, Denis A. Dzhukhaev¹, Anna G. Zolovkina¹, Nina A. Korenyak¹, Yuriy M. Batrak¹, Vladimir A. Peleganchuk¹, Vitaliy V. Pavlov²

¹ Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Barnaul, Russia

² Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. Impaction bone grafting remains an alternative method for managing bone deficiency. Cyclic loads on the allograft may cause its further compaction and deformation, leading to migration of the acetabular component.

The aim of this study – to evaluate the effectiveness and refine the indications for the use of impaction bone grafting for acetabular defects in revision and complex primary total hip arthroplasty by assessing the mid-term survival of implanted cemented acetabular components.

Methods. We performed a retrospective analysis of the results of impaction bone grafting in 48 patients whose data were available for the assessment of acetabular component survival. Radiographic data were analyzed in 42 cases, clinical outcomes were assessed in 44 cases. Structure of operations was represented by 37 revisions and 5 cases of complex primary hip arthroplasty. The average follow-up period was 60 months. We assessed radiographic signs of cup migration, loosening and bone allograft remodeling. Kaplan-Meier survival analysis with 95% confidence intervals was performed.

Results. The general survival of acetabular components was 97.9% (95% CI: 97.86-97.94) for 60 months and 84.3% (95% CI: 84.15-84.43) for 90 months. In 4 (7.4%) cases, we recorded an unsatisfactory result. In 7 cases, radiolucent lines without clinical signs of loosening were detected. In 22 (52.3%) cases a simultaneous change in inclination and cranial displacement of the rotation center were noted. In isolated assessment of inclination, changes were noted in 24 (57.1%) cases. We found a direct correlation between the acetabular component migration, defect severity and the use of a containment device ($p = 0.006$), as well as between the displacement of the rotation center by more than 5 mm and the inclination by more than 10° in 91.7% of cases ($p < 0.0001$). The median functional assessment according to the Hip Harris Score showed 85.50 [70.5; 95.0] points and 6.5 [2.0; 21.0] points according to the WOMAC questionnaire.

Conclusions. Impaction bone grafting is a method of choice for limited bone defects replacement. Migration of the cup, displacement of the rotation center by more than 5 mm and an increase in its inclination by more than 10° can be regarded as a conditional norm due to natural biomechanical processes, which is confirmed by high medium-term survival rates of the implant according to clinical data.

Keywords: impaction bone grafting; bone defect; revision arthroplasty; acetabular component migration; Kaplan-Meier survival analysis.

Cite as: Golnik V.N., Ivanyuk A.M., Dzhukhaev D.A., Zolovkina A.G., Korenyak N.A., Batrak Yu.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V. Revision and Complex Primary Total Hip Arthroplasty with Impaction Bone Grafting for Acetabular Defects: Medium-Term Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):20-34. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17701>.

✉ Vadim N. Golnik; e-mail: vgolnik@mail.ru

Submitted: 04.04.2025. Accepted: 05.05.2025. Published online: 14.07.2025.

© Golnik V.N., Ivanyuk A.M., Dzhukhaev D.A., Zolovkina A.G., Korenyak N.A., Batrak Yu.M., Peleganchuk V.A., Pavlov V.V., 2025

Среднесрочные результаты ревизионного и первичного сложного эндопротезирования тазобедренного сустава с применением импакционной костной пластики дефектов вертлужной впадины

В.Н. Гольник¹, А.М. Иванюк¹, Д.А. Джухаев¹, А.Г. Золовкина¹, Н.А. Кореньяк¹,
Ю.М. Батрак¹, В.А. Пелеганчук¹, В.В. Павлов²

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

² ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

Реферат

Актуальность. Импакционная костная пластика остается альтернативным способом возмещения костного дефицита. Циклические нагрузки на аллотрансплантат могут вызывать его дальнейшее уплотнение и деформацию, приводя к миграции вертлужного компонента.

Цель исследования — оценить эффективность и уточнить показания для применения импакционной костной пластики дефектов вертлужной впадины при ревизионном и первичном сложном эндопротезировании тазобедренного сустава путем определения среднесрочных результатов выживаемости имплантированных вертлужных компонентов цементной фиксации.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ результатов применения импакционной костной пластики у 48 пациентов, данные которых были доступны для оценки выживаемости вертлужного компонента. Рентгенологические данные проанализированы в 42 случаях, оценка клинических результатов проведена в 44 случаях. Структура операций представлена 37 ревизионными вмешательствами и 5 операциями первичного сложного эндопротезирования. Средний срок наблюдения составил 60 мес. Оценены рентгенологические признаки миграции, расшатывания вертлужного компонента, перестройки костного аллотрансплантата. Проведен анализ выживаемости по Каплану–Майеру с 95% доверительными интервалами.

Результаты. Общая выживаемость эндопротезов, в частности вертлужных компонентов, составила 97,9% (95% ДИ: 97,86–97,94) за 60 мес.; 84,3% (95% ДИ: 84,15–84,43) за 90 мес. В 4 (7,4%) случаях зафиксирован неудовлетворительный результат. В 7 случаях выявлены рентгенопрозрачные линии без клинических признаков расшатывания. В 22 (52,3%) случаях отмечено одновременное изменение инклинации и краниальное смещение центра ротации. При изолированной оценке инклинации изменения отмечены в 24 (57,1%) случаях. Выявлена прямая корреляция миграции вертлужного компонента, тяжести дефекта и использования ограничивающей конструкции ($p = 0,006$), а также между смещением центра ротации более 5 мм в любом направлении и увеличением инклинации более чем на 10° в 91,7% случаев ($p < 0,0001$). Медиана функциональной оценки по шкале Харриса показала 85,50 [70,5; 95,0] балла и 6,5 [2,0; 21,0] балла согласно опроснику WOMAC.

Заключение. Импакционная костная пластика является методом выбора для замещения ограниченных костных дефектов при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. Миграцию вертлужного компонента, смещение центра ротации более 5 мм и увеличение его инклинации более 10° можно расценивать как условную норму, обусловленную естественными биомеханическими процессами, что подтверждается высокой среднесрочной выживаемостью эндопротеза.

Ключевые слова: импакционная костная пластика; костный дефект; ревизионное эндопротезирование; миграция вертлужного компонента; анализ выживаемости по Каплану–Майеру.

 **Для цитирования:** Гольник В.Н., Иванюк А.М., Джухаев Д.А., Золовкина А.Г., Кореньяк Н.А., Батрак Ю.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В. Среднесрочные результаты ревизионного и первичного сложного эндопротезирования тазобедренного сустава с применением импакционной костной пластики дефектов вертлужной впадины. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):20–34.
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17701>.

 Гольник Вадим Николаевич; e-mail: vgolnik@mail.ru

Рукопись получена: 04.04.2025. Рукопись одобрена: 05.05.2025. Статья опубликована онлайн: 14.07.2025.

© Гольник В.Н., Иванюк А.М., Джухаев Д.А., Золовкина А.Г., Кореньяк Н.А., Батрак Ю.М., Пелеганчук В.А., Павлов В.В., 2025

INTRODUCTION

Bone defect restoration remains a key prerequisite for successful hip joint reconstruction during revision arthroplasty, along with restoration of the center of rotation and achievement of stable component fixation [1, 2]. In recent decades, there has been a growing trend in hip reconstructive surgery toward the use of modular revision systems made from various porous materials with pronounced osteoconductive properties [3, 4].

Nevertheless, interest in the use of various bone grafting materials (BGM) remains high. The use of massive structural allografts is limited due to the risk of resorption and reduced long-term stability, as bone remodeling occurs only partially in the revascularized peripheral zone [5]. An alternative method of managing bone defects currently involves impaction bone grafting (IBG) using morselized allograft bone. Numerous studies have demonstrated satisfactory outcomes with IBG in combination with cementless highly porous acetabular components [6, 7], modular revision systems [8, 9, 10], cages [11], reconstruction rings, and custom implants [12], where the mechanical support is provided by the native bone while the allograft fills the defect cavity. Most of the clinical experience with IBG in hip arthroplasty has been associated with cemented fixation of the acetabular component [13, 14, 15, 16, 17].

A distinctive feature of this approach is the potential for changes over time in the spatial position of the acetabular component, which rests on a bed of impacted morselized allograft bone. This characteristic is an inherent aspect of the technique and is likely related to the fact that the bone graft material undergoes additional compaction and deformation under cyclic loading [18]. This fundamentally differs from the implantation of the acetabular component into native acetabular bone, which does not undergo significant structural changes under cyclic loads. Despite the known limitations of IBG, such as the risk of resorption of the impacted bone graft [19], lower initial stability of cemented acetabular component, and potential for migration [20, 21], the biological potential for restoring acetabular

bone defects remains an attractive advantage of this technique.

The aim of this study – to evaluate the effectiveness and refine the indications for the use of impaction bone grafting for acetabular defects in revision and complex primary total hip arthroplasty by assessing the mid-term survival of implanted cemented acetabular components.

METHODS

Study design

A single-center retrospective observational study was conducted to evaluate the outcomes of impaction bone grafting using the X-Change system with specialized instrumentation (Stryker Howmedica, Newbury, UK) in revision and complex primary total hip arthroplasty (THA) in patients operated on between September 2015 and February 2022 at the Federal Center of Traumatology, Orthopedics, and Arthroplasty (Barnaul, Russia).

Inclusion criteria were as follows:

- 1) revision or complex primary THA;
- 2) contained or combined (with segmental deficiency) acetabular bone defects requiring reconstruction;
- 3) use of IBG in combination with a cemented acetabular component.

The exclusion criterion was the use of alternative techniques for acetabular defect reconstruction, including cementless acetabular components with augments, reconstruction cages, or structural allografts.

Initially, 54 patients meeting the inclusion criteria were selected. By the time of mid-term follow-up assessment, 6 patients were lost to follow-up and could not be contacted or examined. Three patients had died from causes unrelated to the surgical procedure; however, available clinical data and X-rays obtained during their follow-up period were included in the study. As a result, data from 48 patients were included in the final survival analysis of cemented acetabular components. Radiographic data were analyzed in 42 cases (37 patients who underwent revision procedures and 5 patients who underwent complex primary THA), and clinical outcome questionnaires were completed by 44 patients.

Baseline patients' characteristics

The study included 23 (47.9%) women and 25 (52.1%) men. The mean age at the time of surgery was 59.8 years (range, 35–78 years); 21 patients were under 60 years of age, and 27 patients were aged 60 years or older. The mean body mass index (BMI) was 28.55 ± 4.9 kg/m² (range, 18.2–39.0). Twelve patients (25.0%) had normal weight, 17 (35.4%) were overweight, 14 (29.2%) had class I obesity, and 5 (10.4%) patients had class II obesity. The mean follow-up period was 60 months (range, 12–111 months).

The indications for the use of IBG were determined based on preoperative evaluation in cases of contained acetabular bone defects or combined defects with a segmental component, provided that the defect could be augmented with various metal constructs and converted into a fully contained defect capable of retaining the BGM.

Initially, revision arthroplasty accounted for 47 of the performed procedures. Of these, 30 cases were due to aseptic loosening, 2 cases due to osteolysis, and 1 case due to a massive post-explant acetabular defect following a failed reconstruction attempt using alternative methods. In 13 cases, IBG was performed during the second stage of treatment for periprosthetic joint infection (PJI), and in 1 case during single-stage treatment for PJI. In 7 cases, acetabular bone grafting was performed during primary THA: in 1 case for a massive osteolytic cyst, in 1 case for femoral head avascular necrosis with a secondary acetabular defect, in 1 case during two-stage treatment of arthritis following femoral head osteomyelitis, and in 4 cases for *protrusio acetabuli*. In 26 cases, revision of the acetabular component was combined with the

exchange of the femoral component, and in 11 cases IBG was performed on both the pelvis and femur simultaneously.

Surgical technique

All procedures were performed via an anterolateral approach by three experienced surgeons, each with over 10 years of surgical practice. Intraoperatively, the condition of the acetabulum and the extent of any segmental bone defects were assessed. In areas of the acetabulum where bone loss resulted in uncontained defects, a metallic reconstruction mesh (X-Change, Stryker Howmedica, Newbury, UK), a custom-made 3D-printed titanium mesh (Logeeks MS, Novosibirsk, Russia) manufactured via selective laser melting, or a porous tantalum augment (Zimmer, Warsaw, Indiana, USA) was used. The distribution of constructs used for acetabular defect augmentation is presented in Table 1. The bone graft material (chips approximately 10 mm³ in size) was manually prepared from thermally disinfected allograft bone obtained from the institutional bone bank using Luer rongeurs. Cemented acetabular components from various manufacturers, ranging in size from 40 to 58 mm, were implanted. Patients were mobilized on the first postoperative day, followed by partial weight-bearing on the operated limb for 6 weeks.

Outcome assessment methods

At the time of the study, patients were invited for a follow-up visit, during which X-rays of the hip joint were obtained in anteroposterior and axial views. A clinical examination was performed, including assessment of functional outcomes using the modified Harris Hip Score (HHS) [22]

Table 1

Methods of bone defect augmentation in acetabular reconstruction

Augmentation method	Number of cases
Without a construct	19
Reconstruction of a peripheral defect using the Stryker mesh	20
Reconstruction of a medial wall defect using the Stryker mesh	2
Reconstruction of peripheral and medial defects using the Stryker mesh	6
Reconstruction using a custom-made 3D-printed mesh	3
Porous tantalum augment	4

and the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) [23]. Patients who were unable to attend an in-person visit were interviewed by phone, and their X-rays were requested by mail and subsequently analyzed.

Based on preoperative X-rays, computed tomography data, and intraoperative findings, acetabular defects were classified according to their containment and severity using the American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) classification [24] and the W. Paprosky classification [25], respectively. In revision arthroplasty cases, the distribution of defects according to the Paprosky classification was as follows: type 3B in 27 (57.4%) cases, type 2A in 18 (38.3%) cases, and types 2B and 2C in one case (2.1%) each. Uncontained defects (Type I) were observed in 2 (4.3%) cases, while the remaining cases included contained defects (Type II) in 11 (23.4%) patients and combined defects (Type III) amenable to reconstruction and conversion into fully contained defects in 34 (72.3%) cases. Among complex primary arthroplasty cases, contained defects (Type II) were identified in 5 cases and combined defects (Type III) in 2 cases (Table 2).

In evaluating implant survival – specifically, that of the acetabular component – radiographic signs of loosening at the study endpoint or removal of the acetabular component during the follow-up period after revision surgery were considered as failure outcomes.

To assess changes in the position of the center of rotation of the acetabular component over time, a horizontal reference line (X-axis) was drawn through the inferior margin of the “teardrop” figure on both hips. A perpendicular line (Y-axis) was then drawn from the lateral edge of the “teardrop” on the operated side. Horizontal and vertical distances from the center of the prosthetic femoral head were measured by projecting perpendiculars from the head center to the X and Y axes [26]. Additionally, we measured the inclination angle of the acetabular component relative to the X-axis and its anteversion (Figure 1).

The magnitude of acetabular component displacement was determined by calculating the difference between the initial and final positions of the center of rotation along the X and Y axes. Similarly, changes in inclination and anteversion angles were assessed. Calibration of radiographic images was performed using DICOM files, and all measurements were conducted with the BonaPlanner 2D software, utilizing the “postoperative control” function.

Table 2

Distribution of bone defects according to the W. Paprosky and AAOS classifications

W. Paprosky		AAOS	
Type	Number	Type	Number
<i>Revision arthroplasty (n = 47)</i>			
Type 2C	1	Type I	1
Type 2B	1	Type III	1
Type 2A	18	Type II	7
		Type III	11
Type 3B	27	Type I	1
		Type II	4
		Type III	22
<i>Complex primary total hip arthroplasty (n = 7)</i>			
No		Type II	5
		Type III	2

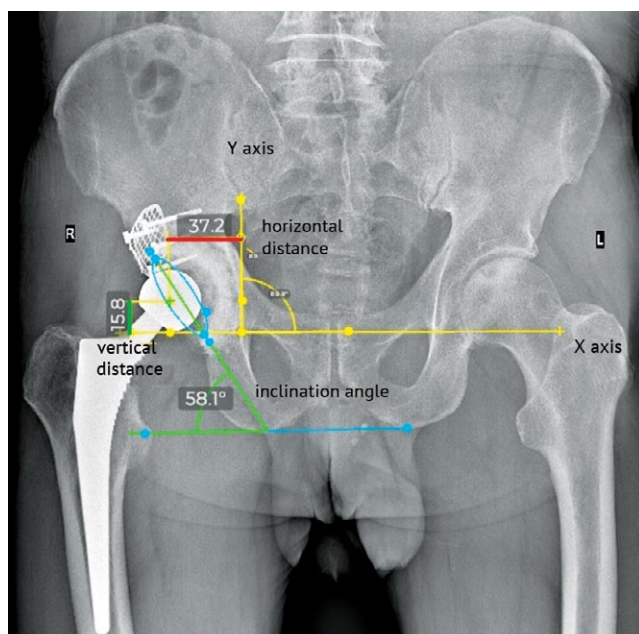


Figure 1. Scheme of acetabular component displacement measurements

Radiographic assessment of the bone allograft was performed using the criteria described by T.J. Slooff et al. [27]. Complete graft incorporation was defined as radiographic density of the graft identical to that of the host bone, with continuous trabecular patterns throughout the interface. Radiolucent lines at the bone-cement interface were evaluated according to the three-zone system described by J.G. DeLee and J. Charnley [28]. The outcome was considered unsatisfactory in the presence of radiolucent lines in all three zones, mesh breakage or screw migration, or dislocation of the acetabular component.

Statistical analysis

The study data were analyzed using both parametric and non-parametric statistical methods. Data collection, correction, organization, and visualization were performed using Microsoft Office Excel 2016. Statistical analysis was conducted with MedCalc software. Continuous variables were described using the median (Me) and interquartile range [Q_1 ; Q_3]. Categorical variables were presented as absolute values and percentages.

For comparisons of means in normally distributed continuous variables, the Student's t-test was applied; the difference considered

statistically significant at $p < 0.05$. In cases of non-normally distributed data, the Mann-Whitney U test was used for comparisons between independent groups. For normally distributed data across multiple groups, one-way analysis of variance (ANOVA) was performed using the F-test. Associations between categorical variables were assessed using contingency tables and Pearson's chi-squared (χ^2) test. Kaplan-Meier survival analysis was performed with 95% confidence intervals (CI). Endpoints included aseptic loosening, radiographic signs of aseptic loosening, and revision for any reason (aseptic loosening or infection) in the analysis of overall implant survival.

RESULTS

During the follow-up period, no revision procedures were performed in 44 (91.7%) cases. Complications occurred in 4 (4.2%) cases, of which 2 (4.2%) cases required surgical intervention due to recurrence of the infectious process. In another 2 (4.2%) cases, radiographic signs of aseptic loosening were identified, for which revision surgeries have been scheduled. Thus, the overall prosthesis survival rate, specifically of the femoral component, with aseptic loosening or re-operation as the endpoint, was 97.9% (95% CI: 97.86-97.94) at 60 months and 84.3% (95% CI: 84.15-84.43) at 90 months (Figure 2). The survival rate with aseptic loosening as the endpoint was 100% at 60 months and 90.9% (95% CI: 90.78-91.02) at 90 months (Figure 3).

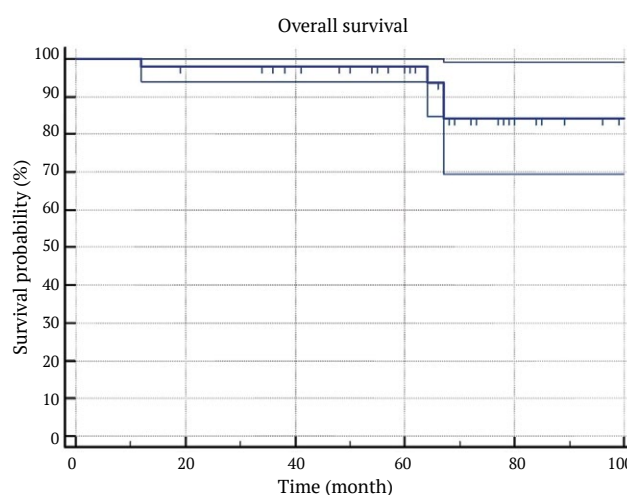


Figure 2. Kaplan-Meier curve for overall cup survival

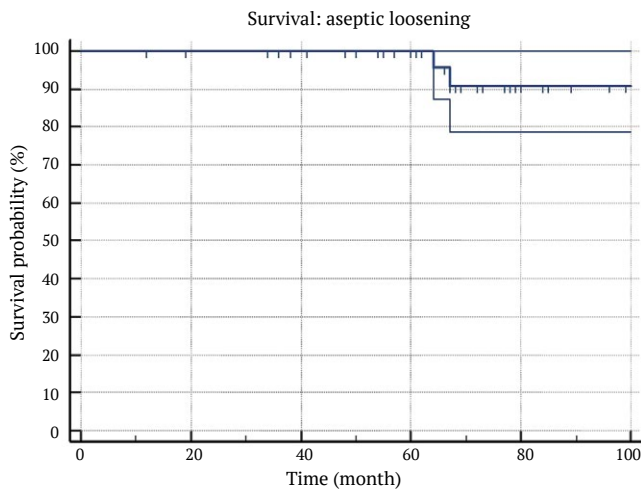


Figure 3. Kaplan-Meier curve for cup survival with revision aseptic loosening as the endpoint

Complications were observed in 6 (11.11%) patients: in two cases, intraoperative perforation of the femoral canal wall occurred during the removal of the femoral component of the prosthesis. In one case, sciatic nerve neuropathy developed, which regressed within 6 months with conservative treatment. In 3 cases, dislocation of the femoral component occurred. In one of these cases, due to recurrent dislocations, a reoperation was required, involving implantation of a dual mobility system into an impacted bone graft bed following the removal of the acetabular component using the “cement-in-cement” technique prior to the patient’s discharge. This case was not classified as an unsatisfactory outcome. No mortality was recorded in the study group.

Control X-rays were analyzed in 42 patients. Reliable signs of the acetabular component

loosening were identified in only 4 (9.5%) patients. In two (4.8%) cases the dislocation of the cup beyond the boundaries of the acetabulum was observed. In one (2.4%) case there was noticed the presence of a radiolucent line at the graft-cement interface in all three zones. In one (2.4%) case a radiolucent line in zone III was associated with a high degree of migration (> 5 mm along one of the axes), a change in anteversion within 10° , and a low HHS value of 37 points. Radiolucent lines were detected in 7 (16.7%) cases: in 6 patients, they were observed in only one zone, most frequently in zone III, and in one case, a radiolucent line was found in two zones (zones II and III).

Midterm radiographic assessment of the position of the center of rotation, inclination, and anteversion of the acetabular component revealed simultaneous changes in inclination and cranial displacement of the center of rotation in 22 (52.4%) cases. An increase in acetabular component inclination was observed in 24 (57.1%) cases, indicating that changes in inclination occurred in nearly all cases with cranial displacement of the center of rotation. A direct correlation was identified between the displacement of the center of rotation by more than 5 mm in any direction and an increase in inclination by more than 10° , occurring in 91.7% of cases ($p < 0.0001$). The analysis showed that significant displacement of the center of rotation (> 5 mm) most commonly occurred in the cranial direction: 8 (19.0%) cases along the Y-axis and 3 (7.1%) cases along the X-axis. Types of acetabular component migration in relation to bone defect classification and reconstruction method are presented in Table 3.

Table 3

Major indicators for acetabular component migration

Patient's number	Δ of inclination, deg.			Displacement of the center of rotation, mm						Paprosky	AOOS	Reconstruction method
				Along the X-axis			Along the Y-axis					
	0	<10	>10	0	<5	>5	0	<5	>5			
1*			•			•			•	2A	III	C
2		•			•				•	3B	III	C2
3	•			•			•			3B	II	0
4			•		•			•		2A	III	C2
5	•			•			•			3B	III	C
6			•			•			•	3B	III	C2
7	•			•			•			–	III	A

End of Table 3

Patient's number	Δ of inclination, deg.			Displacement of the center of rotation, mm						Paprosky	AOOS	Reconstruction method
				Along the X-axis			Along the Y-axis					
	0	<10	>10	0	<5	>5	0	<5	>5			
8	•				•				•	2A	III	C2
9	•			•			•			2B	I	C
11		•			•			•		2A	III	C
12	•			•			•			3B	III	C2
13		•			•			•		3B	III	C
14	•			•			•			3B	III	CM
15	•			•			•			2A	III	C
16	•				•			•		3B	III	A
17	•			•			•			2A	II	0
18		•			•				•	3B	III	C2
19*			•			•			•	3B	III	C
20*			•			•			•	–	III	3D
21		•		•			•			2A	II	0
22			•		•				•	3B	III	3D
24		•		•			•			3B	II	0
24*			•			•			•	2A	III	C
25	•				•			•		2A	III	C
26	•				•			•		2A	II	0
27		•				•			•	3B	III	C
28	•			•			•			3B	III	A
29		•			•				•	3B	III	C
30	•			•			•			3B	III	CM
31		•		•			•			3B	III	3D
32			•		•				•	3B	III	C
33		•		•			•			–	II	0
34		•		•			•			2A	II	0
35		•		•			•			–	II	0
36		•		•			•			2C	III	A
37	•			•			•			2A	II	0
38		•			•			•		2A	II	0
39		•			•			•		2A	III	C
40	•				•			•		3B	II	0
41	•				•			•		3B	II	0
42		•		•			•			–	II	0
Total	18	16	8	20	16	6	20	10	12			

* — patients with unsatisfactory outcomes, C — a mesh along the acetabular rim, C2 — a mesh along the acetabular rim and medial acetabular wall, CM — a mesh along the medial acetabular wall, 3D — a custom-made 3D-printed mesh along the acetabular rim, A — an augment, 0 — no constructs used.

In the group of patients without the use of any constraining implants (13 cases), the displacement of the center of rotation was observed in 30.8% of cases, with migration occurring within 5 mm (Figure 4).

The use of any type of mesh to contain acetabular bone defects was associated with a change in the position of the acetabular component in 68.0% of cases, i.e., with the displacement of the center of rotation, an increase in inclination, or both. In 44.0% of these cases, the displacement of the center of rotation was significant, being greater than 5 mm along any axis. At the same time, when augments were used, only two out of four cases demonstrated minor changes in acetabular component position (displacement within 5 mm and inclination change less than 10°).

A direct correlation was found between the occurrence of acetabular component migration and the type and severity of bone defect, as well as the use of a containment device. An increased frequency of any degree of migration was observed in the presence of AAOS type III and Paprosky type 3B defects when any type

of mesh was used along the acetabular rim ($p = 0.006$).

The mean change in anteversion in the midterm follow-up compared to the immediate postoperative value was 2.8° (range: 0.5-4.5). However, this parameter was not analyzed in detail due to its projection variability depending on pelvic positioning during radiographic examination.

No correlation was found between the displacement of the acetabular component's center of rotation and the diameter of the cup used ($p = 0.3457$), BMI ($p = 0.5726$), or patient age ($p = 0.3457$). No statistically significant associations between these parameters were identified.

In our cohort, functional outcomes assessed using the HHS questionnaire showed a baseline median value of 44.0 points (range: 37.0-55.0), which improved to 85.5 points (range: 70.5-95.0) at the final follow-up. According to the WOMAC questionnaire, baseline scores averaged 47.0 points (range: 45.0-52.0), improving to 6.5 points (range: 2.0-21.0) by the end of the study, indicating good to excellent outcomes.

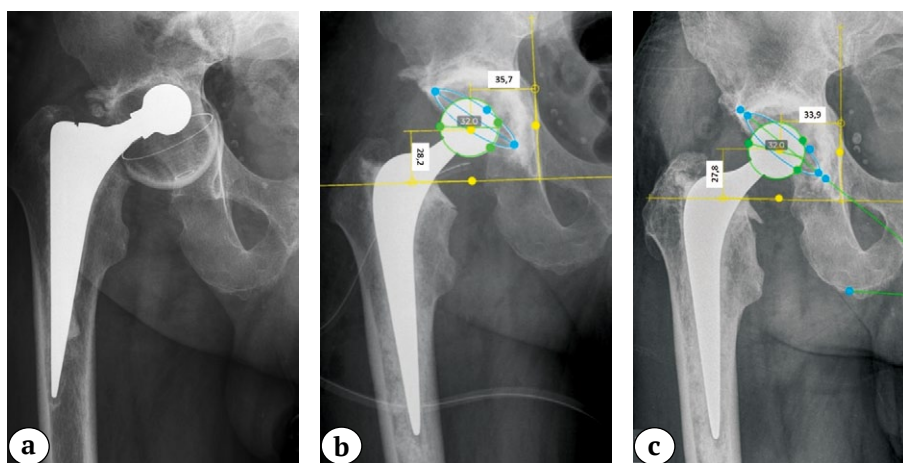


Figure 4. Clinical example of IBG without augmentation:

a – aseptic loosening of the acetabular component with contained acetabular bone defect AAOS type II, Paprosky type 2A, femoral component malposition; b – right hip X-ray after acetabular and femoral IBG with Stryker Exeter/Contemporary cemented fixation; c – control X-ray after 68 months with clear signs of allograft remodeling without component migration

DISCUSSION

The choice of surgical technique depending on the size and shape of bone defects in revision arthroplasty remains a relevant issue [1]. Modern modular revision systems and additive technologies address most problems related

to acetabular reconstruction. Nevertheless, in certain cases, impaction bone grafting (IBG) remains the method of choice [29]. As with all techniques used to manage massive bone defects in revision arthroplasty, IBG is associated with less favorable long-term outcomes compared

to primary arthroplasty. However, subsequent revisions following IBG may prove more successful, as a greater amount of bone stock is often preserved compared to the pre-revision state. This is particularly important for patients who have undergone multiple revisions or for younger individuals likely to require additional surgeries later in life [30, 31, 32].

In our study, midterm outcomes demonstrated a relatively high reliability of impaction bone grafting in the reconstruction of large bone defects. The overall implant survival rate was 97.9% at 60 months and 84.3% at 90 months. The results obtained in our study are comparable to those reported by other authors who have used similar approaches. M.A. Buttaro et al. reported a 90.8% survival rate in their study involving IBG, metallic mesh, and cemented cup fixation in patients with uncontained acetabular defects undergoing revision total hip arthroplasty, with a mean follow-up of 36 months [33]. B.W. Schreurs et al. reported 96% and 84% cup survival rates at 10 and 15 years, respectively, in patients who underwent acetabular revision using IBG and cemented components [34]. S. Rohe et al., in a midterm study involving 56 patients treated with IBG, also demonstrated a high survival rate of 88% at 7.8 years [12]. However, in the latter study, the authors used IBG in combination with various uncemented fixation constructs.

The term “impaction bone grafting” is broad in orthopedic and trauma surgery and generally refers to the compaction of morselized allograft, with or without the use of additional implants [35]. It is important to emphasize that the present study focuses exclusively on cases involving the X-Change technique, in which the cemented fixation of the acetabular component is performed directly onto the impacted allograft. From a biomechanical perspective, the graft behaves like soil, exhibiting typical changes in its properties under cyclic loading [18]. A key feature of IBG is that load transfer occurs through the cement mantle into the graft, with the bone cement playing an additional stabilizing role for the graft material [36]. The success of IBG using the X-Change technique typically depends on the balance of numerous factors, including the quality of the allograft, the size of the bone chips, and the surgical technique employed to achieve proper impaction [37].

The analysis of midterm outcomes in our study is largely based on previously described biomechanical aspects of the IBG technique, which suggest that spatial changes in the position of the cemented acetabular component along with the cement mantle are virtually inevitable. These changes are attributed to the compaction processes of the graft material during the postoperative period under the influence of cyclic loading resulting from the patient's daily physiological activity [18, 38].

During the measurement and interpretation of the obtained data, we encountered certain methodological limitations. The described method for measuring the displacement of the center of rotation has a margin of error of 3 mm [26]. According to C. Yang et al., even migration of up to 2 mm may be classified as early loosening [39]. Based on these considerations, the measurements of center of rotation displacement in our study were grouped using 5 mm intervals.

The evaluation of the center of rotation and inclination changes showed that acetabular component migration occurred in 24 cases (57.1%). We found no statistically significant correlation between defect size and the degree of component migration. However, we observed a clear pattern: in 68% of cases, migration occurred in patients in whom various types of meshes were used to contain segmental defects along the acetabular rim. In half of these cases, the displacement exceeded 5 mm. This group included patients undergoing revision arthroplasty for AAOS type III defects with Paprosky type 3B severity. Notably, all four patients with unfavorable outcomes also belonged to this group. In contrast, in cases where no additional reconstruction of the acetabular rim was performed, the migration rate was under one-third and the displacement did not exceed 5 mm. Acetabular component migration following IBG has been described by many authors in both earlier [40, 41] and more recent studies [18, 21, 39]. It is evident that in cases with minor defects, where partial load on native bone is achievable, the biomechanical conditions are more favorable than in defects where the load is borne entirely by the impacted allograft, as seen in Paprosky type 3B defects with segmental loss.

E. García-Rey et al. demonstrated differences in long-term outcomes depending on defect type and the use of mesh along the acetabular rim [19]. The 15-year survival rate was $89.1 \pm 14.0\%$ when no mesh was required, $84.9 \pm 12.0\%$ when mesh was used for medial defects only, $79.6 \pm 12.0\%$ when mesh was placed along the rim, and just $53.9 \pm 22.0\%$ when both medial and rim meshes were needed (log-rank test, $p = 0.008$).

Migration likely depends to a great extent on the balance between the biological remodeling processes of the graft, its plastic deformation, and the compaction caused by interfragmentary motion of the morselized allograft under cyclic loading, in other words, on which process predominates first. M.Y. Abu-Zeid et al. demonstrated that, according to the Paprosky and AAOS classifications, the smaller the acetabular defect, the greater the likelihood of complete graft incorporation ($p < 0.001$). The average graft layer thickness was significantly higher in patients with partial incorporation compared to those with complete incorporation: 15.5 ± 3.8 mm vs. 10.0 ± 2.2 mm, respectively ($p < 0.001$) [35].

When evaluating acetabular component migration, most authors focus on the displacement of the center of rotation. In our study, we also observed a consistent increase in inclination in nearly all cases where a reconstruction mesh was used ($p < 0.0001$). In some cases, an increase in inclination was the only radiographic sign of acetabular component migration. Therefore, this parameter may be considered an independent risk factor for the progression of migration. The biomechanics of these phenomena were described by A.T. Phillips et al. [42].

Radiolucent lines were identified in 7 (16.7%) cases in our study. In six of these, the lines were confined to a single zone. The HHS values in this subgroup exceeded 74 points; therefore, these radiographic findings were not classified as failures in the survivorship analysis. M.J. Willson et al. also reported the presence of radiolucent lines at the prosthesis-bone interface in clinically well-functioning joints [43]. As previously demonstrated, classical radiographic signs of aseptic loosening may not always be evident against the background of ongoing compaction of morselized bone graft under cyclic loading [18]. Accordingly, the acetabular component migration observed in our study

in 24 cases (57.1%) did not always present with radiographic indicators of aseptic loosening, and conversely, the presence of such markers did not consistently reflect the clinical picture. The signs of loosening often became apparent only in cases where the acetabular component migrated beyond the anatomical acetabulum (3 cases) or when implant failure occurred with screw migration (1 case). Moreover, the interpretation of radiographic images was often complicated by overlapping shadows from reconstruction hardware superimposed on the graft mass or the acetabular component itself. Thus, in the evaluation of outcomes following IBG, the interpretation of radiological data in conjunction with clinical findings remains a critical aspect. In our cohort, the functional outcomes were classified as good to excellent based on the HHS and WOMAC scores, with a median of 85.5 (95% CI: 70.5-95.0) and 6.5 (95% CI: 2.0-21.0) points, respectively, which is consistent with the findings of other recent studies [16, 17, 35].

A distinctive feature of this study was that 21 patients (50%) available for follow-up presented with the most severe reconstruction challenges: type 3B acetabular defects according to Paprosky. The limited form of these defects created the most favorable conditions for retaining the bone graft material. This served as a selection factor for determining indications for IBG at the preoperative stage. The preserved contour of the compact bone of the acetabular region provided optimal support for graft containment. As demonstrated by our data and the findings of a systematic review by M.A. Malahias et al. [44], the use of various meshes for augmentation in segmental defects was associated with more frequent or pronounced migration of the acetabular component in massive defects, suggesting the consideration of alternative technologies when extensive meshes or multiple constructs are required for defect containment.

P. Cimatti et al., in their meta-analysis, reported high survivorship rates of different implant types used with IBG over an average follow-up of 9.2 years. Cemented cups, uncemented cups, and anti-protrusion devices showed survivorship rates of 98.45%, 97.91%, and 97.51%, respectively [45]. Thus, in the current era of diverse revision systems and reconstructive approaches for bone defects, the indications

for IBG can be more narrowly defined. In our opinion, the optimal application of IBG combined with cemented acetabular components is in cases of strictly limited defects classified as Paprosky types 2A and 3B, and AAOS type II, with preserved acetabular rim and external contour of the compact bone substance, which do not require mesh reconstruction. In such scenarios, we believe that the implantation of metallic augments often necessitates extensive bone preparation and may exacerbate bone loss, whereas IBG represents the optimal reconstructive method.

Study limitations

The limitations of this study include a relatively small number of cases available for final evaluation, as well as the absence of a control group. Comparative analysis remains challenging due to the varying severity of defects and the diversity of implants used for augmentation. Another limitation is the inclusion of patients who underwent primary complex arthroplasty with the use of IBG via the X-Change technology.

CONCLUSIONS

Impaction bone grafting is a method of choice for the reconstruction of limited bone defects in revision total hip arthroplasty, with certain specific features in the interpretation of postoperative X-rays. Subsequent migration of the acetabular component, displacement of the center of rotation exceeding 5 mm along any X/Y axis, and an increase in its inclination within 10° correspond to a conditional norm and are associated with natural biomechanical processes occurring in the impacted cancellous bone. The consistency of these processes is confirmed by good and excellent clinical outcomes at the study endpoint: HHS — 85.5 [70.5; 95.0] points, WOMAC — 6.5 [2.0; 21.0] points. Revealed strong direct correlation ($p = 0.006$) between migration of the acetabular component in type III defects by AAOS and grade 3B by Paprosky with the use of any mesh type on the acetabular rim does not indicate the development of aseptic loosening of the acetabular component. This is supported by the midterm overall prosthesis survival estimated by

Kaplan-Meier analysis for revision and complex primary total hip arthroplasty using impact bone grafting, which was 97.9% at 60 months and 84.3% at 90 months.

DISCLAIMERS

Author contribution

Golnik V.N. – treatment of patients, data interpretation, drafting and editing the manuscript.

Ivanyuk A.M. – treatment of patients, data interpretation.

Dzhukhaev D.A. – treatment of patients, data interpretation.

Zolovkina A.G. – statistical data processing, editing the manuscript.

Korenyak N.A. – data acquisition and processing, editing the manuscript.

Batrak Yu.M. – data processing and analysis, drafting the manuscript.

Peleganchuk V.A. – scientific guidance, editing the manuscript.

Pavlov V.V. – 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 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. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Denisov A.O. Classifications of Acetabular Defects: Do They Provide an Objective Evidence for Complexity of Revision Hip Joint Arthroplasty? (Critical Literature Review and Own Cases). *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2019;25(1):122-141. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-1-122-141>.
2. Udintseva M.Yu., Volokitina E.A., Kolotygin D.A., Kutepov S.M. Compensation of acetabular defects in primary and revision hip arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):797-810. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-797-810>.

3. Sanghavi S.A., Paprosky W.G., Sheth N.P. Evaluation and Management of Acetabular Bone Loss in Revision Total Hip Arthroplasty: A 10-year Update. *J Am Acad Orthop Surg.* 2024;32(10):e466-e475. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-23-00645>.
4. Whitehouse M.R., Masri B.A., Duncan C.P., Garbuz D.S. Continued good results with modular trabecular metal augments for acetabular defects in hip arthroplasty at 7 to 11 years. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473:521-527. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3861-x>.
5. Hooten J.P., Engh C.A., Heekin R.D., Vinh T.N. Structural bulk allografts in acetabular reconstruction. Analysis of two grafts retrieved at post-mortem. *J Bone Jt Surg Br.* 1996;78:270-275. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.78B2.0780270>.
6. D'Apolito R., Zagra L. Uncemented Cups and Impaction Bone Grafting for Acetabular Bone Loss in Revision Hip Arthroplasty: A Review of Rationale, Indications, and Outcomes. *Materials (Basel).* 2022;15(10):3728. <https://doi.org/10.3390/ma15103728>.
7. Teh H.L., Selvaratnam V., Low W.J., Kassim A.F., Ganapathy S.S., Chopra S. Outcomes of Impaction Bone Grafting in the Management of Acetabular Defects with the Use of Uncemented Acetabular Cups: Do Autografts and Irradiated Femoral Head Allografts Integrate? *Indian J Orthop.* 2023;57(11):1842-1849. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00983-7>.
8. 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. <https://doi.org/10.3109/17453674.2012.718518>.
9. Gill K., Wilson M.J., Whitehouse S.L., Timperley A.J. Results using Trabecular Metal™ augments in combination with acetabular impaction bone grafting in deficient acetabula. *Hip Int.* 2013;23(6):522-528. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000053>.
10. Torre-Escuredo B., Gómez-García E., Álvarez-Villar S., Bujan J., Ortega M.A. Bone impaction grafting with trabecular metal augments in large defects in young patients: Unravelling a new perspective in surgical technique. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21:1-8. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-3017-y>.
11. Marx A., Beier A., Richter A., Lohmann C.H., Halder A.M. Major acetabular defects treated with the Burch-Schneider antiprotusion cage and impaction bone allograft in a large series: a 5- to 7- year follow-up study. *Hip Int.* 2016;26(6):585-590. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000388>.
12. Rohe S., Dörr N., Böhle S., Matziolis G., Brodt S., Röhner E. Mid-term results in revision hip arthroplasty with impaction bone grafted cup reconstruction for acetabular defects. *Sci Rep.* 2022;12(1):13322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17526-z>.
13. Welten M.L., Schreurs B.W., Buma P., Verdonschot N., Slooff T.J. Acetabular reconstruction with impacted morcellized cancellous bone autograft and cemented primary total hip arthroplasty: a 10- to 17-year follow-up study. *J Arthroplasty.* 2000;15(7):819-824. <https://doi.org/10.1054/arth.2000.7110>.
14. 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). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8008>.
15. Xiong L., Li H., Huang X., Jie S., Zhu W., Pan J. et al. Both Acetabular and Femoral Reconstructions with Impaction Bone Grafting in Revision Total Hip Arthroplasty: Case Series and Literature Review. *Arthroplast Today.* 2023;24:101160. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2023.101160>.
16. Li X., Pan B.Q., Wu X.Y., Fu M., Liao W.M., Wu C.H. et al. Impaction Bone Grafting Combined with Titanium Mesh for Acetabular Bone Defects Reconstruction in Total Hip Arthroplasty Revision: A Retrospective and Mini-Review Study. *Orthop Surg.* 2022;14(5):902-910. <https://doi.org/10.1111/os.13262>.
17. Li H., Tan K.G., Li Z., Wu X., Cai G., Zhu W. et al. Impaction Bone Grafting with Low Dose Irradiated Freeze-Dried Allograft Bone for Acetabular Reconstruction. *Orthop Surg.* 2022;14(10):2519-2526. <https://doi.org/10.1111/os.13471>.
18. Golnik V.N., Fedorova N.V., Larichkin A.Yu., Boyko S.V., Panchenko A.A., Kosinov A.M. et al. 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>.
19. García-Rey E., Madero R., García-Cimbrelo E. THA revisions using impaction allografting with mesh is durable for medial but not lateral acetabular defects. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(12):3882-3891. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4483-7>.
20. 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. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000452>.
21. Abdelnasser M.K., Khalifa A.A., Mahran M.A., Mosa M., Bakr H.M., Khalifa Y.E. et al. Post-operative hip centre restoration and migration after impaction bone grafting in revision and complex primary hip arthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2019;29(7):1411-1417. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02458-8>.
22. Nilsson A., Bremander A. Measures of hip function and symptoms: Harris Hip Score (HHS), Hip Disability and Osteoarthritis Outcome Score (HOOS), Oxford Hip Score (OHS), Lequesne Index of Severity for Osteoarthritis of the Hip (LISOH), and American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS) Hip and Knee Questionnaire. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2011;63 Suppl 11:S200-207. <https://doi.org/10.1002/acr.20549>.
23. Pollard B., Johnston M., Dixon D. Exploring differential item functioning in the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC). *BMC Musculoskelet Disord.* 2012;13:265. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-265>.

24. D'Antonio J.A., Capello W.N., Borden L.S., Bargar W.L., Bierbaum B.F., Boettcher W.G. et al. Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(243):126-137.
25. Paprosky W.G., Perona P.G., Lawrence J.M. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty: a 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty.* 1994;9(1):33-44. [https://doi.org/10.1016/0883-5403\(94\)90135-x](https://doi.org/10.1016/0883-5403(94)90135-x).
26. Nunn D., Freeman M.A., Hill P.F., Evans S.J. The measurement of migration of the acetabular component of hip prostheses. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(4):629-631. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.71B4.2768311>.
27. Slooff T.J., Schimmel J.W., Buma P. Cemented fixation with bone grafts. *Orthop Clin North Am.* 1993;24(4):667-677.
28. DeLee J.G., Charnley J. Radiological demarcation of cemented sockets in total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1976;(121):20-32.
29. Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Dzhukhaev D.A., Batrak Yu.M., Pavlov V.V. Impaction bone grafting as a method of choice in bone defect management in the revision hip arthroplasty: a cases series. *Genij Ortopedii.* 2024;30(2):245-254. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-2-245-254>.
30. Schreurs B.W., Rijnen W. Acetabular Revision with Impaction Bone Grafting. In: García-Rey E., García-Cimbrelo E. (eds) *Acetabular Revision Surgery in Major Bone Defects*. Springer, Cham. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98596-1_5.
31. Garcia-Rey E., Saldaña L., Garcia-Cimbrelo E. Impaction bone grafting in hip re-revision surgery. *Bone Joint J.* 2021;103-B(3):492-499. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B3.BJJ-2020-1228.R1>.
32. Rahmansyah N., Santoso A., Anwar I.B., Sibarani T.S.M.H.S., Mariyanto I. New acetabulum bone formation after 10-years impaction bone graft and cemented acetabular cup lead to simple revision-THA with cementless acetabular cup: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2022;95:107230. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2022.107230>.
33. Buttaro M.A., Comba F., Pusso R., Piccaluga F. Acetabular revision with metal mesh, impaction bone grafting, and a cemented cup. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(10):2482-2490. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0442-x>.
34. Schreurs B.W., Bolder S.B., Gardeniers J.W., Verdonschot N., Slooff T.J., Veth R.P. Acetabular revision with impacted morsellised cancellous bone grafting and a cemented cup. A 15- to 20-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(4):492-497.
35. Abu-Zeid M.Y., Habib M.E., Marei S.M., Elbarbary A.N., Ebied A.A., Mesregah M.K. Impaction bone grafting for contained acetabular defects in total hip arthroplasty. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):671. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04154-0>.
36. Gehrke T., Gebauer M., Kendoff D. Femoral stem impaction grafting: extending the role of cement. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11 Suppl A):92-94. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.95B11.32762>.
37. García-Cimbrelo E., García-Rey E. Impaction bone grafting with reinforcement metallic mesh and cemented cup for the treatment of Paprosky 3B acetabular defects. *Ann Joint.* 2017;2:42. Available from: <https://aoj.amegroups.org/article/view/3743>.
38. Putzer D., Pallua J., Degenhardt G., Dammerer D., Nogler M., Arora R. Microarchitectural properties of compacted cancellous bone allografts: A morphology micro-computed tomography analysis. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2024;160:106781. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106781>.
39. Yang C., Zhu K., Dai H., Zhang X., Wang Q., Wang Q. Mid- to Long-term Follow-up of Severe Acetabular Bone Defect after Revision Total Hip Arthroplasty Using Impaction Bone Grafting and Metal Mesh. *Orthop Surg.* 2023;15(3):750-757. <https://doi.org/10.1111/os.13651>.
40. Ornstein 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. <https://doi.org/10.3109/17453679908997821>.
41. Waddell B.S., Della Valle A.G. Reconstruction of noncontained acetabular defects with impaction grafting, a reinforcement mesh and a cemented polyethylene acetabular component. *Bone Joint J.* 2017;99-B(1 Supple A):25-30. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0322.R1>.
42. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.03.032>.
43. 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.
44. Malahias M.A., Mancino F., Gu A., Adriani M., De Martino I., Boettner F. et al. Acetabular impaction grafting with mesh for acetabular bone defects: a systematic review. *Hip Int.* 2022;32(2):185-196. <https://doi.org/10.1177/1120700020971851>.
45. Cimatti P., Del Piccolo N., Dallari B., Mazzotta A., Dallari D. Use of morselized bone allograft in revision hip arthroplasty for massive acetabular defect: A systematic review and meta-analysis. *J Exp Orthop.* 2024;11(4):e70091. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70091>.

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

Alexey M. Ivanyuk

<https://orcid.org/0009-0007-6287-8811>

e-mail: alexei.ivanuk@yandex.ru

Denis A. Dzhukhaev

<https://orcid.org/0000-0003-2920-2346>

e-mail: dzhukhaev@mail.ru

Anna G. Zolovkina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-2923-6511>

e-mail: zolovkinaag@gmail.com

Nina A. Korenyak — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0004-1328-8223>

e-mail: ninakorenyak@mail.ru

Yuriy M. Batrak — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0489-1480>

e-mail: 297501@mail.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.), Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Predictors of Early Aseptic Loosening of Prosthetic Components Following Primary Total Knee Arthroplasty

Mikhail B. Gurazhev, Vitaliy L. Lukinov, Vladislav S. Baitov, Anton S. Gofer, Evgeniy A. Ivanov, Vitaliy V. Pavlov, Andrey A. Korytkin, Aleksandr A. Pronskikh

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

Abstract

Background. Aseptic loosening of the knee prosthesis components is one of the most common causes of revision surgery. The acceptable range of angular values for postoperative alignment of the lower limb and the frontal positioning of the prosthetic components remains a subject of debate.

The aim of the study – to identify the predictors of the early aseptic loosening of prosthetic components following primary total knee arthroplasty.

Methods. The study group included 31 patients with aseptic loosening of prosthetic components. The comparison group consisted of 55 patients with no signs of loosening over a follow-up period of at least 8 years. Baseline characteristics (sex, age, body mass index, and operated side) were compared, along with preoperative and postoperative angular alignment of the lower limbs, specifically, the anatomical femorotibial angle (aFTA) and the hip-knee-ankle angle (HKA), as well as reference angles for prosthetic component positioning.

Results. Patient age over 60.5 years and BMI over 27.5 were associated with a 2.9-fold and 2.6-fold increased risk of prosthetic loosening, respectively. Preoperative varus deformity, with an HKA angle exceeding 9.5° and an aFTA over 6.5°, increased the risk of loosening by 9.6 and 23.1 times, respectively. Postoperative residual deformity exceeding 0.5° in either direction, as measured by the aFTA, increased the risk of loosening by 8.7 times. Valgus positioning of the tibial component was associated with a 2.8-fold increased risk of component loosening.

Conclusions. In elderly and overweight patients with pronounced varus deformity of the lower limb, personalized preoperative planning should be prioritized to prevent early aseptic loosening of prosthetic components. In cases where postoperative residual deformity or valgus positioning of the tibial component is detected, enhanced clinical follow-up with radiographic monitoring every 6 months is recommended. If radiolucent lines progress and pain is present, early consideration of revision surgery is advisable, as it may increase the likelihood of a successful conservative revision.

Keywords: total knee arthroplasty; aseptic loosening of prosthetic components; revision knee arthroplasty; lower limb alignment; preoperative planning.

Cite as: Gurazhev M.B., Lukinov V.L., Baitov V.S., Gofer A.S., Ivanov E.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A., Pronskikh A.A. Predictors of Early Aseptic Loosening of Prosthetic Components Following Primary Total Knee Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):35-49. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17595>.

✉ Mikhail B. Gurazhev; e-mail: Tashtagol@inbox.ru

Submitted: 08.08.2024. Accepted: 23.07.2025. Published online: 08.08.2025.

© Gurazhev M.B., Lukinov V.L., Baitov V.S., Gofer A.S., Ivanov E.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A., Pronskikh A.A., 2025

Предикторы раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза при первичном эндопротезировании коленного сустава

М.Б. Гуражев, В.Л. Лукинов, В.С. Баитов, А.С. Гофер, Е.А. Иванов,
В.В. Павлов, А.А. Корыткин, А.А. Пронских

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

Реферат

Актуальность. Асептическое расшатывание компонентов эндопротеза коленного сустава является одной из распространенных причин выполнения ревизионного вмешательства. Допустимый диапазон угловых значений послеоперационного выравнивания оси нижней конечности и фронтального расположения компонентов эндопротеза является дискуссионным вопросом.

Цель исследования — определить предикторы раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза при первичном эндопротезировании коленного сустава.

Материал и методы. В исследуемую группу вошел 31 пациент с асептическим расшатыванием компонентов эндопротеза, а в группу сравнения — 55 пациентов, у которых не были выявлены признаки расшатывания на протяжении минимум 8 лет. Сравнивались исходные данные (пол, возраст, индекс массы тела, сторона операции), а также до- и послеоперационная угловая оценка оси нижних конечностей, в частности анатомический феморо-тибиальный угол (аФТУ) и бедренно-коленно-лодыжечный угол (БКЛУ), а также референтные углы установки компонентов эндопротеза.

Результаты. Возраст пациентов старше 60,5 года и ИМТ больше 27,5 увеличивают риск расшатывания компонентов в 2,9 и 2,6 раза соответственно. Дооперационная варусная деформация, при которой БКЛУ превышает 9,5°, а аФТУ — 6,5°, увеличивает риск расшатывания компонентов в 9,6 и 23,1 раза соответственно. Послеоперационная остаточная деформация, превышающая 0,5° по аФТУ в любом направлении, увеличивает риск расшатывания компонентов в 8,7 раза. Расположение тибialного компонента в вальгусном положении увеличивает риск расшатывания компонентов в 2,8 раза.

Заключение. У пациентов пожилого возраста с избыточным весом, имеющих выраженную варусную деформацию нижней конечности, следует избегать шаблонного предоперационного планирования и отдавать предпочтение персонализированному, более избирательному предоперационному планированию для профилактики раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза. В случаях выявления в послеоперационном периоде остаточной деформации и вальгусного положения тибialного компонента требуется усиленный контроль с проведением рентгенографических исследований каждые 6 мес. При прогрессировании рентгенопрозрачных линий и наличии болевого синдрома необходимо незамедлительно рассмотреть вопрос о проведении повторного хирургического вмешательства, что повышает вероятность успешного выполнения консервативной ревизии.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава; асептическое расшатывание компонентов эндопротеза; ревизионное эндопротезирование коленного сустава; ось нижних конечностей; предоперационное планирование.

 **Для цитирования:** Гуражев М.Б., Лукинов В.Л., Баитов В.С., Гофер А.С., Иванов Е.А., Павлов В.В., Корыткин А.А., Пронских А.А. Предикторы раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза при первичном эндопротезировании коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):35-49. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17595>.

 Гуражев Михаил Борисович; e-mail: Tashtagol@inbox.ru

Рукопись получена: 08.08.2024. Рукопись одобрена: 23.07.2025. Статья опубликована онлайн: 08.08.2025.

© Гуражев М.Б., Лукинов В.Л., Баитов В.С., Гофер А.С., Иванов Е.А., Павлов В.В., Корыткин А.А., Пронских А.А., 2025

INTRODUCTION

Total knee arthroplasty (TKA) is the most common surgical procedure performed at the terminal stage of knee osteoarthritis. However, up to 20% of patients remain dissatisfied with the outcome, and despite completing a full rehabilitation course, some of them require revision surgery [1, 2].

Aseptic loosening of prosthetic components (ALPC) is one of the most frequent reasons for revision procedures, accounting for 29.8% of cases. Aseptic loosening is a multifactorial phenomenon involving implant-related factors, surgical technique, and patient-specific factors [3, 4]. All of these factors are broad in scope and often interrelated. For example, improper positioning of prosthetic components (a factor related to surgical technique) increases the risk of excessive load and contact stress on one of the compartments of the knee joint. This, in turn, leads to premature generation of wear particles (an implant-related factor), followed by periprosthetic osteolysis and the development of aseptic loosening. When patient-related factors, such as increased BMI and/or osteoporosis, are added to this scenario, the risk of early ALPC increases significantly.

The precise positioning and alignment of prosthetic components remains the subject of active scientific discussion, especially following the introduction of computer-assisted navigation and robotic surgery into clinical practice [5, 6].

At present, the orthopedic community has not reached a consensus on the acceptable range of angular values for postoperative lower limb alignment and the coronal placement of prosthetic components [7]. Moreover, the implementation of the knee phenotype concept [8] has further complicated the current approach to limb alignment, challenging the universality of the gold standard of mechanical alignment for all patients [9, 10].

The aim of the study – to identify the predictors of the early aseptic loosening of prosthetic components following primary total knee arthroplasty.

METHODS

Study design

A retrospective case-control study was conducted in accordance with the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) guidelines [11].

Patient group formation

Between 2010 and 2015, 331 patients (331 knees) underwent revision TKA at the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan. To form the study group, 193 (58%) cases were selected in which revision surgery was performed for reasons unrelated to infection. The flowchart of patient selection for the study group is shown in Figure 1.

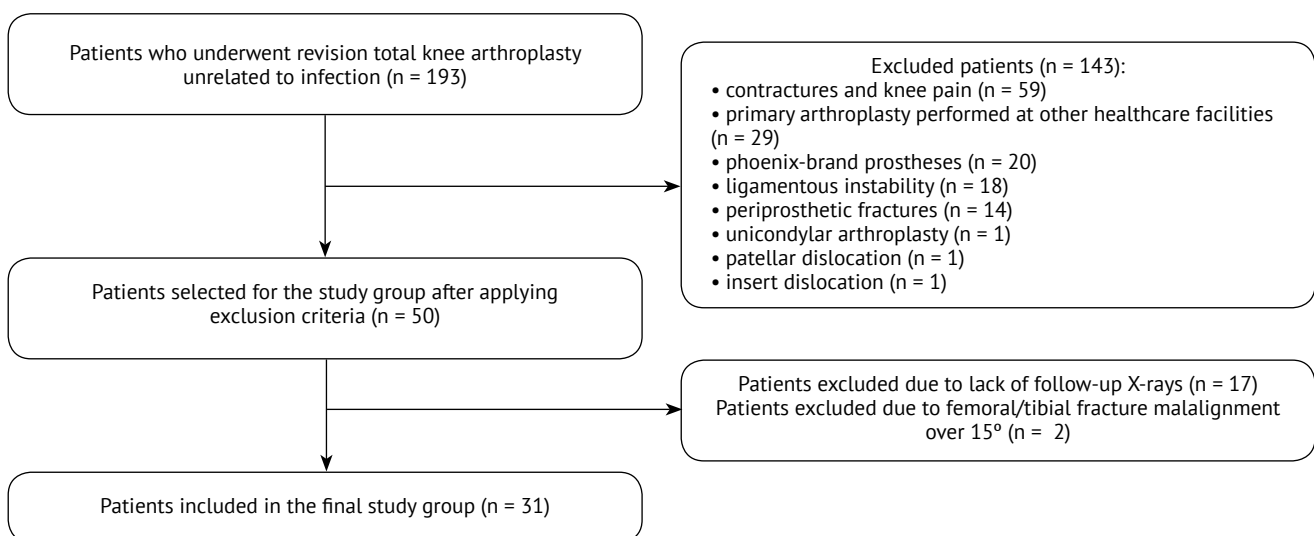


Figure 1. Flow-chart of patient selection

The control group consisted of 55 patients who underwent primary TKA at the same institution between 2010 and 2015 and showed no radiological or clinical signs of aseptic loosening during a follow-up period of 8 to 10 years. It is important to note that both

the study and control groups received only three-component primary TKA (femoral and modular tibial components), and all implants were of cruciate-retaining (non-linked) design. The list of implant models used in both groups is presented in Table 1.

Table 1

Implant models used in both groups

Group	Manufacturer					
	Aesculap Columbus	Wright MP	Zimmer NexGen	DePuy Sigma	Stryker Scorpio	Smith & Nephew Genesis II
Study (n = 31)	11	8	3	4	5	–
Control (n = 55)	20	6	7	8	5	9

Assessment methods

Baseline data for patients in both groups (sex, age, BMI, and side of surgery) were extracted from medical records.

During admission, all patients underwent radiographic examination both preoperatively and prior to discharge according to a standard protocol. This included targeted and full-length standing knee X-rays. Limb positioning during radiographic imaging complied with current quality standards for image acquisition [12]. If the patient was unable to properly position the limb at the time of discharge (due to residual pain), the radiographic examination was repeated at the 6-month follow-up visit.

All radiographic measurements were performed digitally using the tools available in K-PACS software. Measurements were conducted at different time points by a single investigator, and all data were double-checked. The measurements included evaluation of lower limb alignment, determination of knee joint phenotype, and detection of radiographic signs of prosthetic component loosening.

Reference angles were the following:

- anatomical lateral distal femoral angle (aLDFA): the angle formed by the intersection of the anatomical axis of the femur and the line connecting the most prominent points of the femoral condyles;

- mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA): the angle formed by the intersection of the mechanical axis of the femur and the line connecting the most prominent points of the femoral condyles;

- anatomical medial proximal tibial angle (aMPTA): the angle formed by the intersection of the anatomical axis of the tibia and the line running along the superior surface of the tibial plateau;

- mechanical medial proximal tibial angle (mMPTA): the angle formed by the intersection of the mechanical axis of the tibia and the line running along the superior surface of the tibial plateau (Table 2).

Lower limb alignment was assessed by measuring the anatomical femorotibial angle (aFTA) — the angle formed by the intersection of the anatomical axes of the femur and tibia — and the hip-knee-ankle (HKA) angle, defined as the intersection of the mechanical axes of the femur and tibia. In this study, varus deformity was assigned a negative value, while valgus deformity was assigned a positive value (Table 2).

Table 2

Reference angles and criteria for angular assessment of the lower limb alignment, deg.

Angle	Varus	Norm	Valgus
aLDFA	> 83	from 79 to 83	< 79
mLDFA	> 90	from 85 to 90	> 85
aMPTA/mMPTA	< 85	from 85 to 90	> 90
HKA angle	< -3	from -3 to 3	> 3
aFTA	< 2	from 2 to 7	> 7

Knee phenotype was determined using the CPAK (Coronal Plane Alignment of the Knee) classification, which evaluates coronal plane limb alignment based on the arithmetic hip-knee-ankle (aHKA) angle and joint line obliquity (JLO) [8]. The arithmetic HKA angle is calculated as the difference between the mMPTA and the mL DFA, while joint line obliquity is defined as the sum of the mMPTA and mL DFA (Figure 2).

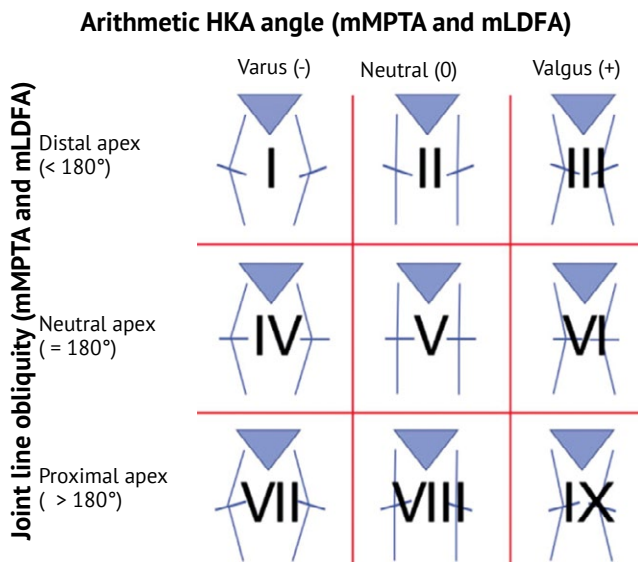


Figure 2. CPAK classification for coronal lower limb alignment [8]

Signs of prosthetic component loosening were assessed based on the following three criteria:

- the presence of progressive radiolucent lines, measured according to the Knee Society Roentgenographic Evaluation Scoring System (KSRESS) [13];
- mechanical collapse of one prosthetic component;
- mechanical collapse of two prosthetic components.

It should be noted that some patients lacked full-length standing X-rays (due either to their absence in the archive or to poor image quality).

In certain cases, preoperative X-rays were missing; in others, postoperative ones.

As a result, it was not possible to measure mL DFA and HKA angles for all patients. However, in order to preserve valuable measurement data, it was decided not to exclude these patients from the study (Table 3).

Statistical analysis

The Smirnov test for continuous data showed no normal distribution in the compared groups; therefore, descriptive statistics were primarily presented using nonparametric measures: median (Me), first and third quartiles [Q_1 ; Q_3]. Additionally, mean (M), standard deviation (SD), and minimum and maximum values (min-max) were reported. Group comparisons were performed using the nonparametric Mann-Whitney U test. Categorical variables (sex, side of prosthesis implantation, age group, classifications of coronal limb alignment and knee phenotypes) were described by the number and proportion of patients in each category, and group comparisons were performed using Fisher's exact test. To correct for multiple comparisons in categorical data, Benjamini-Hochberg adjustment was applied to the achieved p-values. Only two-tailed tests were used.

Identification of predictors of prosthetic component loosening was performed using logistic regression modeling. Univariate logistic models were applied to identify individual predictors associated with loosening. Covariates with a p-value < 0.3 in univariate analysis were included in the multivariate logistic regression model, built using both forward and backward stepwise selection based on the Akaike Information Criterion (AIC). The resulting forward and backward models were identical. For the final multivariate model, ROC analysis was used to determine the optimal classification threshold based

Table 3

Number of patients with available radiographic examination

Type of radiographic examination	Study group (n = 31)		Control group (n = 55)	
	Preop	Postop	Preop	Postop
Full-length standing X-ray	30	19	53	45
Targeted X-ray	31	31	55	55

on the Youden index (i.e., maximum combined sensitivity and specificity). A confusion matrix was then constructed to calculate predictive metrics, including sensitivity, specificity, method case rate, and observed case frequency. The Hosmer-Lemeshow test was used to assess the goodness-of-fit between predicted and observed frequencies of adverse events.

Statistical significance was established at a critical alpha level of $p = 0.05$; that is, differences and predictors were considered statistically significant when $p < 0.05$. All statistical analyses were performed in R-Studio (version 2022.07.2+576, "Spotted Wakerobin", USA) using R (version 4.1.3, Austria).

RESULTS

Baseline patient characteristics

No statistically significant differences in baseline clinical characteristics obtained from medical records were found between the two groups. However, the control group had a predominance of patients aged 36-59 years ($n = 29$; 52.7%), whereas the study group included more patients aged 60-74 years ($n = 19$; 61.3%) (Table 4).

Results of preoperative radiographic assessment

In both groups, the preoperative alignment of the lower limbs was predominantly varus, as determined by aFTA and HKA angle

measurements, followed by neutral and valgus alignments. Baseline varus deformity, measured by the HKA angle, was significantly more common in the control group ($p < 0.001$). In contrast, valgus deformity was more frequently observed in the study group, although the difference did not reach statistical significance (Table 5).

In the study group, varus deformity was less frequent than in the control group, but when present, it tended to be more severe. However, this difference was not statistically significant (Table 6).

No significant intergroup differences were found in the preoperative reference angles. In both groups, the majority of reference angles fell within the neutral range ($n = 130$), followed by varus ($n = 114$) and valgus ($n = 11$) angles.

Results of postoperative radiographic assessment

Based on the aFTA measurements, a neutral axis was more frequently observed in the control group compared to the study group ($p < 0.001$). According to the HKA angle measurements, a neutral axis was also more common in the control group, although the difference was not statistically significant. Valgus deformity, as determined by the HKA angle, was observed only in the study group and showed a statistically significant difference compared to the control group ($p < 0.001$) (Table 7).

Table 4

Comparison of baseline characteristics between the two groups

Baseline parameters	Study group ($n = 31$)	Control group ($n = 55$)	p
Gender: female male	28 (90.3%) 3 (9.7%)	47 (85.5%) 8 (14.5%)	0.739 ¹
Side: left right	12 (38.7%) 19 (61.3%)	32 (58.2%) 23 (41.8%)	0.116 ¹
Age, years old			Overall comparison: 0.023 , p (correction of p)
21-35	1 (3.2%)	0 (0.0%)	0.360 (0.451)
36-59	8 (25.8%)	29 (52.7%)	0.023 (0.114)
60-74	19 (61.3%)	24 (43.6%)	0.177 (0.443)
75-90	3 (9.7%)	2 (3.6%)	0.346 (0.451)
BMI, kg/m ² Me [Q_1 ; Q_3] M $\pm$ SD (min-max)	32 [29; 35] 32.58 $\pm$ 6.46 (21-48)	32 [28; 35] 32.33 $\pm$ 5.88 (22-50)	0.892 ²

¹ – Fischer's exact test, ² – Mann-Whitney U test. Statistically significant differences are indicated in bold here and further below.

Table 5

**Preoperative lower limb alignment in both groups based on aFTA
and HKA angle measurements**

Measurement	Lower limb alignment	Study group (n = 31/30)	Control group (n = 55/53)	Fischer's exact test, p (correction of p)
aFTA	Varus	20 (64.5%)	50 (90.9%)	0.004 (0.012)
	Neutral	6 (19.4%)	4 (7.3%)	0.158 (0.158)
	Valgus	5 (16.1%)	1 (1.8%)	0.021 (0.032)
HKA angle	Varus	21 (70%)	52 (98.1%)	< 0.001 (< 0.001)
	Neutral	6 (20%)	1 (1.9%)	0.008 (0.012)
	Valgus	3 (10%)	0 (0.0%)	0.044 (0.044)

Table 6

Preoperative deformity values based on aFTA and HKA angle, deg.

Preoperative angles	Study group (n = 31*/30**)	Control group (n = 55*/53**)	Mann-Whitney U test, p
aFTA			
Me [Q ₁ ; Q ₃] M±SD min-max	-2 [-4.5; -0.5] -2.8±4.2 -16...7	-5 [-10; 3] -3.10±10.01 -27...22	0.485
HKA angle			
Me [Q ₁ ; Q ₃] M±SD min-max	-10 [-12; -8] -10.6±4.4 -22...0	-13 [-17.8; -2.0] -9.70±10.73 -33...14	0.943

* – measurement based on aFTA; ** – measurement based on HKA angle.

Table 7

**Postoperative lower limb alignment in both groups based on aFTA
and HKA angle measurements**

Angle	Lower limb alignment	Study group (n = 31*/19**)	Control group (n = 55*/45**)	Fischer's exact test, p (correction of p)
aFTA	Varus	14 (45.2%)	10 (18.2%)	0.012 (0.012)
	Neutral	9 (29.0%)	43 (78.2%)	< 0.001 (< 0.001)
	Valgus	8 (25.8%)	2 (3.6%)	0.004 (0.005)
HKA angle	Varus	6 (31.6%)	21 (46.7%)	0.406 (0.406)
	Neutral	6 (31.6%)	24 (53.3%)	0.170 (0.255)
	Valgus	7 (36.8%)	0 (0.0%)	< 0.001 (< 0.001)

* – measurement based on aFTA; ** – measurement based on HKA angle.

In both groups, postoperative correction of the lower limb alignment toward the neutral axis was observed compared to preoperative values; however, residual varus deformity predominated

in the study group, although the difference was not statistically significant (Table 8).

No statistically significant differences were found between the groups in terms of

postoperative reference angles. In both groups, the majority of reference angles corresponded to a varus alignment (104), followed by neutral (102) and valgus (30) alignments. Comparison with preoperative reference angle data revealed balanced varus and neutral alignments and an increase in the number of valgus cases, mainly due to changes in the tibial component.

There were no statistically significant differences between the groups in postoperative component alignment based on anatomical reference angles. The most common combination of implant positioning in both groups was a varus position of the femoral component and a neutral position of the tibial component. The second most

frequent combination in the study group was varus alignment of the femoral component and valgus alignment of the tibial component. In the control group, the second most common combination was neutral positioning of both femoral and tibial components.

Postoperative component alignment based on mechanical reference angles showed a statistically significant difference for the combination of a neutrally positioned femoral component and a valgus-positioned tibial component, which was more frequently observed in the study group ($p = 0.007$, $p = 0.040$). The most frequent implant alignment combination in both groups was a varus femoral component with a neutral tibial component (Table 9).

Table 8

Postoperative deformity values based on aFTA and HKA angle, deg.

Postoperative angles	Study group n = 31*/19**	Control group n = 55*/45**	Mann-Whitney U test, p
aFTA			
Me [Q ₁ ; Q ₃] M±SD min-max	2 [0.0; 7.5] 3.7±4.9 -4...16	5 [2; 6] 4.1±2.4 -1...9	0.361
HKA angle			
Me [Q ₁ ; Q ₃] M±SD min-max	-1.0 [-8.5; 1.5] -2.6±6.1 -13...8	-3 [-6; -1] -3.2±3.2 -9...3	0.621

* – measurement based on aFTA; ** – measurement based on HKA angle.

Table 9

Postoperative component alignment combinations based on mechanical reference angles

Combination ratio mLDFA/mMPTA	Study group (n = 19)	Control group (n = 45)	Fischer's exact test, overall comparison: 0.007 , p (correction of p)
Valgus/valgus	1 (5%)	0 (0%)	0.286 (0.343)
Varus/valgus	4 (21%)	8 (18%)	0.729 (0.729)
Varus/norm	6 (32%)	25 (56%)	0.164 (0.327)
Norm/valgus	6 (32%)	2 (4%)	0.007 (0.040)
Norm/varus	1 (5%)	0 (0%)	0.286 (0.343)
Norm/norm	1 (5%)	10 (22%)	0.155 (0.327)

Phenotype determination

Prior to surgery, most knee joint phenotypes in both groups were classified as Type I, with no statistically significant differences observed. Postoperatively, the most common phenotypes in the study group were Types I (17%), V (17%), VII (17%), and IX (17%), while in the control group – Types IV (11%), V (32%), and VII (34%).

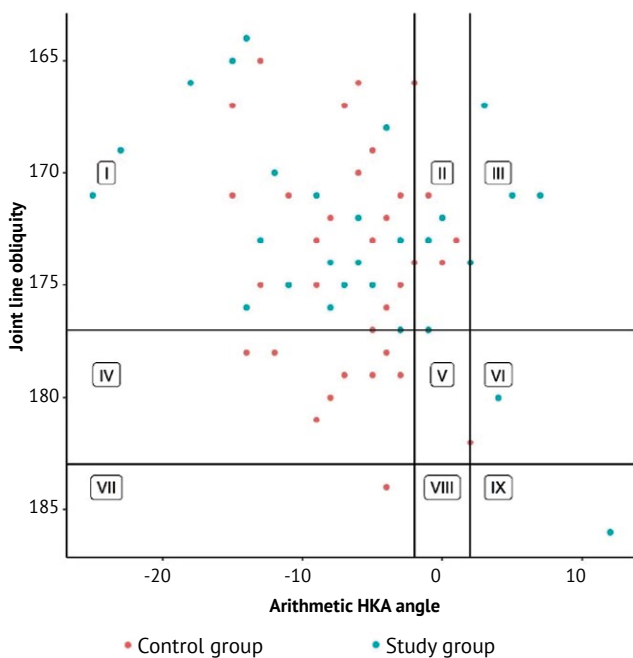


Figure 3. Preoperative distribution graph of the knee joint phenotypes among patients

Radiographic signs of component loosening

The variants of the radiographic signs of prosthetic component loosening, depending on their combination as determined by anatomical reference angles, are presented in Table 10.

The most frequent sign of loosening was mechanical collapse of a single component (3 cases, 41.94%), observed across all component alignment combinations. The second most common sign was the progression of radiolucent lines without the evidence of component collapse (11 cases, 35.48%), followed by the collapse of both components (7 cases, 22.58%). All radiographic signs of loosening were observed in cases where the femoral component was implanted in a varus position, while the tibial component was in either a neutral or valgus position.

The preoperative distribution graph of the knee joint phenotypes demonstrated a high density of limb axes within the varus corridor (Figure 3).

This density was no longer observed on the postoperative distribution graph of the knee joint phenotypes (Figure 4).

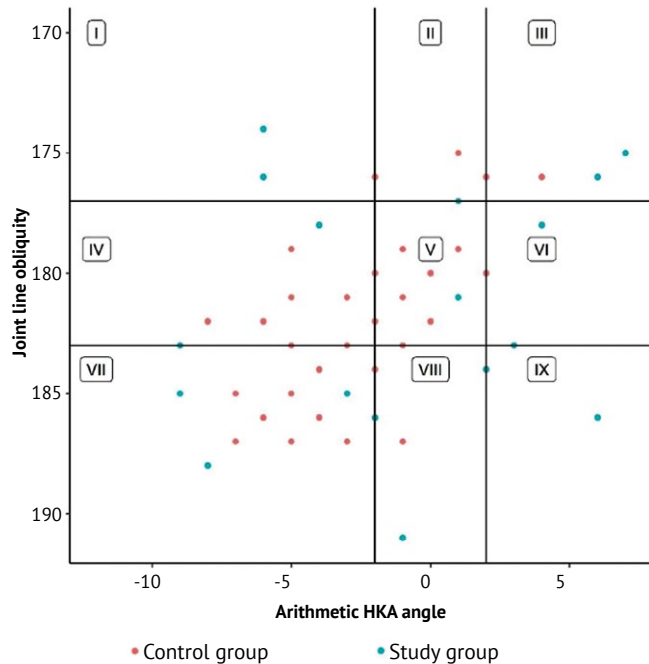


Figure 4. Postoperative distribution graph of the knee joint phenotypes among patients

Data on the timing of the detection of prosthetic component loosening, depending on the existing combination of component positioning as measured by the reference angles aL DFA/aMPTA, are presented in Table 11.

Signs of loosening were identified within 5 years for all alignment combinations. The majority of ALPC cases ($n = 25$, 81%) occurred within the first 3 years.

Predictive model for aseptic loosening of prosthetic components

To identify predictors of prosthetic component loosening following knee arthroplasty, univariate and multivariate logistic regression analyses were performed (Table 12).

The univariate logistic regression models revealed several significant predictors of aseptic

loosening of prosthetic components. As shown in the table, severe preoperative varus deformity, as measured by the HKA angle and aFTA, was associated with an increased risk of loosening: by 9.6 to 23.1 times, respectively. According to postoperative alignment measurements using aFTA, deviation of the mechanical axis beyond the normal range (either into varus or valgus) by as little as 0.5° increased the risk of loosening by 8.7 times (3.32-25.10). Additional significant predictors included age over 60 years (OR 2.92) and BMI over 27.50 (OR 2.60).

The performed ROC analysis assessed the predictive performance of the multivariate

model and identified the optimal Youden index, with a sensitivity of 64.5% and specificity of 85.5% at a threshold probability of prosthetic failure of 55.1%. Thus, using this cut-off value, patients with a model-calculated probability of component loosening exceeding 55.1% were predicted to experience prosthetic loosening (Figure 5).

The Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test ($p = 0.785$, degrees of freedom = 4, Pearson's $\chi^2 = 1.731$) confirmed agreement between the predicted and observed frequencies of aseptic loosening, indicating adequate calibration of the multivariate model.

Table 10

Radiographic signs of implant loosening depending on component alignment combinations

Alignment combinations according to aLDFA/aMPTA reference angles	Radiographic signs of implant loosening		
	Radiolucent lines	Displacement of one component	Displacement of both components
Valgus/valgus (n = 1)	–	1	–
Valgus/norm (n = 1)	–	1	–
Varus/valgus (n = 8)	4	2	2
Varus/norm (n = 13)	2	6	5
Norm/valgus (n = 5)	4	1	–
Norm/varus (n = 1)	–	1	–
Norm/norm (n = 2)	1	1	–

Table 11

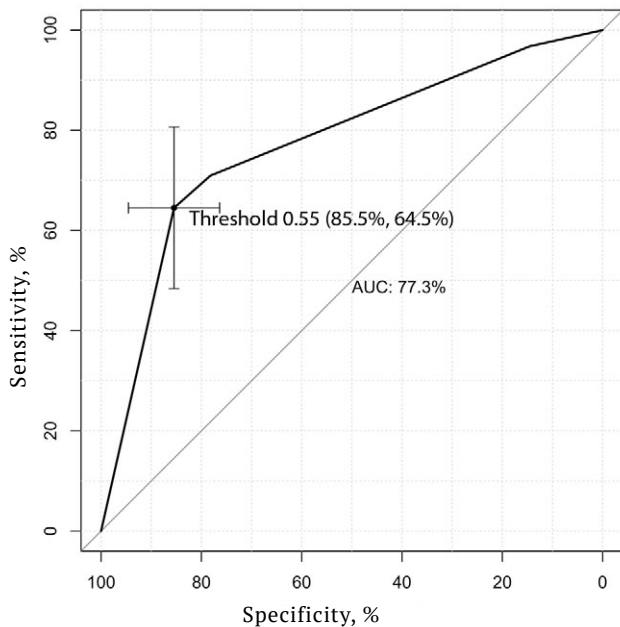
Time of detection of the signs of prosthetic component loosening depending on component alignment combinations

Alignment combinations according to aLDFA/aMPTA reference angles	Number of cases of component loosening by time, years				
	1	2	3	4	5
Valgus/valgus (n = 1)	1	–	–	–	–
Valgus/norm (n = 1)	1	–	–	–	–
Varus/valgus (n = 8)	3	4	1	–	–
Varus/norm (n = 13)	3	4	2	3	1
Norm/valgus (n = 5)	1	1	2	1	–
Norm/varus (n = 1)	–	1	–	–	–
Norm/norm (n = 2)	1	–	–	–	1

Table 12

**Logistic regression models of aseptic loosening of prosthetic components
(n = 86, including 31 (36%) cases of loosening)**

Covariates/explanatory variable	Univariate model		Multivariate model	
	OR [95% CI]	p	OR [95% CI]	p
Preoperative lower limb axis measured by aFTA with a value less than -6.5°	23.14 [5.72; 158.23]	< 0.001		
Preoperative lower limb axis measured by HKA angle with a value less than -9.5°	9.60 [3.11; 34.36]	< 0.001		
Patient's age more than 60.5 years	2.92 [1.18; 7.60]	0.023		
BMI more than 27.5	2.60 [0.75; 12.18]	0.165	3.47 [0.84; 18.67]	0.108
Postoperative lower limb axis measured by aFTA with a value more than or less than 0.5° the norm	8.76 [3.32; 25.10]	< 0.001	9.58 [3.53; 28.69]	< 0.001
Tibial component installed in valgus position	2.83 [1.10; 7.43]	0.032		



The formula of the multivariate model for predicting the aseptic loosening of prosthetic components is as follows:

$$P = 1 - 1/(1 + \exp(B + A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2)),$$

where P is the probability of aseptic loosening of components, and exp() is the exponential function. The values of the coefficients of the multivariate model are presented in Table 13.

Figure 5. ROC curve (threshold value 55.1%) of the multivariate model for predicting loosening of prosthetic components

Table 13

Coefficients and variables of the multivariate logistic regression model for aseptic loosening of prosthetic components

Coefficients and variables	Description	Acceptable values in the formula
B	Constant coefficient	-2.657833
A ₁	Constant coefficient	2.259605
X ₁	Postoperative lower limb axis measured by aFTA	0 — the value of more than 1.5° and less than 7.5°; 1 — the value of 1.5° or less and of 7.5° or greater
A ₂	Constant coefficient	1.243753
X ₂	BMI	0 — the value of less than 27.5; 1 — the value of 27.5 or greater

DISCUSSION

At first glance, variables such as patient age and severity of varus deformity may not appear to be directly correlated. However, osteoarthritis tends to progress with age, and many patients delay seeking medical care due to the fear of surgical treatment. Therefore, it becomes apparent that the older the patient, the more pronounced the deformity of the lower limb is likely to be.

This trend was reflected in the results of the study: in the study group, the majority of patients were older (61% aged 60-74 years), compared to the control group (52% aged 36-59 years). The more severe the varus deformity, the more difficult it is to correct while avoiding inaccuracies in prosthetic component positioning. That is why patients in the study group had more pronounced varus deformities than those in the control group. Evidence supporting the roles of age and varus deformity severity as predictors of ALPC is provided by the univariate logistic regression model: the severity of deformity increases the risk of loosening by 23 times, while age over 60 years increases the risk threefold.

In the postoperative period, neutral alignment of the lower limb axis was observed more frequently in the control group than in the study group ($p < 0.001$), while postoperative valgus deformity was detected only in the study group ($p < 0.001$). A more pronounced residual varus deformity after surgery was noted in the study group. These results suggest a predisposition to prosthetic component loosening in patients with greater deviation from neutral alignment toward varus, with deviation toward valgus being an even less acceptable misalignment. Similar findings were obtained in the multivariate logistic regression model: postoperative deviations of the lower limb mechanical axis measured by aFTA exceeding 0.5° toward either varus or valgus increased the risk of loosening by 8.7 times (3.32-25.10) (Table 12). Y.H. Kim et al., analyzing 3048 knee X-rays from patients with a mean prosthesis survival of 15 years, drew the same conclusion. The authors stated that a mechanical axis deviation greater than 3° varus measured by aFTA significantly increases the risk of prosthetic component loosening [14]. On the other hand, B.S. Lee et al. found that a varus deviation greater than 3° , measured by

the HKA angle, also increases the risk (by 10%) of prosthetic component loosening [15].

The results of our study showed that, most frequently in both groups, the femoral component was implanted in varus alignment, while the tibial component was in neutral. This likely occurred because surgeons either overlooked or lacked the means to measure the preoperative α -angle, and a standard 5° was automatically set on the distal femoral cutting block, which proved insufficient to achieve neutral femoral component positioning in the coronal plane. This combination occurred in over 50% of cases in the control group, suggesting that the risk of loosening in this scenario is low. In the study group, loosening with this combination likely arose due to other related factors. Statistically significant differences between groups were observed in the component positioning combinations measured using mechanical reference angles, where loosening most frequently occurred when the femoral component was implanted neutrally and the tibial component in valgus alignment (Table 9). This finding further underscores the poor survival prognosis of prostheses when initial varus deformity is overcorrected to valgus, due to valgus positioning of the tibial component. Conversely, tibial components positioned in varus alignment (mMPTA 85°) with preservation of overall neutral lower limb alignment demonstrated a 10-year prosthesis survival rate with good clinical outcomes in 66 patients, as reported by F.A. Miralles-Muñoz et al. [16].

The classification of coronal plane alignment of the knee (CPAK) was originally developed to identify which knee joint phenotype would benefit most from kinematic alignment. However, we chose to use this classification to identify patterns in the development of ALPC. No statistically significant differences in joint phenotype distribution were found between the groups. Considering that the majority of joints in both groups preoperatively belonged to the varus phenotypic corridor, it can be assumed that there is no predisposition to component loosening if the phenotype remains within the same axial corridor. Regarding patient satisfaction with surgical outcomes, maintaining the preoperative varus phenotypic corridor demonstrates favorable results, as patients in the control group

were operated on at least 8 years ago and have reported no complaints during this period.

The most frequent radiographic sign of component loosening was collapse of a single component (41.94%), ranking first because the progression of radiolucent lines is not always detected in a timely manner. This is partly due to patients often not adhering to postoperative follow-up protocols and presenting for their first outpatient visit only after clinical and radiographic signs of loosening appear. Additionally, there are difficulties in detecting radiolucent lines as some patients present asymptotically with X-rays taken at local clinics, where AP and lateral view accuracy is often compromised and the film quality is suboptimal. Considering that the cohort of patients who underwent revision surgery for aseptic loosening was collected between 2010 and 2015, and primary arthroplasty X-rays available in the archives start only from 2008, the longest documented time to component failure did not exceed 5 years.

The derived formula of the multifactorial model, which includes unrecovered neutral postoperative lower limb alignment and BMI, is also logically consistent. Mechanical alignment of the lower limb axis during TKA implies mandatory achievement of a neutral axis position through soft tissue releases, while performing horizontal (floor-parallel) distal femoral and proximal tibial cuts. That is, the surgical intervention aimed at correcting limb alignment is performed on the soft tissues (releases), whereas the bony cuts are standardized for all patients. Consequently, any deviation from the neutral limb axis during mechanical alignment leads to improper load distribution on the prosthetic components, resulting in their premature failure. At the same time, current requirements for the correction of the lower limb axis deformity are carried out mainly due to distal femoral and proximal tibial cuts combined with individualized femoral component rotation [10, 17]. Such alignment techniques allow for so-called safe undercorrection of the neutral axis position.

The most unexpected result of our study was the eightfold increase in the risk of prosthetic component loosening with just a 0.5° deviation

in either direction as measured by aFTA. A deviation of 0.5° is very small and difficult to detect intraoperatively during manual TKA using a conventional metallic alignment guide. This finding highlights the potential advantage of robot-assisted arthroplasty, which ensures high precision in executing planned bone cuts, thus guaranteeing accurate prosthetic component positioning. However, it should be noted that long-term studies are necessary to confirm the benefits of robot-assisted techniques.

Study limitations

This study involved a relatively small sample size; however, this did not prevent the identification of predictors for early ALPC following primary TKA, thanks to the use of logistic regression modeling.

Potential inaccuracies in radiographic measurements of lower limb alignment angles and reference angles for prosthesis component positioning cannot be entirely excluded. Such measurement errors may have influenced the statistical calculations in both univariate and, consequently, multivariate models for identifying ALPC predictors.

Surgical interventions were performed by different surgical teams, and prostheses from various manufacturers were used, although all implants were of a similar unlinked design.

CONCLUSIONS

In elderly patients with overweight and moderate-to-severe varus deformity of the lower limb, personalized and more selective preoperative planning is essential to prevent early aseptic loosening of prosthetic components. In patients exhibiting residual deformity and valgus positioning of the tibial component postoperatively, intensified postoperative monitoring with control X-rays every six months is recommended. If progression of radiolucent lines is detected alongside pain symptoms, prompt revision surgery should be performed to increase the likelihood of a conservative revision. Principles of conservative revision include avoiding the use of revision prosthesis constructs and minimizing aggressive interventions to preserve intact adjacent soft tissues and bone structures.

DISCLAIMERS

Author contribution

Gurazhev M.B. — drafting and editing the manuscript, literature search and review.

Lukinov V.L. — statistical data processing, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Baitov V.S. — data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing.

Gofer A.S. — literature search and review, editing the manuscript.

Ivanov E.A. — literature search and review, editing the manuscript.

Pavlov V.V. — study concept and design, scientific guidance.

Korytkin A.A. — scientific guidance, editing the manuscript.

Pronskikh A.A. — study 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 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

- Klit J., Jacobsen S., Rosenlund S., Sonne-Holm S., Troelsen A. Total knee arthroplasty in younger patients evaluated by alternative outcome measures. *J Arthroplasty*. 2014;29(5):912-917. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.09.035>.
- Dong Z., Li Y., Wang X., Tian H. A Case of TKA Failure in Patient with Primary Hyperparathyroidism. *Orthop Surg*. 2023;15(11):3006-3011. <https://doi.org/10.1111/os.13892>.
- Khan M., Osman K., Green G., Haddad F.S. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision. *Bone Joint J*. 2016;98-B(1 Suppl A):105-112. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B1.36293>.
- Murylev V.Y., Usabaliev B.T., Muzichenkov A.V., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Germanov V.G. et al. Osteoporosis and aseptic loosening of endoprosthesis components after joint replacement. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2022;41(4):67-73. (In Russian). <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2022-4-67-3>.
- Laskin R.S., Bektaş B. Computer-assisted navigation in TKA: where we are and where we are going. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;452:127-131. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000238823.78895.dc>.
- Omichi Y., Hamada D., Wada K., Tamaki Y., Shigekiyo S., Sairyo K. Robotic-assisted total knee arthroplasty improved component alignment in the coronal plane compared with navigation-assisted total knee arthroplasty: a comparative study. *J Robot Surg*. 2023;17(6):2831-2839. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01708-6>.
- Kim Y.H., Park J.W., Kim J.S., Park S.D. The relationship between the survival of total knee arthroplasty and postoperative coronal, sagittal and rotational alignment of knee prosthesis. *Int Orthop*. 2014;38(2):379-385. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2097-9>.
- MacDessi S.J., Griffiths-Jones W., Harris I.A., Bellemans J., Chen D.B. Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) classification. *Bone Joint J*. 2021;103-B(2):329-337. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1050.R1>.
- Abdel M.P., Oussedik S., Parratte S., Lustig S., Haddad F.S. Coronal alignment in total knee replacement: historical review, contemporary analysis, and future direction. *Bone Joint J*. 2014;96-B(7):857-862. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B7.33946>.
- Matassi F., Pettinari F., Frasca F., Innocenti M., Civinini R. Coronal alignment in total knee arthroplasty: a review. *J Orthop Traumatol*. 2023;24(1):24. <https://doi.org/10.1186/s10195-023-00702-w>.
- von Elm E., Altman D.G., Egger M., Pocock S.J., Gøtzsche P.C., Vandenbroucke J.P. et al. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *BMJ*. 2007;335(7624):806-808. <https://doi.org/10.1136/bmj.39335.541782.AD>.
- Paley D., Pfeil J. Principles of deformity correction around the knee. *Orthopade*. 2000;29(1):18-38. (In German). <https://doi.org/10.1007/s001320050004>.
- Ewald F.C. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(248):9-12.
- Kim Y.H., Park J.W., Kim J.S., Park S.D. The relationship between the survival of total knee arthroplasty and postoperative coronal, sagittal and rotational alignment of knee prosthesis. *Int Orthop*. 2014;38(2):379-385. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2097-9>.
- Lee B.S., Cho H.I., Bin S.I., Kim J.M., Jo B.K. Femoral Component Varus Malposition is Associated with Tibial Aseptic Loosening After TKA. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476(2):400-407. <https://doi.org/10.1007/s11999-0000000000000012>.
- Miralles-Muñoz F.A., Rubio-Morales M., Bello-Tejada L., González-Parreño S., Lizaur-Utrilla A., Alonso-Montero C. Varus alignment of the tibial component up to seven degrees is not associated with poor long-term outcomes in a neutrally aligned total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(8):2768-2775. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06627-3>.
- Rivière C., Iranpour F., Auvinet E., Howell S., Vendittoli P.A., Cobb J. et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(7):1047-1056. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.07.010>.

Authors' information

✉ *Mikhail B. Gurazhev*

Address: 8, Akademika Lavrentieva ave., Novosibirsk, 630090, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: Tashtagol@inbox.ru

Vitaliy L. Lukinov — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

e-mail: vitaliy.lukinov@gmail.com

Vladislav S. Baitov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9427-7072>

e-mail: VBaitov@list.ru

Anton S. Gofer

<https://orcid.org/0009-0000-3886-163X>

e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Evgeniy A. Ivanov

<https://orcid.org/0009-0007-8429-282X>

e-mail: Ivanov.evgeniy90@bk.ru

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Aleksandr A. Pronskikh — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1197-556X>

e-mail: proal_88@mail.ru

Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Detached and Non-Detached Autografts: Comparative Analysis

Gennadiy P. Kotelnikov, Nikita D. Shcherbatov, Dmitry S. Kudashev, Sergey D. Zuev-Ratnikov

Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract

Background. Despite the widespread use of autograft techniques for anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, there remains a need to improve surgical methods aimed at enhancing graft osseointegration, reducing inflammatory responses, and preventing bone tunnel widening. Particular attention has been drawn to techniques that preserve the tibial insertion and ACL remnant. A systematic comparison of these approaches based on objective functional and morphological parameters is necessary.

The aim of the study — to conduct a comparative analysis of short-term and early outcomes of different anterior cruciate ligament reconstruction techniques.

Methods. The study included 112 patients stratified into four groups based on the type of ACL reconstruction performed: D — detached graft; N — non-detached graft; D+S — detached graft with remnant preservation; N+S — non-detached graft with remnant preservation. Clinical outcomes were evaluated at 6 and 12 months using the Lysholm score, IKDC, and KOOS, as well as MRI-based Signal-to-Noise Quotient (SNQ) and CT-based bone tunnel widening. Statistical analysis included one-way and multivariate ANOVA (MANOVA), as well as Principal Component Analysis (PCA).

Results. The comparative analysis revealed statistically significant differences between the groups across all evaluated parameters ($p < 0.05$), according to the ANOVA test. The best functional outcomes (Lysholm, KOOS, IKDC) and morphological indicators (SNQ ratio, bone tunnel widening) were observed in the N+S group. MANOVA and PCA confirmed spatial separation of groups, with a distinct cluster formed by N+S patients, indicating the superiority of this technique. All intergroup differences were statistically significant ($p < 0.05$).

Conclusion. The results suggest that the use of non-detached autografts in combination with preservation of anterior cruciate ligament remnant offers substantial potential for improving surgical outcomes in knee joint instability. However, large-scale randomized trials with long-term follow-up are needed to confirm these findings.

Keywords: anterior cruciate ligament; ACL; ACL rupture; non-detached graft; ACL remnant preservation.

Cite as: Kotelnikov G.P., Shcherbatov N.D., Kudashev D.S., Zuev-Ratnikov S.D. Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Detached and Non-Detached Autografts: Comparative Analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):50-60. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17725>.

✉ Nikita D. Shcherbatov; e-mail: niksherbatov@mail.ru

Submitted: 30.06.2025. Accepted: 30.07.2025. Published online: 14.08.2025.

© Kotelnikov G.P., Shcherbatov N.D., Kudashev D.S., Zuev-Ratnikov S.D., 2025

Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутотрансплантатов

Г.П. Котельников, Н.Д. Щербатов, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Самара, Россия

Реферат

Актуальность. Несмотря на широкое применение аутопластики передней крестообразной связки (ПКС), сохраняется потребность в совершенствовании методик, направленных на улучшение остеоинтеграции трансплантата, снижение воспалительной реакции и профилактику расширения костных тоннелей. Особый интерес представляют технологии с сохранением тиббиального прикрепления и культы ПКС. Их сравнительная оценка на основе объективных функциональных и морфологических показателей требует систематизированного анализа.

Цель исследования — провести сравнительный анализ ближайших и ранних результатов применения различных способов реконструкции передней крестообразной связки.

Материал и методы. В исследование включены 112 пациентов, стратифицированных на четыре группы по типу выполняемой операции: D — свободный трансплантат; N — несвободный трансплантат; D+S — свободный трансплантат с сохранением культы; N+S — несвободный трансплантат с сохранением культы. Оценка результатов проводилась в сроки 6 и 12 мес. после операции с использованием шкал Lysholm, IKDC, KOOS, а также по данным MPT (индекс SNQ) и MCKT (расширение костных тоннелей). Применялись методы одно- и многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, MANOVA) и PCA.

Результаты. Сравнительный анализ показал статистически значимые различия между группами по всем исследуемым показателям ($p < 0,05$) по данным ANOVA-теста. Наилучшие функциональные результаты по шкалам Lysholm, KOOS и IKDC, а также морфологические показатели (индекс SNQ и степень расширения костных каналов) зафиксированы в группе N+S. MANOVA и PCA показали пространственное разделение групп с выраженным кластером пациентов группы N+S, отражающим преимущество данной техники. Различия между группами статистически значимы ($p < 0,05$).

Заключение. Полученные данные позволяют утверждать, что применение несвободных трансплантатов в сочетании с техникой сохранения культы передней крестообразной связки обладает значительным потенциалом в плане улучшения результатов хирургического лечения нестабильности коленного сустава. В то же время для окончательной верификации выявленных закономерностей требуется проведение широкомасштабных рандомизированных исследований с пролонгированным периодом наблюдения.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка; ПКС; разрыв ПКС; несвободный трансплантат; сохранение культы ПКС.

 **Для цитирования:** Котельников Г.П., Щербатов Н.Д., Кудашев Д.С., Зуев-Ратников С.Д. Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутотрансплантатов. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):50-60. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17725>.

 Щербатов Никита Дмитриевич; e-mail: niksherbatov@mail.ru

Рукопись получена: 30.06.2025. Рукопись одобрена: 30.07.2025. Статья опубликована онлайн: 14.08.2025.

© Котельников Г.П., Щербатов Н.Д., Кудашев Д.С., Зуев-Ратников С.Д., 2025

INTRODUCTION

Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction of the knee joint remains one of the most common surgical interventions in contemporary orthopedics, aimed at restoring anteromedial knee stability [1, 2, 3, 4]. Despite substantial progress in surgical techniques, graft materials, and approaches to ACL reconstruction, the challenge of achieving optimal and predictable long-term clinical and functional outcomes remains relevant [5, 6]. The conventional technique of ACL autoplasty using a detached hamstring tendon (DHT) is often associated with insufficient biological integration of the graft, pronounced tunnel widening, and variability in clinical results, which may not always meet the expectations of both surgeons and patients [7, 8].

In recent years, growing attention has been directed toward advanced methods that include preservation of the ACL remnant (such as the Single Antero-Medial Bundle Biological Augmentation, SAMBBA technique) and the use of non-detached hamstring tendon (NDHT) grafts, which retain the native tibial insertion of the semitendinosus [9, 10, 11, 12]. These techniques are expected to enhance revascularization, promote ligamentization, and facilitate improved osseointegration, as suggested by early preclinical and clinical observations from independent studies [13, 14, 15, 16]. Nevertheless, comparative data on the long-term clinical and morphological outcomes of these surgical strategies remain limited, highlighting the need for systematic analysis of their potential benefits and limitations.

The aim of the study – to conduct a comparative analysis of short-term and early outcomes of different anterior cruciate ligament reconstruction techniques.

METHODS

Study design

The study design corresponds to a single-center, open-label, randomized prospective clinical trial with parallel groups and was developed in accordance with the CONSORT 2010 (CONsolidated Standards of Reporting Trials) guidelines. The study was conducted at the Department of Traumatology and Orthopedics No. 2 of the Clinics of Samara State Medical

University from 2023 to 2024. A total of 121 patients with verified ACL injuries were enrolled in the study.

Inclusion criteria: age ≥ 18 years; ACL injury of any duration confirmed by clinical examination and MRI findings; preserved ACL remnant as verified by MRI.

Exclusion criteria: associated injuries to other knee ligaments (posterior cruciate ligament, medial or lateral collateral ligaments) with instability; stage III-IV knee osteoarthritis (according to the Kellgren-Lawrence classification); body mass index (BMI) ≥ 35 kg/m²; trophic disorders and/or purulent-inflammatory processes in the target joint area.

Withdrawal criteria: absence of the ACL remnant during arthroscopy, poor patient compliance during the follow-up period, and failure to adhere to postoperative recommendations.

All patients were informed in advance by the orthopedic trauma surgeon about the treatment options and the possible risks and outcomes of surgery. Each patient signed an informed consent form to participate in the study and undergo surgery.

The follow-up period included 6 and 12 months postoperatively. Clinical outcomes were evaluated using the Lysholm, IKDC, and KOOS scoring systems. Imaging parameters included the SNQ index (based on MRI) and bone tunnel widening (based on MSCT).

Patients

Initially, 121 patients were enrolled; however, 9 (7.4%) were excluded: 8 (6.6%) due to intra-operatively confirmed absence of the ACL remnant and 1 (0.8%) due to poor compliance and violation of postoperative rehabilitation protocols. As a result, the final analysis included 112 patients (92.6% of the initial cohort). Stratified randomization was used to allocate patients into four equal groups of 28 individuals, each receiving a different ACL reconstruction technique.

In the first group (D), surgical intervention was performed using the standard technique involving a double-loop detached hamstring tendon (DHT) autograft harvested from the semitendinosus (ST) and gracilis (G) tendons, with complete removal of the ACL remnant.

In the second group (N), during ACL reconstruction, the autograft from the ST and

G tendons was left with its native tibial attachment intact (NDHT), but similar to the first group, the residual ACL remnant was resected.

In the third group (D+S), a detached autograft was also used; however, the SAMBBA technique (Single Antero-Medial Bundle Biological Augmentation) was additionally applied. This approach involves preservation of the residual anteromedial bundle stump of the ACL, which was augmented with the autograft.

In the fourth group (N+S), the autograft was left non-detached, retaining its tibial insertion, and the SAMBBA technique was similarly employed to preserve the native ACL remnant.

Among the 112 patients, 72 (64.3%) were male and 40 (35.7%) female. The mean age was 30.5 ± 9.3 years (range 18–45). ACL injury of the left knee was found in 52 (46.4%) patients, and of the right knee – in 60 (53.6%) patients, with a left-to-right ratio of 1:1.15. The mean time from injury to surgery was 6.0 ± 1.4 months. Demographic and baseline clinical characteristics of the groups are presented in Table 1.

No statistically significant differences between groups were found in terms of age, sex, or time from injury to surgery ($p > 0.05$).

Table 1

Stratified randomization of patients into groups

Group	Number of patients	Sex (M/F)	Age, years (M $\pm$ SD)	Side of injury (right/left)	Time from injury to surgery, months (M $\pm$ SD)
D	28	18/10	28.0 ± 9.2	16/12	6.1 ± 1.4
N	28	17/11	31.0 ± 8.9	15/13	5.9 ± 1.6
D+S	28	18/10	29.0 ± 9.5	16/12	6.2 ± 1.5
N+S	28	19/9	32.0 ± 8.7	16/12	6.0 ± 1.3

According to the ANOVA test results, between-group differences were not statistically significant in terms of sex ($p = 0.9597$), side of injury ($p = 0.9912$), and time from injury to surgery ($p = 0.3019$). The difference in age approached the threshold of statistical significance ($p = 0.0547$).

Surgical technique

Arthroscopic reconstruction of the ACL was performed under spinal anesthesia using standard approaches. The initial stage included a diagnostic arthroscopy with inspection of the ACL remnant and intra-articular structures. Therapeutic procedures were then carried out as required, including arthrolysis, debridement, and partial meniscectomy. Subsequently, femoral and tibial bone tunnels were created according to the anatomical footprints of the native ACL. The entry point for the femoral tunnel

aperture was determined with reference to the Blumensaat line and the lateral intercondylar ridge (“resident’s ridge”) using an offset guide included in the standard instrument set for anterior cruciate ligament reconstruction. Femoral fixation was achieved using a cortical suspensory device (ULTRABUTTON Adjustable Fixation Device, Smith & Nephew), while tibial fixation was performed using a bioabsorbable interference screw (Smith & Nephew). The arthroscopic view of the preserved ACL remnant and the placed autograft is shown in Figure 1.

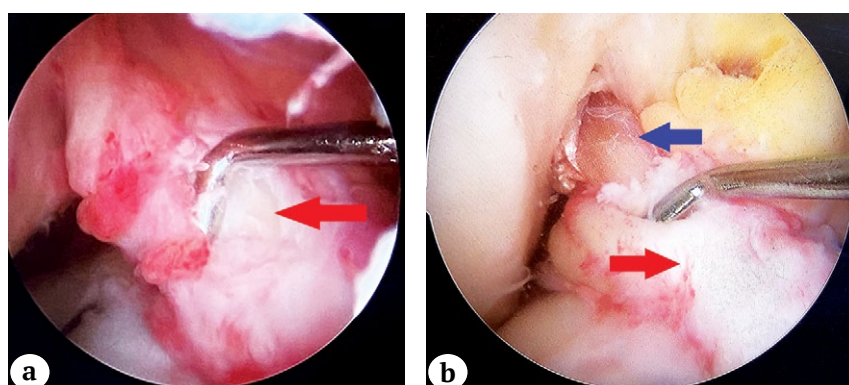


Figure 1. Arthroscopic view:
a – ACL remnant (indicated by the red arrow);
b – fixed autograft (indicated by the blue arrow) with preserved ACL remnant

All patients followed an identical postoperative rehabilitation protocol regardless of group allocation.

Assessment methods

The outcome assessment was conducted at 6 and 12 months post-op using both clinical and imaging-based evaluation methods. The functional status of the knee joint was assessed using validated clinical scoring systems: the Lysholm Knee Score, the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form (IKDC), and the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) [17, 18, 19]. These questionnaires were completed by patients preoperatively and at 6 and 12 months postoperatively.

Instrumental assessment of graft integration and bone tunnel morphology was performed using magnetic resonance imaging (MRI) and multislice computed tomography (MSCT).

MRI was conducted at 6 and 12 months postoperatively to calculate the SNQ (Signal-to-Noise Quotient) index using the following standard formula:

$$\text{SNQ} = (\text{SI of graft} - \text{SI of posterior cruciate ligament}) / \text{SD of background},$$

where SI stands for signal intensity and SD stands for standard deviation of the background signal measured. Particular attention on MRI was also paid to the accuracy of bone tunnel positioning and the dynamics of graft remodeling (Figure 2).



Figure 2. MRI images 6 months after ACL reconstruction:
a – position of the femoral tunnel (PDE_TSE_SPIR sequence);
b – position of the tibial tunnel (STIR_longTE sequence);
c – intra-articular portion of the ACL autograft (STIR_longTE sequence)

Additionally, MSCT was used to quantify tunnel widening in both the femoral and tibial canals, expressed as a percentage increase relative to the original drilling diameter.

Statistical analysis

To analyze the dynamics of parameters over time (6 and 12 months), a two-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used, allowing for assessment of both between-group differences and within-group changes over time. To evaluate between-group differences based on the full set of clinical and instrumental scales, a multivariate analysis of variance (MANOVA) was performed, followed by principal component

analysis (PCA). Prior to conducting ANOVA and MANOVA, the distribution of quantitative variables was tested for normality using the Shapiro-Wilk test. In cases where deviations from normality were detected, non-parametric methods (Kruskal-Wallis test) were additionally applied. The median (Me) and interquartile range [Q_1 ; Q_3] were used to describe the sample structure. A post-hoc power analysis was performed based on a sample of 4 groups with 28 patients each, with a significance level of $\alpha = 0.05$ and an effect size of $f = 0.40$; the resulting statistical power was 0.94, indicating a high level of reliability.

All statistical analyses were carried out using IBM SPSS Statistics version 25.0, and graphical visualizations were generated using GraphPad Prism 9.0. A p -value < 0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

Throughout the entire follow-up period, improvements in both clinical and instrumental parameters were observed in all four groups; however, the degree of recovery varied significantly depending on the anterior cruciate ligament reconstruction technique used.

Based on the analysis, statistically significant differences were found between the groups across all assessed parameters at both 6 (Table 2) and 12 months of follow-up (Table 3).

After 6 months, the highest functional scores (Lysholm, IKDC, KOOS) and the best instrumental results (the lowest SNQ index and tunnel widening values) were observed in patients from the N+S group. The minimum values were recorded in the D group. By 12 months, the advantage of the N+S group remains in all clinical and morphological criteria: the maximum values of the Lysholm, IKDC, and

Table 2

Comparative dynamics of clinical and instrumental parameters in the study groups at 6 months after ACL reconstruction, Me [Q_1 ; Q_3], (min-max)

Parameters	Results			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, points	79 [77; 80], (71-89)	82 [80; 84], (75-88)	83 [80; 85], (77-89)	88 [86; 90], (82-92)
IKDC, points	74 [71; 77], (64-89)	78 [75; 81], (68-88)	83 [82; 86], (78-87)	89 [88; 91], (84-93)
KOOS, points	74 [68; 78], (66-79)	81 [74; 84], (72-85)	74 [72; 83], (71-85)	83 [80; 89], (78-92)
SNQ index	8.5 [7.9; 9.1], (7.4-10.2)	7.6 [6.8; 8.1], (6.0-8.9)	6.8 [6.4; 7.2], (4.4-9.3)	5.8 [5.3; 6.3], (4.2-8.5)
Bone tunnel widening, %	31.2 [31.1; 31.3], (31.0-31.5)	26.5 [26.5; 26.6], (26.3-26.8)	25.7 [25.6; 25.8], (25.5-26.0)	20.8 [20.8; 20.9], (20.6-21.0)

$p < 0.05$ – derived from ANOVA.

Table 3

Comparative dynamics of clinical and instrumental parameters in the study groups at 12 months after ACL reconstruction, Me [Q_1 ; Q_3], (min-max)

Parameters	Results			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, points	86 [83; 88], (79-92)	90 [87; 93], (84-96)	91 [89; 93], (85-96)	96 [95; 98], (94-100)
IKDC, points	81 [77; 85], (72-91)	85 [81; 88], (75-94)	89 [87; 92], (81-97)	94 [91; 96], (89-100)
KOOS, points	78 [75; 82], (68-88)	84 [81; 89], (74-94)	91 [89; 93], (82-98)	96 [94; 98], (88-100)
SNQ index	8.5 [7.9; 9.1], (7.4-10.2)	7.6 [6.8; 8.1], (6.0-8.9)	6.8 [6.4; 7.2], (4.4-9.3)	5.8 [5.3; 6.3], (4.2-8.5)
Bone tunnel widening, %	31.2 [31.1; 31.3], (31.0-31.5)	26.5 [26.5; 26.6], (26.3-26.8)	25.7 [25.6; 25.8], (25.5-26.0)	20.8 [20.8; 20.9], (20.6-21.0)

$p < 0.05$ – derived from ANOVA.

KOOS scales and the lowest SNQ and tunnel widening values. The worst results were observed in the D group. The highest functional scores and the lowest SNQ and tunnel widening values were recorded in the group with non-detached graft and ACL remnant preservation (N+S). The lowest outcomes were observed in the D group (detached graft without remnant preservation), as confirmed by statistically significant pairwise differences ($p < 0.05$) with the other groups (N, D+S, and N+S).

The resulting two-dimensional projection onto the plane of the first two principal components, which together explained the majority of data variance (PC1: 75.6%, PC2: 9.3%), enabled visualization of the spatial distribution of clinical groups in a multiparametric context.

The PCA projection of MANOVA revealed a clear separation of data points corresponding to patients from different groups, most distinctly in the N+S group (non-detached graft + remnant preservation), which formed an isolated cluster distant from the others (Figure 3). This indicated a high degree of differentiation of this group in terms of cumulative clinical indicators (Lysholm, KOOS, SNQ index) at both 6 and 12 months postoperatively. The D and D+S groups showed partial overlap, while the N group was positioned between them and the N+S cluster, reflecting intermediate values.

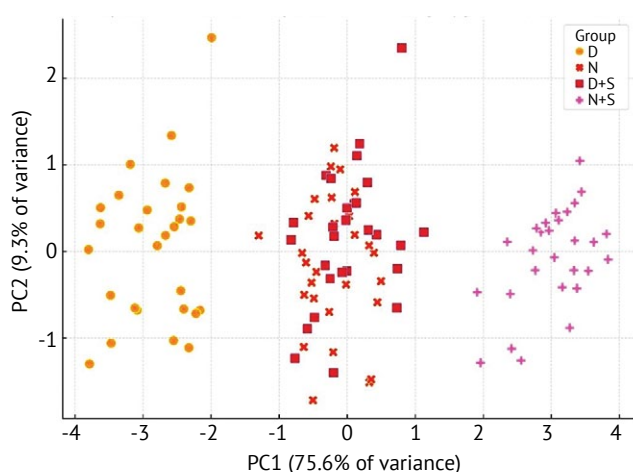


Figure 3. PCA projection of MANOVA: clustering of groups based on combined clinical and instrumental indicators

The observed spatial differentiation in the PCA cluster plot confirmed that clinical features – such as the rate of functional recovery of the knee joint, subjective quality-of-life assessment, and graft integration level – exhibited a consistent distribution depending on the surgical technique applied. These findings emphasized the practical significance of multivariate analysis for prognostic stratification and personalization of surgical tactics.

The results of the PCA projection confirmed that the modified surgical techniques, particularly in the N+S group, lead to qualitatively distinct recovery trajectories, which was further validated by statistically significant differences according to the MANOVA data ($p < 0.001$).

DISCUSSION

Surgical ACL reconstruction continues to be considered the preferred method for treating anteromedial instability of the knee joint [20, 21, 22]. However, despite the widespread use of conventional technique employing detached autografts, recent years have witnessed the active development of biologically preserving surgical approaches focused on maintaining anatomical structures, including the ACL remnant and the tibial tendon insertion site [23, 24, 25]. This trend reflects the growing demand for achieving anatomical and functional outcomes comparable to those of the native ligament, while simultaneously reducing complication rates and improving graft incorporation into surrounding tissues [26, 27, 28, 29].

According to the literature, non-detached hamstring tendon (NDHT) grafts that preserve the natural tibial attachment demonstrate more favorable outcomes compared to detached tendon grafts (DHT). For example, N. Vari et al. demonstrated that the use of NDHT grafts leads to more reliable restoration of knee joint stability and a lower re-rupture rate, while maintaining comparable functional results [30]. The study by A. Grassi et al., based on magnetic resonance imaging, revealed significant advantages of NDHT graft in terms of graft ligamentization.

In the NDHT group, the authors observed lower SNQ values, reduced graft edema, and less tunnel widening at 4 and 18 months postoperatively [31]. According to A. Ruffilli et al., preservation of the natural tibial tendon insertion site promotes accelerated ligamentization and the formation of structural graft continuity, improving healing and early functional recovery [32].

In parallel, the SAMBBA technique, which includes ACL remnant preservation, not only improves the biomechanics of the graft but also enhances biological integration by maintaining vascular and synovial coverage. Studies by Y. Zhang et al. and B.I. Lee et al. demonstrated that preservation of the ACL remnant reduces bone tunnel widening and graft signal intensity on MRI, which are interpreted as indicators of graft maturation in the later stages of follow-up [33, 34]. G.Y. Ahn et al. also reported that biological augmentation in the form of remnant preservation improves both clinical and imaging outcomes [35].

The results of the present study are consistent with the findings of the aforementioned authors. Patients in the N+S group treated with a combination of NDHT graft and ACL remnant preservation achieved the most favorable outcomes across all clinical scales (Lysholm, IKDC, KOOS) and instrumental assessments (SNQ index, bone tunnel widening) at both 6 and 12 months postoperatively. These findings confirm the effectiveness of biologically sparing techniques compared to traditional ACL reconstruction using a detached graft.

Additionally, multivariate analysis of variance (MANOVA), with visual representation via principal component analysis (PCA), revealed that patients in the N+S group formed a distinct cluster, clearly separated from the other groups. The key features contributing to this separation were high scores on functional scales (Lysholm, KOOS), a high percentage of patients rated as IKDC grade A, as well as the lowest SNQ index values and minimal tunnel widening. These characteristics reflect the most favorable clinical and morphological recovery trajectory in patients who underwent ACL reconstruction with preservation of both the tibial tendon insertion and the ACL remnant.

Study limitations

Despite the statistically significant results obtained, this study has several limitations. It was conducted as a single-center observation, which may reduce external validity and limit the generalizability of the findings to other clinical populations. Although the study design included randomization, the lack of blinding could have introduced potential bias in the interpretation of subjective outcome measures. Additionally, the follow-up period was limited to 12 months, which restricts the assessment of long-term clinical and morphological outcomes. Finally, despite the stratified allocation of patients into groups, the potential influence of concomitant factors – such as the level of physical activity or adherence to rehabilitation protocols – was not fully accounted for.

Future multicenter blinded randomized trials with extended follow-up periods are needed to confirm and expand upon these findings.

CONCLUSION

The findings of this study suggest that the use of non-detached grafts in combination with anterior cruciate ligament remnant-preserving techniques holds substantial potential for improving the outcomes of surgical treatment for knee joint instability. At the same time, large-scale randomized controlled trials with long-term follow-up are necessary to definitively validate these results.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kotelnikov G.P. – scientific guidance, editing the manuscript.

Shcherbatov N.D. – data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Kudashev D.S. – editing the manuscript.

Zuev-Ratnikov S.D. – study concept and design.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local bioethics committee of Samara State Medical University, Samara, Russia, protocol No 269, 13.09.2023.

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

REFERENCES

- Saprykin A.S., Gvozdev M.A., Ryabinin M.V., Orlov Y.N. Historical development of anterior cruciate ligament reconstruction. *Modern Problems of Science and Education*. 2020;(6):205. (In Russian). <https://doi.org/10.17513/spno.30440>.
- Zayats V.V., Dulaev A.K., Dydykin A.V., Ul'ianchenko I.N., Kolomoitsev A.V., Kovtun A.V. Analysis of efficacy of arthroscopic plasty technologies of anterior cruciform ligament of knee joint based on anatomical position of autograft. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2017;176(2):77-82. (In Russian). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2017-176-2-77-82>.
- Goncharov E.N., Koval O.A., Dubrov V.E., Bezuglov E.N., Alekhin A.A., Goncharov N.G. Mid-term results of simultaneous reconstruction of the anterior cruciate and anterolateral ligaments of the knee in athletes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):62-71. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71>.
- Mikhaylov I.N., Puseva M.E., Tishkov N.V., Monastirev V.V., Ponomarenko N.S., Balzhinimayev D.B. Modern methods of anterior cruciate ligament tendoplasty (literature review). *Acta Biomedica Scientifica*. 2017;2(6):64-68. (In Russian). https://doi.org/10.12737/article_5a0a864c6e0163.65998795.
- Zdanowicz U., Ciszowska-Łyson B., Paśnik M., Drwięga M., Ratajczak K., Fulawka K. et al. Evaluation of ACL Graft Remodeling and Prediction of Graft Insufficiency in Sequenced MRI – Two-Year Follow-Up. *Appl Sci*. 2021;11:5278. <https://doi.org/10.3390/app11115278>.
- Howell S.M., Clark J.A., Blasier R.D. Serial magnetic resonance imaging of hamstring anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation. A preliminary study. *Am J Sports Med*. 1991;19(1):42-47. <https://doi.org/10.1177/036354659101900107>.
- Pupynin D.Yu., Lychagin A.V., Gritsyuk A.A. Comparative analysis of five-year outcomes of anterior cruciate ligament tears repaired with different techniques. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):337-344. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344>.
- Velicheti S., Ramadugu A., Chalasani K., Kotagiri R., Padavala S. Evaluation of ACL graft by MRI: a pictorial review. *J Glob Radiol*. 2022;8(1):1. <https://doi.org/10.7191/jgr.2022.1151>.
- Hopper G.P., Philippe C., El Helou A., Campos J.P., Vieira T.D., Döbele S. et al. Single AnteroMedial Bundle Biological Augmentation: SAMBBA Plus Technique for Combined ACL Repair and Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2023;12(1):e135-e139. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2022.09.003>.
- Sonnery-Cottet B., Freychet B., Murphy C.G., Pupim B.H., Thauan M. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Preservation: The Single-Anteromedial Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech*. 2014;3(6):e689-e693. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2014.08.007>.
- Zayats V.V. Non-free grafts in anterior cruciate ligament and lateral extra-articular tenodesis reconstruction. *The Scientific Notes of the Pavlov University*. 2020;27(1):57-67. (In Russian). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2020-27-1-57-67>.
- Sinha S., Naik A.K., Maheshwari M., Sandanshiv S., Meena D., Arya R.K. Anterior cruciate ligament reconstruction with tibial attachment preserving hamstring graft without implant on tibial side. *Indian J Orthop*. 2018;52(2):170-176. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho.85_17.
- Kim S.J., Kim H.K., Lee Y.T. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous hamstring tendon graft without detachment of the tibial insertion. *Arthroscopy*. 1997;13(5):656-660. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(97\)90198-5](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(97)90198-5).
- Liu S., Sun Y., Wan F., Ding Z., Chen S., Chen J. Advantages of an Attached Semitendinosus Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Rabbit Model. *Am J Sports Med*. 2018;46(13):3227-3236. <https://doi.org/10.1177/036354651879935>.
- Cavaignac E., Marot V., Faruch M., Reina N., Murgier J., Accadbled F. et al. Hamstring Graft Incorporation According to the Length of the Graft Inside Tunnels. *Am J Sports Med*. 2018;46(2):348-356. <https://doi.org/10.1177/0363546517733472>.
- Liu S., Li H., Tao H., Sun Y., Chen S., Chen J. A Randomized Clinical Trial to Evaluate Attached Hamstring Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Magnetic Resonance Imaging. *Am J Sports Med*. 2018;46(5):1143-1149. <https://doi.org/10.1177/0363546517733472>.
- Lysholm J., Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*. 1982;10(3):150-154. <https://doi.org/10.1177/036354658201000306>.
- Higgins L.D., Taylor M.K., Park D., Ghodadra N., Marchant M., Pietrobon R. et al. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine*. 2007;74(6):594-599. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2007.01.036>.

19. Roos E.M., Lohmander L.S. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health Qual Life Outcomes*. 2003;1:64. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-64>.
20. Zayats V.V., Dulaev A.K., Dydykin A.V., Ulyanchenko I.N. Clinical evaluation of anatomical reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Genij Ortopedii*. 2021;27(1):48-54. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-48-54>.
21. Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: current approaches to preoperative planning (systematic review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):136-148. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.
22. Naraoka T., Kimura Y., Tsuda E., Yamamoto Y., Ishibashi Y. Is remnant preservation truly beneficial to anterior cruciate ligament reconstruction healing? Clinical and magnetic resonance imaging evaluations of remnant-preserved reconstruction. *Am J Sports Med*. 2017;45(5):1049-1058. <https://doi.org/10.1177/0363546516682241>.
23. Franciozi C.E., Minami F.K., Ambra L.F., Galvão P.H.S.A.F., Schumacher F.C. et al. Remnant preserving ACL reconstruction with a functional remnant is related to improved laxity but not to improved clinical outcomes in comparison to a nonfunctional remnant. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(5):1543-1551. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06572-1>.
24. Cho E., Chen J., Xu C., Zhao J. Remnant preservation may improve proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol*. 2022;23(1):22. <https://doi.org/10.1186/s10195-022-00641-y>.
25. Wang H., Liu Z., Li Y., Peng Y., Xu W., Hu N., et al. Is remnant preservation in anterior cruciate ligament reconstruction superior to the standard technique? A systematic review and meta-analysis. *Biomed Res Int*. 2019;2019:1652901. <https://doi.org/10.1155/2019/1652901>.
26. Takahashi T., Kondo E., Yasuda K., Miyatake S., Kawaguchi Y., Onodera J. et al. Effects of remnant tissue preservation on the tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical and histological study. *Am J Sports Med*. 2016;44(7):1708-1716. <https://doi.org/10.1177/0363546516643809>.
27. El-Desouky M.A., Ezzat M., Abdelrazek B.H. Clinical outcomes in stump-preserving versus stump-sacrificing anterior cruciate ligament reconstruction; a randomized controlled study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022;23(1):703. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05665-3>.
28. Gupta R., Singh S., Kapoor A., Soni A., Kaur R., Kaur N. Graft tunnel integration occurs early in the tibial tunnel compared with the femoral tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction with preserved insertion hamstring tendon graft. *Knee Surg Relat Res*. 2021;33(1):37. <https://doi.org/10.1186/s43019-021-00119-x>.
29. Wang Z., Tao H.B., Wang Y., Liu B., Han W.F., Xiang L.B. Clinical application of modified Crain classification in the design of anterior cruciate ligament reconstruction with remnant preservation. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022;23(1):1066. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05912-7>.
30. Vari N., Cavaignac E., Cavaignac M., Bérard É., Marot V. Outcomes of hamstring graft with preserved tibial insertion for ACL reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2024;34(1):67-73. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03698-5>.
31. Grassi A., Casali M., Macchiarola L., Lucidi G.A., Cucurnia I., Filardo G. et al. Hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction show better magnetic resonance features when tibial insertion is preserved. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(2):507-518. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05948-z>.
32. Ruffilli A., Traina F., Evangelisti G., Borghi R., Perna F., Faldini C. Preservation of hamstring tibial insertion in anterior cruciate ligament reconstruction: a review of the current literature. *Musculoskelet Surg*. 2015;99(2):87-92. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0346-3>.
33. Zhang Y., Liu S., Chen Q., Hu Y., Sun Y., Chen J. Maturity Progression of the Entire Anterior Cruciate Ligament Graft of Insertion-Preserved Hamstring Tendons by 5 Years: A Prospective Randomized Controlled Study Based on Magnetic Resonance Imaging Evaluation. *Am J Sports Med*. 2020;48(12):2970-2977. <https://doi.org/10.1177/0363546520951507>.
34. Lee B.I., Kim B.M., Kho D.H., Kwon S.W., Kim H.J., Hwang H.R. Does the tibial remnant of the anterior cruciate ligament promote ligamentization? *Knee*. 2016;23(6):1133-1142. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.09.008>.
35. Ahn G.Y., Lee T.H., Lee K.J., Woo S. Comparison of clinical outcomes and second-look arthroscopic evaluations between anterior cruciate ligament anteromedial bundle augmentation and single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Relat Res*. 2020;32(1):45. <https://doi.org/10.1186/s43019-020-00058-z>.

Authors' information

✉ Nikita D. Shcherbatov

Address: 89, Chapayevskaya st., Samara, 443099, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-7202-7471>

e-mail.ru: niksherbatov@mail.ru

Gennadiy P. Kotelnikov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Full Member of the RAS

<https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>

e-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru

Dmitry S. Kudashev — Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8002-7294>

e-mail: dmitrykudashew@mail.ru

Sergey D. Zuev-Ratnikov — Cand. Sci. (Med.),
Assistant Professor

<https://orcid.org/0000-0001-6471-123X>

e-mail: stenocardia@mail.ru

Impact of Using an Original Guiding Device on Operative Time and Radiation Exposure in Minimally Invasive *Hallux Valgus* Correction

Igor' G. Belen'kiy^{1,2}, Gennadii D. Sergeev^{1,2}, Aleksei V. Oleinik^{1,3}, Mariya A. Sergeeva^{1,4}, Boris A. Maiorov^{1,2,4}

¹ St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ St. Petersburg Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

⁴ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Minimally invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA) for *hallux valgus* is a high-tech procedure, with certain stages potentially being time-consuming and requiring intraoperative fluoroscopic guidance.

The aim of the study – to evaluate the impact of the original guide device on the operative time, fluoroscopy time, and radiation exposure during minimally invasive Chevron and Akin osteotomy of the first metatarsal bone.

Methods. The study included 42 patients with *hallux valgus*, divided into two groups. All patients underwent surgery using a minimally invasive technique. The Guiding Device Group consisted of 21 patients who underwent osteotomy with the use of the original guide. The Freehand Group included 21 patients who underwent osteotomy without the guide. At the end of the procedure, the duration of the surgery and the radiation dose – measured using the image intensifier sensors – were recorded.

Results. The median duration of surgery in the Guiding Device Group was 25.00 minutes [25.00; 30.00], while in the Freehand Group it was 45.00 minutes [40.00; 57.50]. The observed differences were statistically significant ($p < 0.001$). The mean radiation dose was 0.30 ± 0.06 mGy in the group where the guide was used, and 0.79 ± 0.20 mGy in the group where guidewires for screws were inserted freehand. The mean difference between the groups for this parameter was 0.49 mGy (95% CI 0.39–0.58 mGy; $p < 0.001$). Pain intensity assessed by the VAS at 2, 4, and 8 weeks, and at 6 months postoperatively, was lower in patients who underwent surgery with the guide ($p < 0.05$ for all time points).

Conclusion. The use of the original guiding device in minimally invasive corrective osteotomies for *hallux valgus* deformity significantly reduced operative time and radiation exposure for both the patient and the surgeon.

Keywords: *hallux valgus*, bunion; valgus deformity of the first toe; osteotomy guide; minimally invasive corrective osteotomy; chevron osteotomy.

Cite as: Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Oleinik A.V., Sergeeva M.A., Maiorov B.A. Impact of Using an Original Guiding Device on Operative Time and Radiation Exposure in Minimally Invasive *Hallux Valgus* Correction. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):61–69. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17726>.

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

Submitted: 06.06.2025. Accepted: 23.07.2025. Published online: 04.08.2025.

© Belen'kiy I.G., Sergeev G.D., Oleinik A.V., Sergeeva M.A., Maiorov B.A., 2025

Влияние применения оригинального направителя на продолжительность операции и лучевую нагрузку при малоинвазивной коррекции *hallux valgus*

И.Г. Беленький^{1,2}, Г.Д. Сергеев^{1,2}, А.В. Олейник^{1,3}, М.А. Сергеева^{1,4},
 Б.А. Майоров^{1,2,4}

¹ СПб ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»,

г. Санкт-Петербург, Россия

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

³ ФГБУЗ «Санкт-Петербургская клиническая больница Российской академии наук»,

г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Малоинвазивная корригирующая остеотомия при вальгусной деформации первого пальца стопы является высокотехнологичным вмешательством, отдельные этапы которого могут быть длительными и требуют интраоперационного флюороскопического контроля.

Цель исследования — оценить влияние применения оригинального направителя при выполнении малоинвазивной корригирующей остеотомии первой плюсневой кости на продолжительность оперативного вмешательства, время работы электронно-оптического преобразователя и величину дозы рентгеновского облучения.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 42 пациента с *hallux valgus*, разделенные на две группы. Все пациенты были прооперированы с использованием малоинвазивной хирургической техники. В группу «Направитель» вошел 21 пациент (21 стопа), которым была выполнена остеотомия с применением оригинального направителя. Пациентам группы «Свободная рука» (21 пациент, 21 стопа) остеотомия выполнялась без использования направителя. После завершения операции регистрировали ее длительность, а также дозу рентгеновского излучения, измеренную с помощью датчиков электронно-оптического преобразователя.

Результаты. Медиана длительности операции у пациентов группы «Направитель» составила 25,00 мин. [25,00; 30,00], а в группе «Свободная рука» — 45,00 мин. [40,00; 57,50]. Выявленные различия были статистически значимыми ($p < 0,001$). Средняя величина дозы облучения была равна $0,30 \pm 0,06$ мГр в группе, где использовался направитель, и $0,79 \pm 0,20$ мГр — в группе, где направляющие спицы для винтов проводились методом «свободной руки». Средняя разность между группами исследования по этому показателю составила 0,49 мГр (95% ДИ 0,39–0,58 мГр; $p < 0,001$). Интенсивность болевого синдрома по ВАШ на сроках 2, 4, 8 нед., 6 мес. после операции была ниже у пациентов при использовании направителя (для всех сроков $p < 0,05$).

Заключение. Применение оригинального направителя при выполнении малоинвазивных корригирующих операций у пациентов с вальгусной деформацией первого пальца стопы позволило сократить длительность оперативного вмешательства и лучевую нагрузку на пациента и хирурга.

Ключевые слова: *hallux valgus*; вальгусная деформация первого пальца; направитель для корригирующей остеотомии; малоинвазивная корригирующая остеотомия; шевронная остеотомия.

 **Для цитирования:** Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Олейник А.В., Сергеева М.А., Майоров Б.А. Влияние применения оригинального направителя на продолжительность операции и лучевую нагрузку при малоинвазивной коррекции *hallux valgus*. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):61–69. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17726>.

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

Рукопись получена: 06.06.2025. Рукопись одобрена: 23.07.2025. Статья опубликована онлайн: 04.08.2025.

© Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Олейник А.В., Сергеева М.А., Майоров Б.А., 2025

INTRODUCTION

Minimally invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA) for *hallux valgus* is a high-tech procedure, the individual stages of which may be time-consuming and require intraoperative fluoroscopic control. The widespread adoption of this technique is explained by the fact that its radiological and clinical outcomes are comparable to, and in some cases surpass, those of open procedures [1, 2, 3, 4].

However, the technical complexity of minimally invasive *hallux valgus* correction increases the time required for surgeons to master the technique and to apply it effectively [5]. To facilitate the procedure, new instruments are regularly introduced (patent RU 229923 U1) [6]. One of the most time-consuming stages of MICA is the insertion of guidewires for subsequent placement of fixation screws. In addition, this step requires multiple intraoperative X-rays, which results in increased radiation exposure for both the patient and the surgeon.

To facilitate this stage of the procedure and to reduce the negative impact of X-ray exposure on patients and operating room personnel by decreasing the duration of fluoroscopy, in 2024 we developed a guiding device. The design of this instrument allows the lateralization of the first metatarsal head after osteotomy and enables the insertion of a guidewire for the fixation screw in the desired direction (patent RU 281344 C1). The use of this guide device may help shorten the duration of a technically demanding stage of minimally invasive *hallux valgus* correction.

The aim of the study — to evaluate the impact of the original guide device on the operative time, fluoroscopy time, and radiation exposure during minimally invasive Chevron and Akin osteotomy of the first metatarsal bone.

METHODS

Study design

The study design was a non-randomized prospective comparative study.

The study included 42 women (42 feet) with *hallux valgus* who received treatment at the St. Petersburg Clinical Hospital of the Russian Academy of Science or the St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine.

Inclusion criteria: *hallux valgus* deformity of grade I, II, or III according to Lewis et al. (2021) [7], age over 18 and under 80 years.

Non-inclusion criteria: decompensated comorbidities or exacerbation of chronic diseases, oncological diseases, or ongoing steroid therapy.

Following preliminary examination, the patients were hospitalized for elective corrective osteotomy. Preoperatively, based on foot X-rays, the surgeon measured the intermetatarsal angle (IMA) and the *hallux valgus* angle (HVA) in all patients. In addition, pain severity was assessed using a visual analogue scale (VAS), and functional status was evaluated with an individual questionnaire based on the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scale.

During 2024, all patients underwent corrective forefoot surgery – minimally invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA). All procedures were performed by a single surgeon with more than 7 years of experience in this type of surgery. In half of the cases, the original guiding device for wire insertion was used, while in the other cases guidewires were placed using the freehand technique. Based on this technical difference, all patients were divided into two equal groups (21 feet per group), which were comparable in baseline characteristics. The overall characteristics of the patients are presented in Table 1.

Table 1

Baseline characteristics of patients in the study groups

Parameter	Guiding Device Group, n = 21	Freehand Group, n = 21	p	All patients, n = 42
Age, years, Me [Q ₁ ; Q ₃] (min-max)	51.00 [35.00; 57.50] (25.00-66.00)	45.00 [38.00; 55.50] (28.00-76.00)	0.930	46.00 [37.75; 56.50] (25.00-76.00)
HV grade, n (%):				
I	1 (5)	0	0.484	1 (2)
II	14 (67)	17 (81)		31 (74)
III	6 (28)	4 (19)		10 (24)
Foot, n (%):				
right	9 (43)	8 (38)	0.753	17 (40)
left	12 (57)	13 (62)		25 (60)
Preoperative IMA, °, Me [Q ₁ ; Q ₃] (min-max)	16.40 [15.10; 18.20] (13.40-21.30)	16.70 [15.70; 18.30] (14.80-19.70)	0.529	16.45 [15.65; 18.25] (13.40-21.30)
Preoperative HVA, °, Me [Q ₁ ; Q ₃] (min-max)	35.40 [26.90; 39.75] (15.20-57.50)	32.50 [29.95; 39.10] (26.50-46.10)	0.763	34.95 [28.55; 38.98] (15.20-57.50)

Surgical technique

All procedures were performed under regional anesthesia. With the patient in the supine position, the operative field was prepared with antiseptic solutions and draped in a sterile manner. A 3-4 mm skin incision was made down to the bone along the medial surface of the forefoot, at the level of the distal quarter of the first metatarsal shaft. Osteotomy was performed with a 2.2-2.9 mm burr approximately 2.0-2.5 cm proximal to the radiographic projection of the first metatarsophalangeal joint space. After osteotomy, the first metatarsal head was shifted laterally. Depending on the technique applied, the insertion of the first guidewire was carried out either with the aid of the original guiding device or by the freehand method under intraoperative fluoroscopic control. The design of the guiding device and the method of its application were described in our earlier work [8].

Once the first guidewire had been placed, a 2 mm skin incision was made at its point of exit to reduce soft tissue trauma. A 2.7 mm cannulated drill was then advanced over the guidewire to create a channel for a cannulated fixation screw. Using a cannulated screwdriver, a 3.5 mm screw was inserted to fix the fragments of the first metatarsal bone. The second guidewire was placed freehand, parallel to the previously inserted screw. Following insertion

of the second fixation screw using the same technique, both guidewires were removed.

The stability of the fixation of the first metatarsal fragments was verified clinically and radiographically. Excess bone tissue of the medial portion of the proximal fragment, and, if necessary, of the distal fragment of the first metatarsal bone was then resected with a burr. When indicated, correction of the first metatarsal axis was supplemented with Akin osteotomy of the proximal phalanx of the *hallux* and/or lateral release. These procedures were also performed minimally invasively. The Akin osteotomy was performed with a 2.2 mm burr and subsequently fixed with a 3.0 mm cannulated screw. The operation was completed by irrigating the wounds with antiseptic solutions and closing them after achieving hemostasis.

Assessment methods

Upon completion of operation, the following parameters were recorded: duration of the procedure, fluoroscopy time, and radiation exposure as determined by the fluoroscopy unit sensors. The following mobile fluoroscopy systems were used: Philips BV Pulsera C-arm (Philips Medical Systems Nederland B.V., Netherlands) and GE OEC Fluorostar C-arm (GE OEC Medical Systems GmbH, Germany). In addition, the performance of an Akin osteotomy

and lateral release during operation was noted separately. On postoperative X-rays, IMA and HVA were measured.

Postoperative period

In the postoperative period, pain severity was assessed using the VAS at 2, 4, and 8 weeks, as well as at 6 months and 1 year after operation. At 1 year following corrective osteotomy, patients also completed the AOFAS questionnaire again to assess functional status.

Statistical analysis

Data were systematized using Microsoft Excel (Microsoft, USA). Statistical analysis was performed with SPSS Statistics v.27.0.1 (IBM, USA). Quantitative variables were tested for normality using the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. In the case of normally distributed data, the mean (M) and standard deviation (SD) were reported as measures of central tendency. For comparative analysis, Welch's corrected Student's t-test for independent samples was used, since the Levene test indicated unequal variances between groups. Effect size was expressed as the mean difference with a 95% confidence interval (95% CI). For non-normally distributed variables, nonparametric statistical methods were applied. In this case, the median (Me), interquartile range [Q_1 ; Q_3], and minimum-maximum values (min-max) were reported as measures of central tendency. Comparative analysis was performed using the Mann-Whitney U test for independent samples and the Friedman

test for dependent samples. Post-hoc pairwise comparisons were adjusted using the Bonferroni correction to the significance level.

Qualitative variables were analyzed using contingency tables. To identify statistically significant differences in event frequencies, Pearson's chi-square test, Fisher's exact test, and the Fisher-Freeman-Halton exact test (for multiway contingency tables) were applied. All relative values are presented as percentages. For this study, the level of statistical significance was set at $\alpha = 0.05$.

RESULTS

Descriptive statistics and the results of comparative analysis of the studied parameters are presented in Table 2.

In the group of patients where the guiding device was not used, the duration of operation, fluoroscopy time, and radiation exposure were significantly higher (for all parameters $p < 0.001$). The mean fluoroscopy time in the group with the guiding device was 66.3 seconds shorter (95% CI 52.1-80.5 sec). The mean radiation dose was also 0.49 mGy lower (95% CI 0.39-0.58 mGy) in patients in whom the original device was used for guidewire placement.

No statistically significant differences were found between groups in the frequency of Akin osteotomy – 3 cases (14%) in the Guiding Device Group vs. 6 cases (29%) in the Freehand Group ($p = 0.454$) – or lateral release – 10 cases (48%) vs. 15 cases (71%), respectively ($p = 0.116$).

Table 2

Comparison of intraoperative parameters between the study groups

Parameter	Guiding Device Group, n = 21	Freehand Group, n = 21	p	All patients, n = 42
Operative time, min, Me [Q_1 ; Q_3] (min-max)	25.00 [25.00; 30.00] (20.00-35.00)	45.00 [40.00; 57.50] (35.00-60.00)	< 0.001	35.00 [25.00; 46.25] (20.00-60.00)
Fluoroscopy time, sec, M $\pm$ SD	45.7 $\pm$ 9.1	112.0 $\pm$ 30.1	< 0.001	78.8 $\pm$ 40.1
Radiation dose, mGy, M $\pm$ SD	0.30 $\pm$ 0.06	0.79 $\pm$ 0.20	< 0.001	0.54 $\pm$ 0.29

In the postoperative period, X-rays were used to assess the degree of correction of *hallux valgus* deformity by measuring IMA and HVA. No statistically significant intergroup differences were found for these parameters. The obtained values and results of comparative analysis are shown in Table 3.

Analysis demonstrated that both IMA and HVA were significantly reduced after surgery in each study group ($p < 0.001$ for both parameters).

The results of pain assessment at different follow-up periods, as well as functional out-

comes at 1 year after surgery, are presented in Table 4.

Statistical analysis of VAS scores over time showed that the reduction in pain intensity was significant in both groups ($p < 0.001$ for each group). Identical VAS values between groups were observed only at the 1-year follow-up. Interquartile range analysis indicated that at other postoperative time points, pain intensity was significantly lower in the Guiding Device Group, despite the fact that preoperatively these patients had higher VAS scores.

Table 3

Postoperative radiographic angle values,°

Parameter	Guiding Device Group, n = 21	Freehand Group, n = 21	p	All patients, n = 42
Postoperative IMA, Me [Q ₁ ; Q ₃] (min-max)	3.80 [2.65; 5.10] (1.90-6.20)	2.90 [2.45; 5.10] (1.90-9.70)	0.473	3.45 [2.50; 5.05] (1.90-9.70)
Postoperative HVA, Me [Q ₁ ; Q ₃] (min-max)	9.40 [7.60; 10.55] (3.20-16.80)	8.30 [5.95; 10.05] (2.50-18.30)	0.162	9.15 [6.30; 10.33] (2.50-18.30)

Table 4

Dynamics of pain intensity and functional status at 1-year follow-up, points, Me, [Q₁; Q₃], (min-max)

Scale		Guiding Device Group, n = 21	Freehand Group, n = 21	p	All patients, n = 42
VAS	Before surgery	7.00 [6.50; 8.00] (5.00-9.00)	7.00 [6.00; 8.00] (5.00-9.00)	0.015	6.00 [6.00; 7.00] (5.00-9.00)
	2 weeks	4.00 [3.50; 5.00] (2.00-5.00)	4.00 [4.00; 5.00] (2.00-9.00)	0.005	5.00 [4.00; 6.50] (3.00-9.00)
	4 weeks	3.00 [2.00; 3.00] (1.00-4.00)	3.00 [2.00; 4.00] (1.00-6.00)	0.040	3.00 [3.00; 5.00] (1.00-6.00)
	8 weeks	1.00 [0.50; 2.00] (0.00-2.00)	2.00 [1.00; 2.00] (0.00-5.00)	0.007	2.00 [1.00; 3.00] (0.00-5.00)
	6 months	0.00 [0.00; 1.00] (0.00-1.00)	1.00 [0.00; 1.00] (0.00-2.00)	0.038	1.00 [0.00; 1.50] (0.00-2.00)
	1 year	0.00 [0.00; 0.00] (0.00-1.00)	0.00 [0.00; 0.25] (0.00-2.00)	0.435	0.00 [0.00; 1.00] (0.00-2.00)
AOFAS	Before surgery	52.00 [34.00; 68.50] (29.00-80.00)	52.00 [42.00; 72.00] (29.00-80.00)	0.263	52.00 [42.00; 72.00] (29.00-75.00)
	1 year	95.00 [88.00; 97.50] (82.00-100.00)	95.00 [88.00; 95.00] (80.00-100.00)	0.855	95.00 [88.00; 95.00] (80.00-100.00)

$p < 0.05$ is shown in bold.

It is noteworthy that pairwise comparison of VAS scores at different time points revealed the most pronounced reduction in pain intensity between weeks 4 and 8 of follow-up in both groups. However, these changes did not reach statistical significance ($p = 0.158$ in the Guiding Device Group and $p = 0.314$ in the Freehand Group). Differences in functional outcomes assessed by the AOFAS scale before and after surgery were statistically significant ($p < 0.001$) in both groups.

No complications were recorded during the follow-up period.

DISCUSSION

During the preparation of this study, we noted the limited number of investigations addressing the impact of surgical technique and instrumentation on operative time and radiation exposure for both patient and surgeon. Therefore, our work not only aimed to evaluate the effectiveness of using the original guiding device during surgery, but also contributes additional data to the scarce body of evidence available.

The study groups were comparable in terms of the frequency of Akin osteotomy and lateral release ($p = 0.454$ and $p = 0.116$, respectively). This suggests that these two factors did not influence operative time, fluoroscopy time, or radiation exposure. However, it should be emphasized that patients who underwent operation without the guiding device spent significantly longer on the operating table ($p < 0.001$) compared with those in whom the device was used.

In our opinion, the reduction in operative time and radiation exposure achieved with the guiding device not only simplifies the work of experienced surgeons but also facilitates the training process for young orthopedic surgeons. According to A. Toepfer and M. Strässle, MICA, unlike open techniques, is characterized by a shallow learning curve. Based on their experience, the authors argue that a surgeon who has performed a sufficient number of open corrective procedures quickly reaches high efficiency in surgical technique. At the same time, progress in training is less evident in minimally invasive surgery. In their study, the authors also reported operative times for MICA and total radiation exposure. According to their data, the mean operative time was 46.8 min (SD 12.1; range

31.0-90.0 min), and the mean radiation dose was 0.82 mGy (SD 0.51; range 0.27-1.06 mGy). For experienced surgeons, the mean operative time was 35.1 min, and the mean radiation dose was 0.67 mGy [9]. Notably, both of these values are higher than those obtained in our study in the Guiding Device Group.

Comparable mean radiation dose values were reported in 2021 by R. Hromádka et al. in their study of 93 procedures in 76 patients. According to their findings, the mean radiation exposure was 0.58 mGy [10]. The authors did not provide data on the mean operative time.

The angular parameters assessed in our study, reflecting the degree of correction of *hallux valgus* deformity, did not differ substantially from those reported in the scientific literature. X. Geng et al., based on the results of minimally invasive *hallux valgus* correction in 36 patients, reported the following values: preoperative IMA and HVA were $14.0 \pm 3.2^\circ$ and $22.3 \pm 6.1^\circ$, respectively, while postoperative values were $3.7 \pm 1.0^\circ$ and $7.0 \pm 1.8^\circ$, respectively [6]. These results are comparable to those obtained in our study.

Many authors have presented early and midterm outcomes of *hallux valgus* correction [11, 12, 13, 14]. V.V. Balesar et al. tracked changes in angular values compared with baseline measurements. In 42 patients prior to surgery, the median IMA was 28° [$22-30^\circ$], and the HVA was 11° [$10-14^\circ$]. At 6 weeks, the corresponding values were 9° [$7-13^\circ$] and 5° [$4-7^\circ$]. After 1 year, both parameters increased slightly to 11° [$7-15^\circ$] and 6° [$4-8^\circ$], respectively [11].

Similar results were reported by T.L. Lewis et al. In their study of 50 minimally invasive *hallux valgus* corrections, the IMA at 12 months postoperatively was 7.9° , compared with a preoperative value of 32.7° , while the HVA was 4.2° , compared with a baseline of 14.0° [12].

In our study, the dynamics of IMA and HVA changes over time were not assessed; however, it may be noted that the degree of correction of *hallux valgus* deformity was satisfactory. Based on our own clinical experience and published data, an increase in angular values over time can be expected. Analysis of these parameters in long-term follow-up will be the subject of future studies.

Analysis of pain intensity dynamics is one of the specific indicators of patient satisfaction with the operation. International studies

report a decrease in mean VAS scores from 5.2 ± 2.4 preoperatively to 2.4 ± 1.9 one week postoperatively ($p < 0.001$; $n = 93$). At an average follow-up of 1 year, pain intensity further decreased to 1.6 ± 2.1 ($p < 0.001$; $n = 93$) [14].

Other surgeons report higher preoperative pain levels. In studies by G.A. Nunes et al. and K.A.M. de Carvalho et al., the mean preoperative VAS scores were 8.1 and 8.2 ± 1.5 , respectively. In both studies, pain decreased to 1.3 and 1.2 ± 2.2 at approximately 2 years after surgery [15, 16].

In our study, pre- and postoperative VAS values were comparable to those reported by the above authors. Comparison of scores showed that patients who underwent surgery with the original guiding device experienced statistically significantly lower postoperative pain at all follow-up time points, except at the final 1-year assessment. This may be explained by the fact that the use of the guiding device reduced intraoperative trauma to soft tissues and bone by minimizing failed attempts at guidewire placement.

A similar pattern was observed for functional outcomes. The dynamics of AOFAS score changes will be analyzed in our future studies; however, it should be noted that at 1 year there were no statistically significant differences between the study groups. Both preoperative and midterm postoperative values were largely consistent with those reported in the literature [15, 16, 17, 18]. In the study by G.F. Ferreira et al., mean AOFAS scores improved from 57.0 ± 8.6 preoperatively to 93.9 ± 8.7 at 2 years post-correction [17]. According to T.J. Holme et al., functional scores increased from 48 to 93 on the AOFAS scale [18].

Despite the absence of statistically significant differences in pain intensity and AOFAS scores at the final follow-up, we believe that lower postoperative pain contributes to faster rehabilitation and greater overall patient satisfaction with surgical treatment.

CONCLUSION

The use of the original guiding device during minimally invasive corrective osteotomies for *hallux valgus* allowed a reduction in operative time and radiation exposure for both the patient and the surgeon. Additionally, patients who underwent operation with this instrument experienced lower pain intensity during the first six months postoperatively.

DISCLAIMERS

Author contribution

Belen'kiy I.G. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Sergeev G.D. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, drafting and editing the manuscript.

Oleinik A.V. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation.

Sergeeva M.A. — literature search and review, drafting and editing the manuscript.

Maierov B.A. — 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 consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

REFERENCES

1. Bia A., Guerra-Pinto F., Pereira B.S., Corte-Real N., Oliva X.M. Percutaneous osteotomies in *hallux valgus*: a systematic review. *J Foot Ankle Surg.* 2018;57(1): 123-130. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.06.027>.
2. Kaufmann G., Dammerer D., Heyenbrock F., Braitto M., Moertlbauer L., Liebensteiner M. Minimally invasive versus open chevron osteotomy for *hallux valgus* correction: a randomized controlled trial. *Int Orthop.* 2019;43(2):343-350. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4006-8>.
3. Ji L., Wang K., Ding S., Sun C., Sun S., Zhang M. Minimally invasive vs. open surgery for *hallux valgus*: a meta-analysis. *Front Surg.* 2022;9:843410. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.843410>.
4. Toepfer A., Strässle M. 3rd generation MICA with the "K-wires-first technique" — a step-by-step instruction and preliminary results. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):66. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04972-5>.
5. Jowett C.R.J., Bedi H.S. Preliminary results and learning curve of the minimally invasive Chevron Akin operation for *hallux valgus*. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(3): 445-452. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.01.002>.

6. Geng X., Teng Z., Chen L., Zhang C., Huang J., Wang X. et al. A Joy-Stick Assistant Three-Dimensional Modified Technique of Minimally Invasive Surgery for Mild or Moderate *Hallux Valgus*. *Orthop Surg*. 2024;16(6): 1473-1479. <https://doi.org/10.1111/os.14056>.
7. Lewis T.L., Ray R., Miller G., Gordon D.J. Third-Generation Minimally Invasive Chevron and Akin Osteotomies (MICA) in *Hallux Valgus* Surgery: Two-Year Follow-up of 292 Cases. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103(13): 1203-1211. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.01178>.
8. Oleinik A.V., Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Kochish A.Yu., Razumova K.V., Binazarov A.E. et al. Original Guide for Minimally Invasive Distal Osteotomy of the First Metatarsal Bone in the Treatment of *Hallux Valgus*. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):65-72. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8427>.
9. Toepfer A., Strässle M. The percutaneous learning curve of 3rd generation minimally-invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA). *Foot Ankle Surg*. 2022;28(8): 1389-1398. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2022.07.006>.
10. Hromádka R., Klouda J., Popelka S., Bek J., Kodat L., Barták V. Minimally Invasive *Hallux Valgus* Surgery: First Experience. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2021;88(2):137-143. (In Czech).
11. Balesar V.V., Bruin L.L., van Liebergen M., Deenik A.R., Keizer S.B. MICA Procedure vs Open Chevron Osteotomy for *Hallux Valgus* Correction: A Prospective Cohort Study. *Foot Ankle Orthop*. 2024;9(1):24730114231224725. <https://doi.org/10.1177/24730114231224725>.
12. Lewis T.L., Lau B., Alkhalfan Y., Trowbridge S., Gordon D., Vernois J. et al. Fourth-Generation Minimally Invasive *Hallux Valgus* Surgery With Metaphyseal Extra-Articular Transverse and Akin Osteotomy (META): 12 Month Clinical and Radiologic Results. *Foot Ankle Int*. 2023;44(3):178-191. <https://doi.org/10.1177/10711007231152491>.
13. Neufeld S.K., Dean D., Hussaini S. Outcomes and Surgical Strategies of Minimally Invasive Chevron/Akin Procedures. *Foot Ankle Int*. 2021;42(6):676-688. <https://doi.org/10.1177/1071100720982967>.
14. Yousaf A., Saleem J., Al-Hilfi L., Kunasingam K. Third-Generation Minimally Invasive Chevron Akin Osteotomy for *Hallux Valgus*: Three-Year Outcomes. *Indian J Orthop*. 2023;57(7):1-7. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00917-3>.
15. Nunes G.A., de Carvalho K.A.M., Ferreira G.F., Filho M.V.P., Baptista A.D., Zambelli R. et al. Minimally invasive Chevron Akin (MICA) osteotomy for severe *hallux valgus*. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(9): 5507-5514. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04849-3>.
16. de Carvalho K.A.M., Baptista A.D., de Cesar Netto C., Johnson A.H., Dalmau-Pastor M. Minimally Invasive Chevron-Akin for Correction of Moderate and Severe *Hallux Valgus* Deformities: Clinical and Radiologic Outcomes With a Minimum 2-Year Follow-up. *Foot Ankle Int*. 2022;43(10):1317-1330. <https://doi.org/10.1177/10711007221114123>.
17. Ferreira G.F., Nunes G.A., Pugliese G.M., Dinato M.C.M.E., Lewis T.L., Sato G. et al. Minimally invasive Chevron-Akin (MICA) osteotomies without Akin fixation in *hallux valgus* correction: a case series with 2-year follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2024;34(5):2339-2345. <https://doi.org/10.1007/s00590-024-03924-8>.
18. Holme T.J., Sivaloganathan S.S., Patel B., Kunasingam K. Third-Generation Minimally Invasive Chevron Akin Osteotomy for *Hallux Valgus*. *Foot Ankle Int*. 2020; 41(1):50-56. <https://doi.org/10.1177/1071100719874360>.

Authors' information

✉ Igor' G. Belen'kiy — Dr. Sci. (Med.), Professor
Address: 3, Budapeshtskaya st., St. Petersburg, 192242,
Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>

e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

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

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

e-mail: gdsergeev@gmail.com

Aleksei V. Oleinik

<https://orcid.org/0000-0003-2748-0588>

e-mail: oleynik77@gmail.com

Mariya A. Sergeeva

<https://orcid.org/0009-0003-3255-1771>

e-mail: masharik1990@mail.ru

Boris A. Maivorov — Cand. Sci. (Med.)

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

e-mail: bmayorov@mail.ru

Classification of Midfoot Deformities in Charcot Neuroarthropathy

Stanislav A. Osnach¹, Victor G. Protsko², Vladimir N. Obolenskiy³, Vadim B. Bregovsky⁴, Elena Yu. Komelyagina⁵, Anna B. Dalmatova⁶, Nuria I. Sabantchieva⁵, Anastasia G. Demina⁴, Sargon K. Tamoev¹, Dmitrii S. Bobrov⁷, Vasilii V. Kuznetsov¹, Anastasiya L. Rybinskaya¹, Nikolay V. Zagorodniy²

¹ Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

³ Branch No 1 Demikhov City Clinical Hospital, Moscow, Russia

⁴ City Consultative and Diagnostic Center No1, Regional Center of Endocrinology, St. Petersburg, Russia

⁵ Diabetic Foot Department, Endocrinological Dispensary, Moscow, Russia

⁶ Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

⁷ Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Abstract

Background. Midfoot pathology accounts for 60-70% of all deformities in diabetic Charcot neuroarthropathy. However, the available classifications of this pathology are few and have certain disadvantages.

The aim of the study – to analyze X-rays of patients to investigate the displacement patterns of the midfoot bone and joint structures in Charcot neuroarthropathy, and, based on the identified displacement trends, to develop an anatomical and radiological classification of midfoot deformities.

Methods. A retrospective analysis was performed on the foot X-rays of 416 patients (436 feet) with midfoot pathology in Charcot neuroarthropathy. Of these, 233 X-rays were provided by inpatient hospitals, and 203 – on an outpatient basis. Only X-rays taken in anteroposterior and lateral views were included in the analysis. We assessed the alignment of bones within the foot joints, the extent of destruction, and the direction of the displacement of bony structures.

Results. The following types of lesions are identified. 1A – involvement of the navicular bone and talar head with the preservation of the lateral column anatomy. 1B – simultaneous involvement of the talonavicular and calcaneocuboid joints. 1C – subluxation or dislocation at the talonavicular joint with transition to the lateral parts of the tarsometatarsal joint with plantar dislocation of the cuboid bone and preservation of anatomical integrity in the calcaneocuboid joint. 1D – complete displacement of the navicular bone with the dislocation at the talonavicular, naviculocuneiform and tarsometatarsal joints. 2 – deformation (subluxation, dislocation, fracture-dislocation) of the naviculocuneiform joint, with involvement of the lateral column at the metatarsocuboid joint and flattening of the medial column. 3 – isolated involvement of the Lisfranc joint. 4A – isolated involvement (subluxation or dislocation) of the first cuneometatarsal joint without visible deformity in the affected area. 4B – dislocation at the medial naviculocuneiform and medial cuneometatarsal joints with the displacement of the medial cuneiform bone relative to the other foot bones. 5 – varus deformity of the foot with fractures of the metatarsal bones.

Conclusion. A new classification of Charcot midfoot lesions is intended to guide the selection of key reconstructive surgical interventions for this pathology.

Keywords: neuroarthropathy; Charcot foot; diabetic foot; midfoot; deformity; classification.

Cite as: Osnach S.A., Protsko V.G., Obolenskiy V.N., Bregovsky V.B., Komelyagina E.Yu., Dalmatova A.B., Sabantchieva N.I., Demina A.G., Tamoev S.K., Bobrov D.S., Kuznetsov V.V., Rybinskaya A.L., Zagorodniy N.V. Classification of Midfoot Deformities in Charcot Neuroarthropathy. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):70-83. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17689>.

✉ Stanislav A. Osnach; e-mail: stas-osnach@yandex.ru

Submitted: 09.03.2025. Accepted: 13.07.2025. Published online: 18.07.2025.

© Osnach S.A., Protsko V.G., Obolenskiy V.N., Bregovsky V.B., Komelyagina E.Yu., Dalmatova A.B., Sabantchieva N.I., Demina A.G., Tamoev S.K., Bobrov D.S., Kuznetsov V.V., Rybinskaya A.L., Zagorodniy N.V., 2025

Классификация деформаций среднего отдела стопы при остеоартропатии Шарко

С.А. Оснач¹, В.Г. Процко², В.Н. Оболенский³, В.Б. Бреговский⁴, Е.Ю. Комелягина⁵,
А.Б. Далматова⁶, Н.И. Сабанчиева⁵, А.Г. Демина⁴, С.К. Тамоев¹, Д.С. Бобров⁷,
В.В. Кузнецов¹, А.Л. Рыбинская¹, Н.В. Загородний²

¹ ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.С. Юдина ДЗМ», г. Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Россия

³ Филиал № 1 ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В.П. Демикова ДЗМ», г. Москва, Россия

⁴ ГБУЗ «Городской консультативно-диагностический центр № 1», Региональный эндокринологический центр, г. Санкт-Петербург, Россия

⁵ ГБУЗ «Эндокринологический диспансер ДЗМ», г. Москва, Россия

⁶ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

⁷ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Поражения среднего отдела стопы составляют 60–70% от всех деформаций при диабетической нейроостеоартропатии Шарко, однако имеющиеся классификации этой патологии немногочисленны и имеют недостатки.

Цель исследования — на основании анализа рентгенограмм изучить характер смещения костно-суставного аппарата среднего отдела стопы при остеоартропатии Шарко и с учетом закономерностей смещения разработать анатомо-рентгенологическую классификацию деформаций среднего отдела стопы.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ рентгенограмм 416 пациентов (436 стоп) с патологией среднего отдела как проявлением нейроостеоартропатии Шарко. Из них 233 рентгенограммы были выполнены в стационарах, а 203 — амбулаторно. Для анализа отбирались рентгенограммы в прямой и боковой проекциях. Оценивали соотношение в суставах стопы, объем деструкций, направление смещения костей.

Результаты. Выделены следующие варианты поражения. 1А — поражение ладьевидной кости и головки таранной кости с сохранением анатомии латеральной колонны. 1Б — одновременное поражение таранно-ладьевидного и пяточно-кубовидного суставов. 1В — подвывих или вывих в таранно-ладьевидном суставе с переходом на латеральные отделы предплюсне-плюсневых суставов с дислокацией кубовидной кости плантарно и сохранением анатомической целостности в пяточно-кубовидном суставе. 1Г — тотальное смещение ладьевидной кости с вывихом в таранно-ладьевидном, ладьевидно-клиновидных и предплюсне-плюсневых суставах. 2 — деформация (подвывих, вывих, переломо-вывих) на уровне ладьевидно-клиновидного сустава с поражением латеральной колонны в кубовидно-плюсневом суставе и уплощением медиальной колонны. 3 — изолированное поражение сустава Лисфранка. 4А — изолированное поражение (подвывих или вывих) первого плюсне-клиновидного сустава при отсутствии видимой деформации в зоне поражения. 4Б — вывих в медиальном ладьевидно-клиновидном и медиальном плюсне-клиновидном суставе со смещением медиальной клиновидной кости относительно остальных костей стопы. 5 — варусная деформация стопы с переломом плюсневых костей.

Заключение. Новая классификация поражений среднего отдела предназначена для определения ключевых направлений реконструктивных оперативных вмешательств при данной патологии.

Ключевые слова: нейроостеоартропатия; стопа Шарко; диабетическая стопа; средний отдел; деформация; классификация.

 **Для цитирования:** Оснач С.А., Процко В.Г., Оболенский В.Н., Бреговский В.Б., Комелягина Е.Ю., Далматова А.Б., Сабанчиева Н.И., Демина А.Г., Тамоев С.К., Бобров Д.С., Кузнецов В.В., Рыбинская А.Л., Загородний Н.В. Классификация деформаций среднего отдела стопы при остеоартропатии Шарко. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):70-83. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17689>.

 **Оснач Станислав Александрович;** e-mail: stas-osnach@yandex.ru

Рукопись получена: 09.03.2025. Рукопись одобрена: 13.07.2025. Статья опубликована онлайн: 18.07.2025.

© Оснач С.А., Процко В.Г., Оболенский В.Н., Бреговский В.Б., Комелягина Е.Ю., Далматова А.Б., Сабанчиева Н.И., Демина А.Г., Тамоев С.К., Бобров Д.С., Кузнецов В.В., Рыбинская А.Л., Загородний Н.В., 2025

INTRODUCTION

Diabetes mellitus is one of the most widespread non-infectious diseases, with an annual growth rate that has reached epidemic proportions. According to the International Diabetes Federation (IDF), as of 2021, 537 million people worldwide were diagnosed with *diabetes mellitus*, and this number is projected to increase to 783.2 million by 2045 [1]. Along with the rising prevalence of diabetes, the number of its complications is also increasing, affecting various organs and systems. One such complication is Charcot neuroarthropathy (CN), also known as Charcot foot. Its prevalence ranges from 0.56% in primary care facilities to 10-12% in specialized medical centers [2]. CN is a non-infectious arthropathy that affects the bones and joints of the foot and ankle, leading to destruction and disturbance of the bone and joint architecture of the foot [3].

The most common localization of CN is the midfoot, which is affected in 50-70% of cases. Among these, the involvement of the tarso-metatarsal joints accounts for approximately 40%, while damage to the naviculocuneiform, talonavicular, and calcaneocuboid joints occurs in 30% of cases. Furthermore, it has been noted that plantar ulceration most often develops in conjunction with midfoot deformities [4, 5, 6, 7].

As CN progresses and axial loading on the foot continues, significant deformities can develop, potentially compromising the weight-bearing function of the limb. Conservative treatment, which includes offloading and immobilization of the affected extremity, does not always succeed in halting further progression of the deformity. In addition, according to the latest systematic review, CN is diagnosed late in 53.2% of cases, with an average diagnostic delay of 86.9 days. As a result, patients often seek medical care at a stage when severe deformities have already developed, rendering conservative management ineffective and substantially increasing the risk of ulceration and limb amputation [5, 8, 9]. It is evident that the treatment strategy should be primarily guided by the nature of the foot deformities. This highlights the need for a practically oriented classification of midfoot lesions in Charcot neuroarthropathy.

The development of CN classifications began abroad in 1966, and to date, there are nine

systems, thoroughly reviewed by V.B. Bregovskiy et al. [10]. Most of these classifications stratify the types of deformities and bone destruction in one way or another, but they are not directly linked to surgical management strategies. Only two of them associate certain types of lesions with an overall poor prognosis for the limb, both in general and after foot reconstruction surgery: types 3 and 4 in the classification by L.J. Sanders and R.G. Frykberg, and lesions of the talocalcaneal joint and varus foot deformities in the classification by M. Pinzur and A. Schiff [4, 11].

In Russian-language literature, two research groups have addressed the issue of CN classification. In the work by V.N. Obolensky et al., a combined approach was proposed for assessing the condition of the foot. It included the Sanders and Frykberg classification of CN, the Eichenholtz radiographic staging, Wagner's ulcer classification, and a typology of foot deformities (valgus, varus, equinus, and rocker-bottom deformities) [12, 13]. Based on this system, the authors developed a rationale for the surgical treatment of CN complicated by septic and necrotic processes. However, a disadvantage of this classification is its complexity, as well as the fact that the possible deformities of the midfoot are not limited to the variants presented. These deformities are often more complex and multiplanar in nature.

The second Russian classification of foot deformities in diabetic foot syndrome was published by M.V. Parshikov et al. [14]. They proposed that within a comprehensive classification of secondary deformities, hindfoot and midfoot lesions in CN should be considered separately. According to their concept, hindfoot pathology is divided into three degrees based on the angle of calcaneal tuberosity deviation, while midfoot pathology is also categorized into three degrees depending on the presence of a prominent bone fragment or the formation of a rocker-bottom deformity. Like previous international classifications, this classification is descriptive and does not provide a framework for tailoring orthopedic reconstruction procedures to individual patients.

Our analysis of the literature has revealed several common disadvantages across existing classifications. First, there is a biased sampling (patients of septic and orthopedic departments).

It is evident that patients admitted to hospitals usually have more severe deformities, which are the logical progression of milder deformities observed in outpatient settings. Studying outpatient cases would allow for a broader understanding of the full spectrum of pathology and help trace the progression patterns of deformities — factors that could be critical in choosing appropriate orthopedic fixation methods and surgical strategies. Second, the number of examined patients or X-rays in these studies is often small. Combined with biased sampling, this limitation leads to the underestimation of the incidence of various deformity types and increases the likelihood of overlooking rare variants. Third, none of the existing classifications consider the mechanisms behind the development of specific foot deformities, such as the role of external forces or the actions of muscles and tendons in shaping deformity patterns. Finally, all published classifications are primarily descriptive and not integrated with treatment decision-making in orthopedic surgery.

The aim of the study — to analyze X-rays of patients to investigate the displacement patterns of the midfoot bone and joint structures in Charcot neuroarthropathy, and, based on the identified displacement trends, to develop an anatomical and radiological classification of midfoot deformities.

METHODS

Study design

Study design: multicenter retrospective.

A retrospective analysis was performed on the foot X-rays of patients with diabetic CN affecting the midfoot (or both feet in cases of bilateral arthropathy).

Patients who had previously undergone minor amputations or reconstructive procedures on the foot bones were not included in the study, as such interventions alter the biomechanics of the foot and affect the pattern of deformity progression.

Since the study focused solely on radiographic findings, the evaluation of the initial X-rays did not take into account patient characteristics such as diabetes type and duration, sex, age, or the state of arterial blood flow. Likewise, the integrity of the skin, the presence of ulcerative lesions, or deep infection associated with previously developed deformities were not considered.

Only X-rays taken in anteroposterior and lateral views were included in the analysis. Weight-bearing X-rays were excluded, as although they may demonstrate deformity under load and highlight pressure points, they do not provide additional information regarding the positioning of already dislocated bones. We assessed the alignment of bones within the foot joints, the extent of destruction, and the direction of the displacement of bony structures. The analysis of deformities was carried out with consideration of the functional anatomy of the foot and the displacement vectors of bony elements during unprotected roll-over under the influence of muscular and ligamentous forces [15].

A total of 233 X-rays were provided by inpatient hospitals: the Foot and Diabetic Foot Surgery Center of City Clinical Hospital named after S.S. Yudin (Moscow), the Purulent Surgery Center of Branch No. 1 of City Clinical Hospital named after V.P. Demikhov (Moscow), and the Almazov Centre (St. Petersburg). An additional 203 X-rays were selected from outpatient Diabetic Foot clinics at the Regional Endocrinology Center (St. Petersburg) and the Endocrinology Dispensary of the Moscow Department of Health. Thus, a total of 436 X-rays from 416 patients were included in the analysis.

RESULTS

Based on the analysis of X-rays, nine primary types of typical midfoot bone displacements were identified, which in many aspects differ from those described in existing classification systems. The variants were numbered from 1 to 5, proceeding from the hindfoot toward the forefoot. In addition to the main numbering, two variants (1 and 4) were subdivided into subtypes based on the specific features of involvement within the same type. The displacement characteristics for each variant are described below.

Variant 1. Deformity (subluxation, dislocation, or fracture-dislocation) of the Chopart joint. This variant includes subtypes:

Variant 1A. Involvement of the navicular bone and talar head with the preservation of the lateral column anatomy. Typical features of this subtype include:

- defect of the talar head and/or navicular bone;

- preservation of an intact lateral column;
- no visually significant foot deformity.

Variant 1B. Simultaneous involvement of the talonavicular and calcaneocuboid joints (dorsal dislocation or subluxation of the navicular and cuboid bones). Typical features of this subtype include:

- dorsal displacement of the midfoot bones (navicular and cuboid) relative to the hindfoot bones (talus and calcaneus);
- preservation of an intact tarsometatarsal (Lisfranc) joint;
- equinus positioning of the talus and calcaneus bones without disruption of the subtalar joint alignment.

Variant 1C. Simultaneous involvement of the talonavicular and tarsometatarsal joints (dorsal dislocation or subluxation of the navicular and cuboid bones). This subtype is characterized by:

- dorsal displacement of the navicular bone along with the midfoot and forefoot bones;
- plantar dislocation of the cuboid bone at the cuboid-metatarsal joint;
- equinus positioning of the hindfoot (talus, calcaneus, and cuboid bones).

Variant 1D. Total displacement of the navicular bone with dislocation at the talonavicular and naviculocuneiform joints. This subtype is characterized by:

- plantar and/or medial dislocation of the navicular bone;
- dorsal dislocation of the medial cuneiform bone;
- dorsolateral displacement of the metatarsal bones;
- plantar displacement of the cuboid bone at the cuboid-metatarsal joint;
- dislocation of the intermediate and lateral cuneiform bones either in plantar direction together with the cuboid bone or dorsally along with the metatarsals;
- supinated positioning of the metatarsal bones;
- equinus positioning of the hindfoot.

Variant 2. Deformity (subluxation, dislocation, or fracture-dislocation) of the naviculocuneiform joint, possibly involving the lateral column at the cuboid-metatarsal joint, with progressive deformity and flattening of the medial column. This subtype is characterized by:

- destruction within the naviculocuneiform joint with preserved anatomical alignment of the Chopart joint;

- possible involvement of the lateral column at the tarsometatarsal joint;
- equinus positioning of the hindfoot.

Variant 3. Deformity (subluxation, dislocation, or fracture-dislocation) of the Lisfranc joint. This subtype is characterized by:

- subluxation of the metatarsal bones in the Lisfranc joint with valgus positioning and abduction;
- prolapse of the foot with plantar displacement;
- possible destructive changes in the Lisfranc joint;

- development or worsening of pre-existing valgus foot deformity;

- depending on the severity of destruction, possible plantar dislocation of the cuboid bone in the cuboid-metatarsal joint.

Variant 4. Isolated deformity (subluxation, dislocation, or fracture-dislocation) of the medial column involving the medial cuneometatarsal joint. This variant includes two subtypes.

Variant 4A. Isolated involvement (subluxation or dislocation) of the first cuneometatarsal joint without visible deformity in the affected area. This subtype is typically characterized by the elevation of the head of the first metatarsal bone.

Variant 4B. Dislocation of both the medial naviculocuneiform and medial cuneometatarsal joints with the displacement of the medial cuneiform relative to the other foot bones, potentially accompanied by ulceration in the area of the dislocated bone.

Variant 5. Varus deformity of the foot with fractures of the metatarsal bases and possible impaction of bones in the medial column. This variant is characterized by the following features:

- initial pes cavovarus deformity, which under conditions of neuropathic arthropathy may lead to fractures of the metatarsal bases at peak load zones, further aggravating forefoot adduction and supination, with eventual involvement of medial column bone destruction at later stages;
- development of ulcerative defects along the lateral edge of the plantar surface of the foot.

The variants of deformities and their frequency in inpatient and outpatient facilities are presented in Table 1.

A schematic representation of the deformity variants is shown in Figure 1. The variants are presented in the anteroposterior view only, for better visualization of the lesions.

Considering the specific characteristics of midfoot involvement in CN and correlating them with radiographic findings, we developed a differentiated approach to surgical management. In determining the indications for surgery, we did not rely on angular measurements associated with various types of deformities and displacements. Instead, we were guided by the Eichenholtz classification stage, the presence or absence of ulcerative defects and infectious complications, the assessment of deformity stability and its potential for progression, as well as patient complaints of limping and pain.

Given the preserved anatomical relationships in the joints of the lateral column, in variant 1A we performed restoration of the medial column length with bone grafting to reconstruct bony defects. In patients with lesions corresponding to variant 1B, we performed Chopart joint arthrodesis. In variant 1C, arthrodesis of the talonavicular and tarso-metatarsal joints was carried out. In variant 1D, arthrodesis of the talonavicular, naviculocuneiform, and lateral tarsometatarsal joints was performed. In variant 2, arthrodesis of the naviculocuneiform joint was carried out. In cases of dorsal dislocation of the 4th and 5th metatarsal bones, lateral tarsometatarsal arthrodesis was performed. Patients with variant 3 deformity underwent arthrodesis of the Lisfranc joint. In cases of isolated involvement of the first cuneometatarsal joint (variant 4A), arthrodesis of the first medial cuneometatarsal joint was performed. In patients with bone damage corresponding to variant 4B, arthrodesis of both the naviculocuneiform and the first medial cuneometatarsal joints was carried out.

Table 1

Share of each deformity variant among all examined patients

Deformity variant	Type of displacement	Inpatient, n (%)	Outpatient, n (%)	Total, n (%)
1A	Involvement of the navicular bone and talar head with the preservation of the lateral column anatomy	27 (6.10)	41 (9.50)	68 (15.60)
1B	Simultaneous involvement of the talonavicular and calcaneocuboid joints	1 (0.23)	0	1 (0.23)
1C	Simultaneous involvement of the talonavicular and cuboid-metatarsal joints	5 (1.15)	0	5 (1.15)
1D	Complete displacement of the navicular bone with the dislocation of the talonavicular and naviculocuneiform joints	93 (21.34)	59 (13.56)	152 (34.86)
2	Deformity (subluxation, dislocation, fracture-dislocation) of the naviculocuneiform joint with possible involvement of the lateral column in the metatarsocuboid joint	14 (3.21)	15 (3.44)	29 (6.65)
3	Deformity (subluxation, dislocation, fracture-dislocation) of the Lisfranc joint	75 (17.20)	32 (7.30)	107 (24.54)
4A	Isolated involvement (subluxation or dislocation) of the first cuneometatarsal joint	6 (1.40)	28 (6.40)	34 (7.80)
4B	Dislocation of the medial naviculocuneiform and medial cuneometatarsal joints with the displacement of the medial cuneiform bone	7 (1.60)	8 (1.80)	15 (3.44)
5	Varus deformity of the foot with fractures of the metatarsal bases and possible crushing of the medial column bones	5 (1.10)	20 (4.60)	25 (5.73)
Total		233 (53.40)	203 (46.60)	436 (100.00)

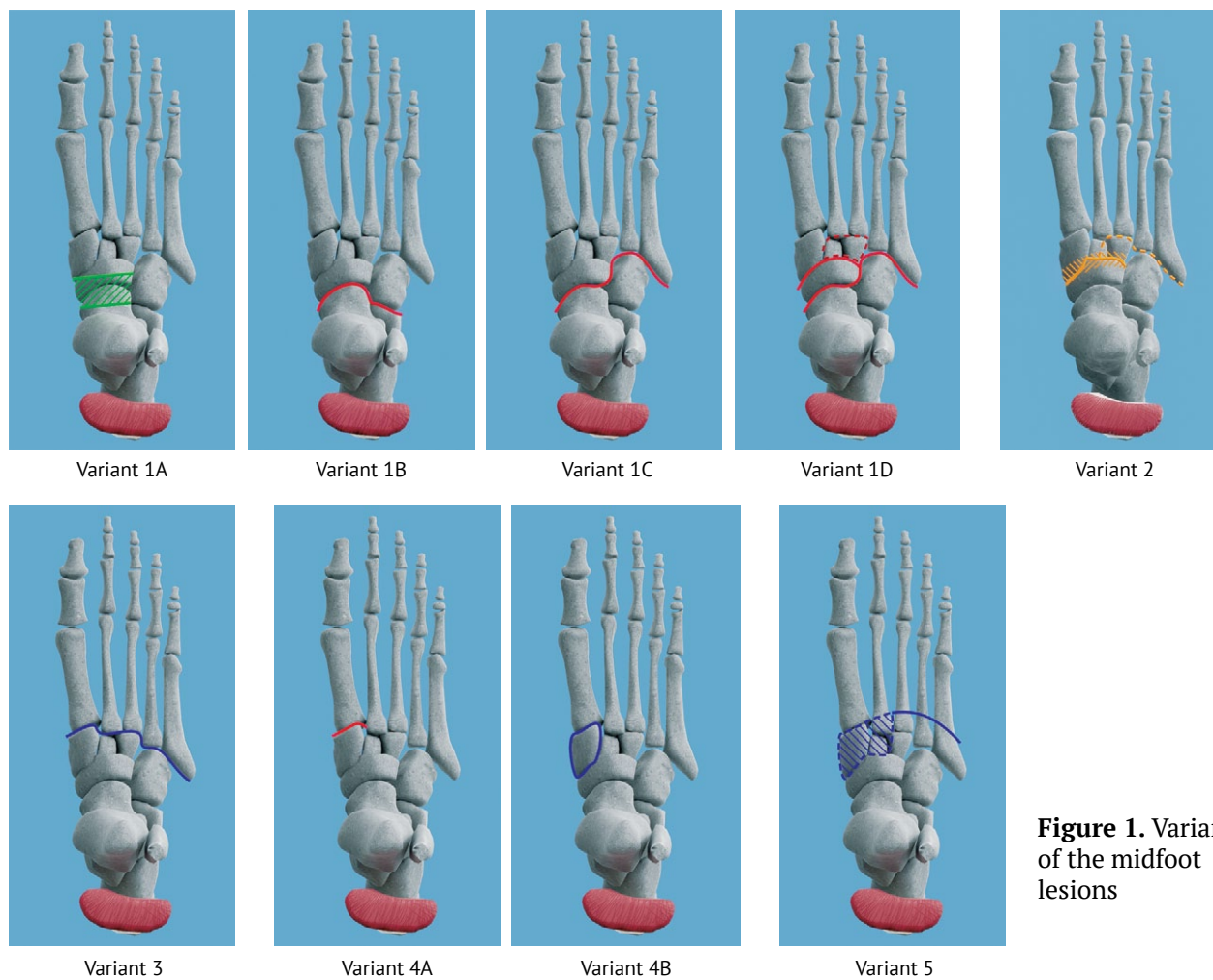


Figure 1. Variants of the midfoot lesions

The deformity variants are illustrated in X-rays (Figure 2).

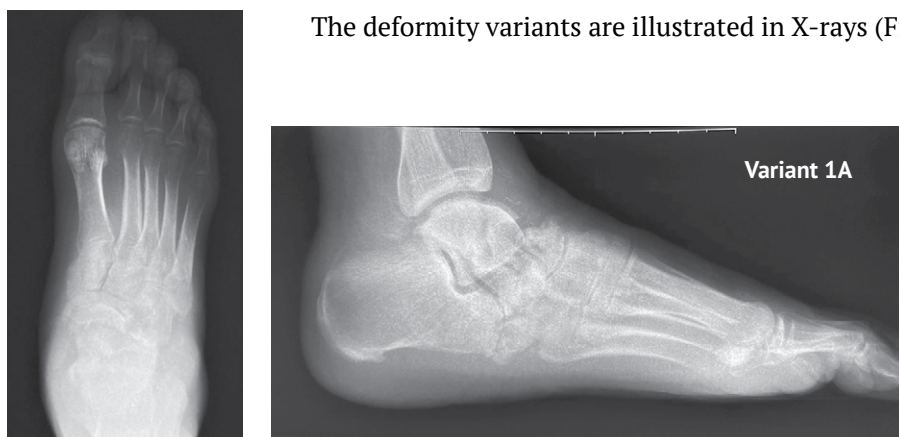
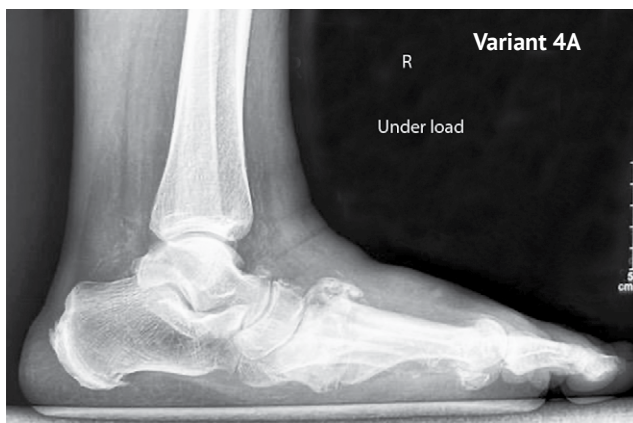


Figure 2. Deformity variants





Variant 4B



In patients with varus foot deformity corresponding to variant 5 of our classification, simultaneous arthrodesis was combined with a medial column-closing wedge osteotomy to achieve deformity correction by bringing the arthrodesed surfaces into alignment.

DISCUSSION

The previously proposed radiographic classifications of midfoot deformities in CN can be conditionally divided into two groups. The first group includes early studies from the 1960s to the 1980s, a period when the incidence of CN increased, and, as a poorly understood complication of various diseases, it attracted the attention of specialists. Therefore, the publications from that period were primarily descriptive in nature. They mainly addressed three questions: what types of lesions are encountered, how frequently they occur, and, to some extent, what mechanisms might contribute to the development of specific deformities. Given that CN is a relatively rare condition, it is evident that the sample sizes in these studies were small, and some of them more closely resembled case reports. For example, in the study by J. Harris and P. Brand, 147 patients were evaluated without subdivision by foot region [16]. R. Cofield et al. reported on 38 patients, of whom 18 had involvement of the Chopart joint and 20 had medial column involvement [17]. The study by G. Sammarco and S. Conti analyzed X-rays of 26 patients [18]. The issue of limited sample representativeness was highly relevant at this stage; even in the comprehensive study by L. Schon et al., 109 patients were included, of whom only 89 had *diabetes mellitus* [19]. Furthermore, in another article by L. Schon et al., to illustrate the pattern 4 deformity, X-rays of a patient with peritalar dislocation were shown – this corresponds to hindfoot involvement and is not associated with destructive changes in the calcaneocuboid joint [20]. The studies of the first group reflected the accumulation and systematization of knowledge and were conducted by clinicians, mainly surgeons. A kind of culmination of this period is the classification proposed by L. Sanders and R. Frykberg, in which five types of CN lesions were identified for the first time [21]. Notably, this classification was also the first to suggest different prognoses depending on the type of lesion, marking a

shift from descriptive classifications to clinical, radiological, and outcome-oriented systems [12, 22].

Unlike previously published studies, the aim of our research was to systematize the radiographic patterns in such a way that the identified variants would enable a differentiated surgical approach to treatment. In addition, we focused on the most common and limb-threatening type of lesion – midfoot involvement. To achieve this goal, it was necessary to analyze a significantly larger number of X-rays than in previously published works; therefore, we designed the study as a multicenter investigation. Both outpatient and inpatient facilities participated in our study, which allowed us to broaden the scope of the pathology and to identify less common variants. Furthermore, during the study planning phase, we hypothesized that lesion patterns in outpatient and hospital settings might differ. This assumption was only partially confirmed: deformities of types 4A and 5 were somewhat more common in outpatient practice, while types 1D and 3 were more frequently encountered in inpatients. For the remaining variants, we found no significant differences.

Arguably the most detailed classification of midfoot lesions is the system proposed by L. Schon et al. [19]. The 24 variants identified by the authors reflect, on the one hand, the diversity of patterns of bone destruction and displacement. On the other hand, in our study we identified several variants not described in the aforementioned publication, which is most likely due to the limited sample size in the study by L. Schon et al. Moreover, in our view, this level of detail poses a challenge for practical clinical use.

The classification we propose is based on a comparison of the radiographic findings at the time of the patient's initial presentation with the known patterns of bone displacement resulting from muscle and tendon pull as well as external loading during walking [15]. The key patterns we considered in developing our classification are outlined below.

The lateral column of the foot includes the tarsometatarsal and calcaneocuboid joints. The calcaneocuboid joint, formed by the calcaneus and the cuboid bone, has a saddle-shaped configuration and is stabilized by the dorsal calcaneocuboid ligament, a relatively thin band located on the lateral side, and the stronger

plantar calcaneocuboid ligament, which consists of two distinct layers.

The metatarsocuboid joint is formed by the flat articular surfaces of the cuboid bone and the bases of the fourth and fifth metatarsal bones. Its ligamentous support is relatively limited and consists of plantar and dorsal tarsometatarsal ligaments. Additionally, the metatarsal bones are interconnected by dorsal and plantar intermetatarsal ligaments. The tendon of the peroneus brevis muscle attaches to the styloid process of the base of the fifth metatarsal and the base of the fourth metatarsal, while the tendon of the peroneus tertius muscle inserts into the proximal metadiaphysis of the fifth metatarsal bone.

In our analysis of X-rays, a higher incidence of dislocation was observed in the tarsometatarsal joint (87.4%) compared to the calcaneocuboid joint (12.6%). This is likely due to the robust ligamentous support stabilizing the calcaneocuboid joint, which resists displacement. The presence of the anterior process of the calcaneus also limits superior displacement of the cuboid relative to the calcaneus. These findings can be explained by the relatively underdeveloped ligamentous apparatus of the tarsometatarsal joint compared to the calcaneocuboid joint, as well as the pull of the peroneus brevis and peroneus tertius muscles, and the presence of obliquely oriented articular surfaces between the cuboid and the fifth metatarsal bones. Additionally, the lateral cuneiform is situated slightly more anteriorly and dorsally relative to the cuboid, which exerts axial pressure on the cuboid during weight-bearing and further promotes plantar displacement of the metatarsocuboid joint. Simultaneously, the continued pull of the Achilles tendon induces an equinus position of the calcaneus, talus, and cuboid complex, thereby increasing stress on the ligamentous structures of the tarsometatarsal joint and further driving the cuboid bone in a plantar direction.

The anatomy of the medial column is more complex due to the presence of multiple structures and includes the talonavicular, naviculocuneiform, and cuneometatarsal joints.

The talonavicular joint is formed by the head of the talus and the concave articular surface of the navicular bone. It is stabilized by the dorsal

talonavicular ligament, which normally prevents plantar and medial displacement of the navicular bone, as well as by the calcaneonavicular ligament. On the plantar surface, the tendon of the posterior tibial muscle attaches to the navicular tuberosity and has additional insertions on all three cuneiform bones and the base of the fourth metatarsal.

The naviculocuneiform joint is flat in shape and formed by the navicular and cuneiform bones. It is stabilized by plantar and dorsal naviculocuneiform and intercuneiform ligaments. On the plantar surface of the medial cuneiform, the tendon of the anterior tibial muscle inserts.

The cuneometatarsal joints consist of three separate articulations formed by the articular surfaces of the bases of the first, second, and third metatarsal bones and the medial, intermediate, and lateral cuneiform bones, respectively. The arrangement of the cuneiform bones creates a recess or mortise-like socket for the base of the second metatarsal. Each of these joints is reinforced dorsally and plantarly by ligaments extending from the base of the metatarsal to the corresponding cuneiform bone. In addition, the joints are stabilized by a robust ligamentous complex: medially, by a strong ligament, considered the key stabilizer of the Lisfranc joint complex, extending from the lateral surface of the medial cuneiform to the base of the second metatarsal; and laterally, by cruciate-shaped ligaments connecting the base of the second metatarsal to the lateral cuneiform and the base of the third metatarsal to the intermediate cuneiform.

The involvement of the talonavicular joint results in the medial and plantar displacement of the navicular bone due to the pull of the posterior tibial tendon, despite the tendon's multiple insertion points. The degree of navicular displacement may range from a slight subluxation to a complete dislocation and can be accompanied by fracture. This variability is likely related to inherent differences in foot morphology and biomechanics. The pull of the anterior tibial tendon causes the posterior displacement of the forefoot and midfoot, with the cuneiform bones overriding the displaced navicular. Considering that patients often have markedly reduced sensation, continued axial

loading in the presence of fracture-dislocations combined with preserved rocking movements in the affected joint contributes to the erosion of the proximal edges of the cuneiform bones, leading to the formation of bony defects of varying size.

Lisfranc joint lesions cause changes similar to those observed in talonavicular joint involvement. Due to the pull of the posterior tibial tendon, the medial cuneiform and navicular bones are displaced medially and plantarly, while the metatarsal bones are dislocated dorsally and posteriorly as a result of contraction of the anterior tibial muscle, and also laterally due to the pull of the peroneus longus tendon. We identified two displacement patterns of the intermediate and lateral cuneiform bones: in the first pattern, all three cuneiform bones shifted in medial and plantar direction as a single unit; in the second, only the medial cuneiform and metatarsals were displaced dorsally, whereas the intermediate and lateral cuneiform bones prolapsed in the plantar direction, locally increasing pressure on the soft tissues and potentially leading to ulcerative defects.

Such deformity is often described in the literature as a rocker-bottom foot deformity [23]. However, this terminology is somewhat inaccurate, as the deformity occurs not only in the sagittal plane but also in the transverse plane due to the abduction of the forefoot.

Analyzing X-rays, we identified cases where damage to the medial column, manifested as destruction of the talar head, navicular, and medial cuneiform bones with the preservation of the lateral column, was accompanied by the development of an adduction contracture. The presence of forefoot adduction is biomechanically unjustified, which prompted us to perform additional radiographic assessments. Comparing images with the contralateral healthy foot, we found that patients with this deformity originally had a mild varus deformity with a pronounced longitudinal arch and forefoot adduction. With progression of arthropathy, ligamentous structures of the medial column were compromised, resulting in “crushing” of the talus, navicular, and medial cuneiform bones and subsequent formation of the adduction contracture. Pathological fractures occurred at the apex of the deformity, around the bases of the third, fourth, and fifth metatarsal bones, leading

to the lateral column instability and further adduction and supination of the foot.

The combined consideration of the aforementioned changes enabled us to develop a differentiated surgical treatment strategy based on the specific deformity pattern. The system we proposed represents the first attempt to link classification with a practical therapeutic algorithm for midfoot CN, with no existing analogues published to date. It is evident that our proposed algorithm requires long-term validation in clinical practice and may be refined as more data are accumulated and patients are followed prospectively. This is particularly relevant for the less common deformity variants.

CONCLUSION

As a result of systematizing X-rays of feet with midfoot Charcot neuroarthropathy and considering the mechanics of dislocation formation, we proposed a new classification of midfoot lesions. It comprises five main types, with subtypes in types 1 and 4. The proposed classification is intended to guide the selection of key reconstructive surgical interventions for this pathology.

DISCLAIMERS

Author contribution

Osnach S.A. — study concept, data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Protsko V.G. — data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Obolenskiy V.N. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Bregovsky V.B. — data acquisition, study concept, drafting the manuscript.

Komelyagina E.Yu. — data acquisition, study concept.

Dalmatova A.B. — data acquisition, editing the manuscript.

Sabantchieva N.I. — data acquisition, editing the manuscript.

Demina A.G. — data acquisition, editing the manuscript.

Tamoev S.K. — data acquisition, editing the manuscript.

Bobrov D.S. — study concept, editing the manuscript.

Kuznetsov V.V. — data acquisition, editing the manuscript.

Rybinskaya A.L. — data acquisition, editing the manuscript.

Zagorodniy N.V. — data analysis and interpretation, editing the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

REFERENCES

1. International Diabetes Federation. Available from: <https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures/>.
2. Renwick N., Pallin J., Bo Jansen R., Gooday C., Tardáguila-García A., Sanz-Corbalán I. et al. Review and Evaluation of European National Clinical Practice Guidelines for the Treatment and Management of Active Charcot Neuro-Osteoarthropathy in Diabetes Using the AGREE-II Tool Identifies an Absence of Evidence-Based Recommendations. *J Diabetes Res.* 2024;2024:7533891. <https://doi.org/10.1155/2024/7533891>.
3. Guidelines of International Working Group on Diabetic Foot: Charcot's neuro-osteo-arthropathy (2023 update). Available from: <https://iwgdfguidelines.org/charcot-2023>.
4. Sanders L.J., Frykberg R.G. Diabetic neuropathic osteoarthropathy: The Charcot foot. In: R.G. Frykberg (ed.) *The high risk foot in diabetes mellitus*. New York: Churchill Livingstone; 1991. p. 297-338.
5. Gratwohl V., Jentzsch T., Schöni M., Kaiser D., Berli M.C., Böni T. et al. Long-term follow-up of conservative treatment of Charcot feet. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022;142(10):2553-2566. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03881-5>.
6. Brodsky J.W. The diabetic foot. In: Coughlin M.J., Mann R.A. (eds.) *Surgery of the foot and Ankle*. 7th ed. St Louis (MO): Mosby; 1999. p. 895-969.
7. Wukich D.K., Sung W. Charcot arthropathy of the foot and ankle: modern concepts and management review. *J Diabetes Complications.* 2009;23(6):409-426. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2008.09.004>.
8. Korst G., Ratliff H., Torian J., Jimoh R., Jupiter D. Delayed Diagnosis of Charcot Foot: A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg.* 2022;61:1109-1113. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2022.01.008>.
9. Waibel F., Berli M., Gratwohl V., Sairanen K., Kaiser D., Shin L. et al. Midterm Fate of the Contralateral Foot in Charcot Arthropathy. *Foot Ankle Int.* 2020;41(10):1181-1189. <https://doi.org/10.1177/1071100720937654>.
10. Bregovskiy V.B., Osnach S.A., Obolenskiy V.N., Demina A.G., Rybinskaya A.L., Protsko V.G. Classification of the Charcot neuroosteoarthropathy: evolution of views and unsolved problems. *Diabetes mellitus.* 2024;27(4):384-394. (In Russian). <https://doi.org/10.14341/DM13118>.
11. Pinzur M., Schiff A. Deformity and clinical outcomes following operative correction of Charcot foot: A new classification with implications for treatment. *Foot Ankle Int.* 2018;39:265-270. <https://doi.org/10.1177/1071100717742371>.
12. Obolenskiy V.N., Protsko V.G., Komelyagina E.Y. Classification of diabetic foot, revisited. *Wound Medicine.* 2017;8:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.wndm.2017.06.001>.
13. Osnach S.A., Obolenskiy V.N., Protsko V.G., Borzunov D.Yu., Zagorodniy N.V., Tamojev S.K. Method of two-stage treatment of total and subtotal defects of the foot in Charcot neuroosteoarthropathy. *Genij Ortopedii.* 2022;28(4):523-531. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-4-523-531>.
14. Parshikov M.V., Bardiugov P.S., Yarygin N.V. Orthopaedic aspects of diabetic foot syndrome classifications. *Genij Ortopedii.* 2020;26(2):173-178. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-2-173-178>.
15. Kapandzhi A.I. Lower limb. Functional anatomy. Moscow: Eksmo; 2018. p. 206-227. (In Russian).
16. Harris J., Brand P. Patterns of disintegration of the tarsus in the anaesthetic foot. *J Bone Joint Surg.* 1966;48(1):4-16.
17. Cofield R., Morrison M., Beabout J. Diabetic neuroarthropathy in the foot: patient characteristics and patterns of radiographic change. *Foot Ankle.* 1983;4(1):15-22. <https://doi.org/10.1177/107110078300400104>.
18. Sammarco G., Conti S. Surgical treatment of neuropathic foot deformity. *Foot Ankle Int.* 1998;19(2):102-109. <https://doi.org/10.1177/107110079801900209>.
19. Schon L., Easley M., Weinfeld S. Charcot neuroarthropathy of the foot and ankle. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(349):116-131. <https://doi.org/10.1097/00003086-199804000-00015>.
20. Schon L., Easley M., Cohen I., Lam P., Badekas A., Anderson C. The acquired midtarsus deformity classification system – interobserver reliability and intraobserver reproducibility. *Foot Ankle Int.* 2002;23(1):30-36. <https://doi.org/10.1177/107110070202300106>.
21. Sanders L., Frykberg R. The Charcot foot (Pied de Charcot). In: Levin and O'Neal's *the diabetic foot*. J.H. Bowker, M.A. Pfeifer (eds.) Philadelphia: Mosby Elsevier; 2007. p. 257-283.

22. López-Moral M., Molines-Barroso R.J., Sanz-Corbalán I., Tardáguila-García A., García-Madrid M., Lázaro-Martínez J.L. Predictive radiographic values for foot ulceration in persons with Charcot Foot divided by lateral or medial midfoot deformity. *J Clin Med*. 2022;11(3):474. <https://doi.org/10.3390/jcm11030474>.
23. Pavlyuchenko S.V., Zhdanov A.I., Orlova I.V. Modern approaches to surgical treatment of Charcot neuroarthropathy (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2016;22(2):114-123. (In Russia).

Authors' information

✉ Stanislav A. Osnach

Address: 4, Kolomenskiy proezd, Moscow, 115446, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4943-3440>

e-mail: stas-osnach@yandex.ru

Victor G. Protsko — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>

e-mail: 89035586679@mail.ru

Vladimir N. Obolenskiy — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1276-5484>

e-mail: gkb13@mail

Vadim B. Bregovsky — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-5285-8303>

e-mail: dfoot.tdc@gmail.com

Elena Yu. Komelyagina — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0798-0139>

e-mail: komelelena@yandex.ru

Anna B. Dalmatova — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8393-6805>

e-mail: dalmatova.anna@mail.ru

Nuria I. Sabantchieva

<https://orcid.org/0009-0004-4470-1850>

e-mail: sni_doc@mail.ru

Anastasia G. Demina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8126-8452>

e-mail: ans.dem@bk.ru

Sargon K. Tamoev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>

e-mail: sargonik@mail.ru

Dmitrii S. Bobrov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-1190-7498>

e-mail: dr.bobroff@gmail.com

Vasiliy V. Kuznetsov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>

e-mail: vkuznecovniito@gmail.com

Anastasiya L. Rybinskaya

<https://orcid.org/0000-0002-5547-4524>

e-mail: arybinskay@mail.ru

Nikolay V. Zagorodniy — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Full Member of the RAS

<https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>

e-mail: zagorodniy51@mail.ru

Results of the Use of Modified Bipolar Radiofrequency Ablation in Patients with Proximal Plantar Fasciopathy

Vadim N. Silantjev¹, German G. Dzuba¹, Mariya M. Katina²

¹ Omsk State Medical University, Omsk, Russia

² Telemed LLC, Omsk, Russia

Abstract

Background. Among the many causes of plantar heel pain, the most common is proximal plantar fasciopathy (PF), second only to ligamentous injuries of the foot. The disease reduces the quality of life and is difficult to treat, as its pathogenesis remains unexplored.

The aim of the study – to conduct a comparative evaluation of treatment outcomes in patients with proximal plantar fasciopathy using extracorporeal shock wave therapy, as well as minimally invasive bipolar radiofrequency ablation, both with and without the described modification.

Methods. We analyzed the treatment outcomes of 36 patients who sought medical care for chronic heel pain caused by proximal PF in the period from 2018 to 2023. Among the patients, there were 14 (38.8%) women and 22 (61.2%) men, with a median age of 55.4 [46.7; 61.7] years. All patients were randomly assigned to three groups of 12 patients each. In Group 1 (control), extracorporeal shock wave therapy (ESWT), which had not been used at previous stages, was used for treatment; in Group 2 (comparison) – minimally invasive bipolar radiofrequency ablation (BRFA); in Group 3 (main) – minimally invasive BRFA using a method modified by the authors. Comparative evaluation of the results was carried out at 1, 3, 6 and 12 months after surgery in Groups 2 and 3 and after the completion of ESWT course in Group 1.

Results. The median plantar fascia thickness of the affected limb did not differ between the groups at 3 months after the completion of treatment. At 6 months, these indicators were significantly different between the control and main groups ($p = 0.001$). In the intergroup analysis of the dynamics of pain syndrome and foot functionality, the treatment results in the main group showed a statistically significant advantage compared with control and comparison groups after 1, 3 and 6 months of follow-up ($p < 0.05$).

Conclusions. The modified minimally invasive radiofrequency ablation method for the treatment of patients with proximal plantar fasciopathy demonstrated superior early clinical outcomes compared to the standard ablation technique and a course of extracorporeal shock wave therapy. The results obtained appear promising and suggest that the modified technique may be considered a preferred treatment option in cases where all types of conservative therapy fail within a six-month period.

Keywords: proximal plantar fasciopathy; plantar fascia; plantar heel pain; bipolar radiofrequency ablation; foot function index; functional capacity of the foot and ankle.

Cite as: Silantjev V.N., Dzuba G.G., Katina M.M. Results of the Use of Modified Bipolar Radiofrequency Ablation in Patients with Proximal Plantar Fasciopathy. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):84-95. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17712>.

✉ Vadim N. Silantjev; e-mail: silantjev@yandex.ru

Submitted: 17.04.2025. Accepted: 25.06.2025. Published online: 04.08.2025.

© Silantjev V.N., Dzuba G.G., Katina M.M., 2025

Результаты применения модифицированной биполярной радиочастотной абляции у пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией

В.Н. Силантьев¹, Г.Г. Дзюба¹, М.М. Катина²

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Омск, Россия

² ООО «Телемед», г. Омск, Россия

Реферат

Актуальность. Среди множества причин подошвенной пяточной боли проксимальная подошвенная фасциопатия находится на втором месте, уступая лишь повреждениям связочного аппарата стопы. Заболевание снижает качество жизни и трудно поддается лечению, так как его патогенез остается до конца не изученным.

Цель исследования — сравнительная оценка результатов лечения пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией с применением ударно-волновой терапии, а также мини-инвазивной биполярной радиочастотной абляции с модификацией и без нее.

Материал и методы. Проведен анализ результатов лечения 36 пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией в период с 2018 по 2023 г. Среди пациентов было 14 (38,8%) женщин и 22 (61,2%) мужчины, медиана возраста составила 55,4 года [46,7; 61,7]. Все пациенты случайным образом были распределены на три группы по 12 пациентов в каждой. В 1-й (контрольной) группе для лечения использовалась не применявшаяся на предыдущих этапах ударно-волновая терапия (УВТ), во 2-й группе (сравнения) — мини-инвазивная биполярная радиочастотная абляция, в 3-й (основной) — мини-инвазивная биполярная радиочастотная абляция по модифицированной авторами методике. Сравнительную оценку результатов осуществляли в сроки 1, 3, 6 и 12 мес. со дня оперативного лечения во 2-й и 3-й группах и со дня окончания курса УВТ в 1-й группе.

Результаты. Медианы показателей толщины подошвенного апоневроза стопы с болью через 3 мес. после завершения лечения межгрупповых отличий не имели, через 6 мес. — между контрольной и основной группами эти различия были статистически значимы ($p = 0,001$). При межгрупповом анализе динамики болевого синдрома и функциональных возможностей стопы результаты лечения в основной группе показали статистически значимое преимущество по сравнению с группами контроля и сравнения через 1, 3 и 6 мес. ($p < 0,05$).

Заключение. Модифицированный мини-инвазивный метод радиочастотной абляции при лечении пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией показал лучшие итоговые результаты в более ранние сроки в сравнении со стандартной методикой абляции и курсом ударно-волновой терапии. Полученные результаты выглядят обнадеживающими, и метод может рассматриваться в качестве приоритетного варианта лечения в тех случаях, когда в течение 6 мес. были исчерпаны все варианты консервативной терапии.

Ключевые слова: проксимальная подошвенная фасциопатия; подошвенный апоневроз; подошвенная пяточная боль; биполярная радиочастотная абляция; функциональный индекс стопы; функциональное состояние стопы и голеностопного сустава.

 **Для цитирования:** Силантьев В.Н., Дзюба Г.Г., Катина М.М. Результаты применения модифицированной биполярной радиочастотной абляции у пациентов с проксимальной подошвенной фасциопатией. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):84-95. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17712>.

 Силантьев Вадим Николаевич; e-mail: silantjev@yandex.ru

Рукопись получена: 17.04.2025. Рукопись одобрена: 25.06.2025. Статья опубликована онлайн: 04.08.2025.

© Силантьев В.Н., Дзюба Г.Г., Катина М.М., 2025

INTRODUCTION

Proximal plantar fasciopathy (PF) is the most common cause of heel pain and ranks second in prevalence among all causes of foot pain, second only to pain syndrome resulting from ligamentous injuries of the ankle joint [1, 2]. The term “plantar fasciopathy” most accurately reflects the true nature of the condition, commonly referred to as “heel spur”, “plantar fasciitis”, or “fasciosis”, since the degenerative and inflammatory changes of the plantar fascia that occur at various stages of the pathological process and gradually progress are difficult to detect and differentiate [3]. Chronic pain syndrome associated with proximal PF proves resistant to standard conservative treatment options in 10-20% of cases, and patients with proximal PF increasingly demand not only more efficient treatment modalities and shorter recovery time, but also more satisfactory outcomes [4].

To date, no consensus has been reached among foot and ankle surgeons regarding the type and extent of surgical intervention for long-standing proximal PF. In clinical practice, a significant variety of surgical techniques for proximal PF are used, ranging from different approaches to minimally invasive exostectomy to open or endoscopic release of the plantar fascia [5]. These procedures align with the current surgical trend focused on the development and widespread adoption of minimally invasive techniques aimed at preserving the integrity of the soft tissues of the foot as much as possible [6].

In light of emerging data indicating that the underlying pathogenesis of proximal PF is predominantly degenerative and non-inflammatory, a new surgical approach has been introduced — bipolar radiofrequency ablation (BRFA) of the proximal portion of the plantar fascia. This method, originally developed for transmyocardial and percutaneous myocardial revascularization, aims to stimulate collagen regeneration and improve vascularization [7]. A specially designed bipolar needle electrode was used to deliver radiofrequency energy to the fascia. Following BRFA, elevated levels of fibroblast growth factor and vascular endothelial growth factor have been observed at the pathological site, resulting in an increased number of endothelial cells migrating through the vascular wall and promoting revascularization and tissue regeneration [8].

This etiopathogenetic approach provides an optimal foundation for further research into the condition, as it not only reduces tension in the plantar fascia but also facilitates the resolution of reversible, heteromorphic, and heterochronic changes in its connective tissue structures, thus restoring their morphological integrity. The previously proposed BRFA technique for the proximal plantar fascia using a bipolar needle electrode involves performing a series of microperforations [9]. However, in our opinion, this procedure leads to insufficient elongation of the plantar fascia. The modification of the method consists in supplementing the microperforation series with several marginal microtenotomies, which allow for more substantial elongation and, consequently, a greater reduction in fascia tension. Combined with the regenerative stimulation effect, this modification represents a new stage in the evolution of surgical techniques for treating proximal PF.

The aim of the study — to conduct a comparative evaluation of treatment outcomes in patients with proximal plantar fasciopathy using extracorporeal shock wave therapy, as well as minimally invasive bipolar radiofrequency ablation, both with and without the described modification.

METHODS

Study design

Type of study: randomized prospective open-label comparative cohort study.

Between 2018 and 2023, a study was conducted at the Department of Traumatology and Orthopedics of RZD-Medicine Clinical Hospital (Omsk), involving 36 patients who sought medical care for chronic heel pain caused by proximal PF.

Patients

Among the patients included in the study, there were 14 (38.8%) women and 22 (61.2%) men. The median age at disease onset was 55.4 [46.7; 61.7] years.

Inclusion criteria: diagnosis of proximal PF lasting 6 months or longer and ineffectiveness of prior conservative treatment.

Patients with BMI > 35, significant biomechanical abnormalities of the foot (posterior hind-foot pronation > 5 mm; medial longitudinal arch

angle $< 125^\circ$ or $> 140^\circ$), hypermobile first ray (sagittal mobility > 10 mm), contracture of the gastrocnemius-soleus complex, autoimmune or other systemic diseases were not included in the study.

Patients were randomly assigned into three equal groups of 12 participants each. The groups were comparable in terms of inclusion criteria, gender, and age. Group 1 (control group) included 12 patients (7 men and 5 women), with a median age of 49 [38; 56] years, who underwent a course of extracorporeal shock wave therapy (ESWT). Group 2 (comparison group) included 12 patients (7 men and 5 women), mean age 50 [38; 62] years, who received a single session of minimally invasive BRFA of the proximal plantar fascia using the standard technique. Group 3 (main group) included 12 patients (8 men and 4 women), mean age 54 [48; 68] years, who underwent minimally invasive BRFA of the proximal plantar fascia using a modified technique developed by the authors (patent RU 2702867).

The main difference between the proposed and standard technique lies in the addition of 4 to 6 marginal microtenotomies, each no longer than 2 mm, performed along the medial edge of the proximal fascia, in addition to the standard series of 18-24 microperforations made with the same bipolar needle electrode. This modification resulted in greater elongation of the plantar fascia and, consequently, more effective reduction in tensile stress.

All patients underwent a comprehensive evaluation of complaints and medical history, including a detailed account of previous treatment for proximal PF, functional status, as well as assessment of occupational and recreational activities. A thorough physical examination of the foot and ankle was performed, which included inspection, palpation, percussion, assessment of range of motion and muscle strength. The scope of laboratory and instrumental examination was determined in accordance with current medical diagnostic standards.

All surgical interventions in Groups 2 and 3 were performed using a minimally invasive approach, under regional (ankle block) anesthesia and tourniquet-induced ischemia.

Postoperative management was standardized across all groups. During the first two days, patients were advised to limit foot movements and avoid weight-bearing. From day 7, passive and

active range-of-motion exercises were initiated, and protected ambulation in an offloading boot was recommended. A gradual return to normal activities at home and at work was permitted within the first two months, provided that sports and physically demanding work were completely avoided. In the third postoperative month, intensive training and prolonged axial loading were restricted for professional athletes and individuals engaged in heavy physical labor.

Methods of examination

Ultrasound examination of the plantar fascia structure was performed using an ACUSON X300 PE ultrasound system (Siemens). The following parameters were assessed: thickness, uniformity, echotexture, and echogenicity of the plantar fascia. Among the evaluated parameters, the dorsoplantar thickness of the fascia at its insertion site on the calcaneal tuberosity was considered the most informative and objectively comparable. Therefore, this specific parameter was selected for comparative and statistical analysis at three time points: before treatment, and 3 and 6 months after the completion of therapy.

Outcome assessment methods

Pain intensity was assessed using the pain subscale of the Foot Function Index (FFI) [10]. This subscale enables the evaluation of foot pain in various situations, such as walking barefoot or in shoes, and provides both total and subscale scores. The Minimal Detectable Change (MDC) was set at 2.42 points, as established by B.R. Martinez et al. for conditions such as plantar fasciopathy, metatarsalgia, and chronic ankle instability [11].

The analysis of function and daily activity in patients with foot and ankle disorders to assess treatment effectiveness was conducted using the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) assessment system [12]. In the clinical study, we used one subscale: Activities of Daily Living (ADL), consisting of 21 items. Each item had five response options and an additional "no answer" option (if the patient was unable to respond). The total score was obtained by summing the item scores and calculating the proportion relative to the maximum possible score, taking into account the number of "no answer" responses. The final score ranged from 0 to

100 points, with higher scores indicating better function, and the MDC threshold was 5.7 points [13]. The FFI questionnaire was administered before treatment, and at 1 month (Timepoint 1), 3 months (Timepoint 2), 6 months (Timepoint 3), and 12 months (Timepoint 4) after treatment. The FAAM (ADL) assessment in all groups was performed before treatment, and at 3 months (Timepoint 1), 6 months (Timepoint 2), and 12 months (Timepoint 3) after treatment.

Statistical analysis

Statistical processing of the obtained data was performed using MS Excel 2007, Statistica 10, and NCSS 2022 software packages. Descriptive statistics for the study groups were presented as median (Me) and interquartile range [Q_1 ; Q_3]. To assess the statistical significance of differences between groups, the Mann-Whitney U test was used for independent samples, and the Wilcoxon signed-rank test was applied to evaluate changes within the same group over time at different study timepoints. A p-value < 0.05 was considered statistically significant. The correlation between study parameters was assessed using Spearman's correlation coefficient with calculation of the exact p-value. To build mathematical models describing the relationship between ultrasound parameters on the affected side at Timepoints 2 and 3 and various predictors, multiple linear regression analysis was performed using NCSS 2022.

The minimum sample size for this study was calculated using Altman's nomogram with the following input parameters: standard deviation (SD), which determines the minimal standardized quantitative difference. In the pilot study, $SD = d/s$, where d is the absolute value of the minimal clinically significant mean difference, and s is the parameter obtained from the pilot study (the 6-month reduction in plantar fascia thickness in the BRFA group).

For the parameter "plantar fascia thickness", $SD = 1 \text{ mm} / 1.1 \text{ mm} = 0.90$. Thus, SD was set at 0.90; the significance level at $p < 0.05$; and the study power at 80%. According to Altman's nomogram, the minimum required sample size was 12 patients per group, for a total of 36 patients

RESULTS

Short-term and mid-term treatment outcomes in patients with plantar heel pain caused by proximal PF were analyzed and assessed across all three study groups. The follow-up period in all groups was 12 months.

One of the most objective indicators of the reparative processes in the structure of the plantar fascia was its thickness at the calcaneal insertion site as measured by ultrasound. A comparison of ultrasound parameters on the unaffected limbs showed that the median plantar fascia thickness in Group 1 was 3.2 [2.80; 3.33] mm, in Group 2 – 3.25 [3.05; 3.40] mm, and in Group 3 – 3.4 [3.175; 3.800] mm, with no statistically significant differences between Group 1 and Group 2 ($p = 0.817$), Group 1 and Group 3 ($p = 1.000$), or Group 2 and Group 3 ($p = 0.150$). This indicated initial homogeneity of the study groups.

Changes in plantar fascia thickness in patients with plantar heel pain (PHP) during treatment are presented in Table 1.

According to the obtained data, at the first assessment point, the thickness of the plantar fascia in the painful foot was statistically significantly greater than that of the contralateral foot in all study groups ($p < 0.001$ for all three groups), but there were no statistically significant intergroup differences ($p > 0.05$).

Within-group dynamics of plantar fascia thickness demonstrated heterogeneous positive trends. In Groups 1 and 2, a significant reduction in fascia thickness was achieved by 6 months. In Group 1: between Timepoints 1 and 2, $p = 0.358$; between Timepoints 2 and 3,

Table 1

Thickness of changed plantar fascia at the calcaneal insertion site, mm (Me [Q_1 ; Q_3])

Timepoint	Group 1	Group 2	Group 3
1 (before treatment)	6.300 [5.675; 6.650]	6.750 [6.225; 6.925]	7.050 [6.575; 7.700]
2 (3 months after)	5.350 [5.175; 6.125]	5.650 [5.250; 6.000]	5.400 [4.975; 6.025]
3 (6 months after)	4.950 [4.425; 5.950]	4.500 [4.125; 4.750]	3.800 [3.600; 4.125]

$p = 0.645$; between Timepoints 1 and 3, $p = 0.035$. In Group 2: between Timepoints 1 and 2, $p = 0.193$; between Timepoints 2 and 3, $p = 0.254$; between Timepoints 1 and 3, $p = 0.012$. In Group 3, a statistically significant improvement was observed in 3 months: between Timepoints 1 and 2, $p = 0.085$; between Timepoints 2 and 3, $p = 0.035$; between Timepoints 1 and 3, $p = 0.002$.

The median plantar fascia thickness in the symptomatic foot before treatment showed no statistically significant difference between Groups 1 and 2 ($p = 0.260$) or between Groups 2 and 3 ($p = 1.000$). However, statistically significant difference was found between Groups 1 and 3 ($p = 0.010$), which was attributed to a longer, more persistent, and treatment-resistant course of the pathological process in the main group. At Timepoint 2, no statistically significant differences were found between Groups 1 and 2 ($p = 0.839$), 1 and 3 ($p = 0.583$), or 2 and 3 ($p = 0.686$). A different picture emerged at Timepoint 3: while there were still no significant differences between Groups 1 and 2 ($p = 0.126$)

or between Groups 2 and 3 ($p = 1.000$), the difference between Groups 1 and 3 reached statistical significance ($p = 0.001$).

The lowest final absolute values of plantar fascia thickness were observed in Group 3, despite this group having the highest baseline values of the measured parameter (Figure 1).

To verify the obtained results, two mathematical models were constructed to assess the dependence of ultrasound measurements in the symptomatic foot at Timepoints 2 and 3 on the ultrasound parameters of the contralateral foot, on the previous measurement point of the symptomatic foot, and on the type of treatment.

For this purpose, Spearman's rank correlation coefficient was calculated:

- At Timepoint 2, the ultrasound measurement on the symptomatic foot demonstrated a moderate direct correlation with the ultrasound measurement on the healthy side ($T = 0.71$; $p < 0.05$), as well as a moderate direct correlation with the baseline value on the symptomatic side (Timepoint 1, before treatment) ($T = 0.74$; $p < 0.05$).

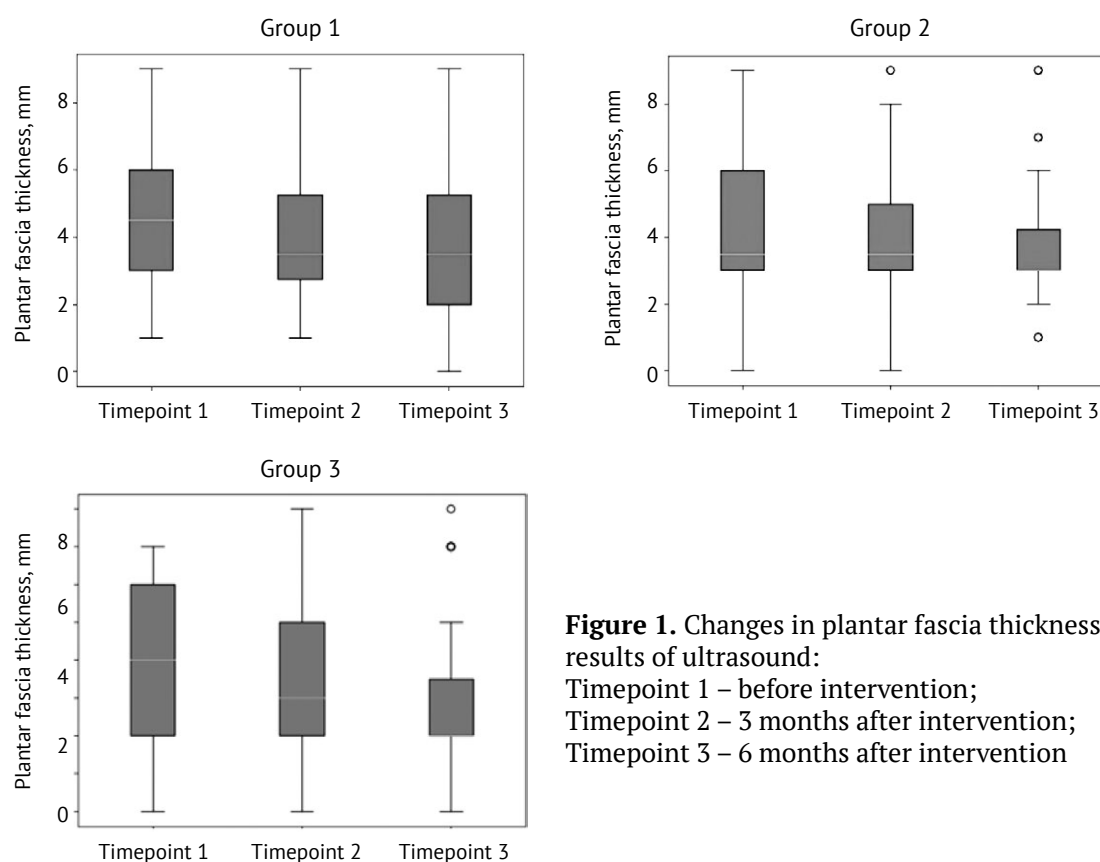


Figure 1. Changes in plantar fascia thickness according to the results of ultrasound:

Timepoint 1 – before intervention;
Timepoint 2 – 3 months after intervention;
Timepoint 3 – 6 months after intervention

– At Timepoint 3, the ultrasound measurement showed a weak direct correlation with the ultrasound value of the healthy side ($T = 0.38$; $p < 0.05$), a weak direct correlation with the baseline value of the symptomatic side ($T = 0.31$; $p < 0.05$), and a moderate direct correlation with the ultrasound measurement at Timepoint 2 ($T = 0.82$; $p < 0.05$).

A mathematical model was developed to assess the dependence of the ultrasound measurements on the symptomatic foot at Timepoint 2 on: 1) the ultrasound values of the healthy side; 2) the baseline values of the symptomatic side (Timepoint 1, before treatment); 3) the type of treatment.

The model parameters were calculated using NCSS 2022 software. A linear multiple regression equation was applied.

The equation of the mathematical model at Timepoint 2 was as follows:

$$R = -0.005 + 0.262B + 0.772C + D,$$

where R is the ultrasound measurement at Timepoint 2; B is the ultrasound measurement on the healthy side; C is the ultrasound measurement on the symptomatic side at Timepoint 1; D = 0 for the control group, D = -0.286 for the comparison group, and D = -0.945 for the main group.

A similar equation was developed for Timepoint 3:

$$N = -0.381 + 0.980E + D,$$

where E is the ultrasound measurement on the symptomatic side at Timepoint 2; D = 0 for

the control group, D = -0.652 for the comparison group, and D = -1.090 for the main group.

The equation shows that, all other conditions being equal, at Timepoint 2 the ultrasound measurement in the comparison group is 0.29 mm lower than in the control group, and 0.96 mm lower in the main group. At Timepoint 3, the ultrasound measurement in the comparison group is 0.65 mm lower than in the control group, and 1.1 mm lower in the main group.

Comparative results of pain assessment (FFI), function, and activities of daily living in patients with foot and ankle disorders (FAAM (ADL)), across all groups are presented in Table 2.

When comparing FFI (pain subscale) and FAAM (ADL) scores between groups prior to treatment, no statistically significant differences were observed, which was consistent with the hypothesis of group comparability.

In the intergroup analysis of FFI (pain subscale), at Timepoint 1, Group 3 demonstrated a statistically significant advantage compared with Groups 1 and 2. At Timepoint 2 (3 months after treatment initiation), Group 3 again showed a statistically significant advantage over Groups 1 and 2. At Timepoint 3 (6 months after treatment initiation), pain scores in Group 3 continued to demonstrate significantly better results compared with Groups 1 and 2. At Timepoint 4 (12 months after treatment initiation), Groups 2 and 3 showed identical results ($p = 1.0$) and a statistically significant advantage over Group 1 ($p = 0.003$ for both Groups 2 and 3).

Table 2

Comparative analysis of the medians of daily activity indicators

Parameter		Group (Me)			Mann-Whitney U test (p)		
		1	2	3	1	2	3
FFI	Before treatment	68.0	67.5	70.0	0.120	0.100	0.661
	1 month	31.0	19.0	17.5	0.008	0.007	0.036
	3 months	35.0	12.0	4.5	0.004	0.000	0.000
	6 months	41.0	5.0	0.0	0.002	0.000	0.000
	12 months	60.5	0.0	0.0	0.003	0.003	1.000
FAAM (ADL)	Before treatment	49.0	46.5	47.5	0.305	0.579	0.923
	3 months	67.0	85.0	90.5	0.006	0.003	0.042
	6 months	66.0	94.5	99.5	0.055	< 0.001	0.002
	12 months	57.0	100.0	100.0	0.003	0.003	1.000

Empirical value of the Mann-Whitney U test and the exact p-value in 1 – comparison of indicators for Groups 1 and 2; 2 – comparison of indicators for Groups 1 and 3; 3 – comparison of indicators for Groups 2 and 3.

In the intergroup analysis of FAAM (ADL) scores, at Timepoint 1 (3 months after treatment initiation), Group 3 demonstrated a statistically significant advantage compared with Groups 1 and 2 (vs. Group 1: $p = 0.003$; vs. Group 2: $p = 0.042$). At Timepoint 2 (6 months after treatment initiation), Group 3 also showed a statistically significant advantage over Groups 1 and 2 (vs. Group 1: $p = 0.001$; vs. Group 2: $p = 0.002$). At Timepoint 3 (12 months after treatment initiation), Groups 2 and 3 showed identical results ($p = 1.0$) and a statistically significant advantage over Group 1 ($p = 0.002$ for both Groups 2 and 3).

DISCUSSION

Plantar heel pain is a common clinical issue that remains both relevant and, in many respects, controversial. Due to the complex anatomical structure of the heel and foot, the etiology of pain, as well as the associated dysfunction and alterations in foot biomechanics, may be attributed to a variety of factors [14]. Traditionally, three main categories of causes of PHP are distinguished: mechanical – related to pathology of the proximal, middle, or distal portions of the plantar fascia, its ruptures, or stress fractures of the calcaneus; rheumatologic – development of localized pain syndrome in the setting of ankylosing spondylitis, Reiter's syndrome, or other seronegative spondyloarthropathies; neurologic – occurring in cases of L5-S1 radiculopathy or compression of the first branch of the lateral plantar nerve (Baxter's nerve) [15].

The focus of the present study was PHP caused by pathology of the proximal portion of the plantar fascia. According to J. Perry's concept, this condition arises due to the overstress of the plantar fascia during heel lift-off and weight transfer to the forefoot while walking. In his view, because of the fascia's low elasticity, tensile forces are primarily exerted on the calcaneal tuberosity during the push-off phase, and these forces increase with dorsiflexion of the metatarsophalangeal joints. In addition, the gastrocnemius-soleus muscle complex further concentrates stress in the area of the plantar fascia, significantly enhancing the overall loading effect [16]. Morphological changes in the structure of the proximal plantar fascia, resulting from a tendinosis cycle triggered by chronic foot overload, include decreased collagen synthesis

or progressive collagen degeneration, tenocyte death, and matrix degradation. These changes, in turn, further increase the fascia's susceptibility to injury [17].

Pain chronification and the ineffectiveness of traditional conservative treatment protocols, which include functional stretching and strengthening of the foot's extensor apparatus, use of orthopedic supports, anti-inflammatory therapy, various local injection and cell-based therapies, as well as physical and radiation modalities, necessitate consideration of more invasive therapeutic approaches. At the same time, ESWT, which has proven highly effective during the acute phase of the condition, remains a relevant treatment option in cases of PHP relapse or when the patient declines surgical intervention.

According to M. Thiel, ESWT is a pathogenetically justified treatment modality as it optimizes reparative processes through microtrauma of avascular or poorly vascularized tissues, which in turn leads to the release of local growth factors, stimulation of revascularization, and ultimately more effective tissue remodeling [18]. Several multicenter studies evaluating the efficacy of low-energy ESWT for chronic heel pain have reported up to 86% favorable outcomes [19, 20]. D.S. Hammer et al. demonstrated similar results – 80% of 49 patients with heel pain experienced complete or near-complete relief after three weekly ESWT sessions [21]. M.I. Ibrahim et al. reported that during a two-year follow-up, all patients noted a 90% reduction in pain compared to baseline [22]. C. Schmitz et al., based on a systematic review, recommended that all patients aged 18 and older with proximal PF undergo a course of ESWT prior to surgical intervention [23]. However, H. Gollwitzer et al. argued that the efficacy of ESWT remains controversial, and the procedure does not guarantee clinical improvement in cases of chronic PHP [24]. Published series of studies have also reported highly heterogeneous results with high-energy ESWT, ranging from 56 to 94% success rates [25].

Conclusions regarding the relatively low efficacy of ESWT in chronic pathological processes were presented in the study by T. Erden et al. [26]. The sonographic and functional results of our study confirmed the reduced effectiveness of ESWT in treating PHP caused by proximal PF.

Despite the statistical identity of the absolute values of plantar fascia thickness in the affected limb across all groups at baseline, as measured by ultrasound and exceeding the corresponding values of the contralateral limb by 1.7-2.1 times, the plantar fascia thickness in the ESWT group increased by the third month of the study and only decreased by 6.6% by the sixth month after treatment completion. This value remained significantly higher than the thickness of the intact fascia, indirectly indicating a continuing degenerative process.

The recurrent nature of the disease course was also confirmed by the analysis of pain severity using the FFI. Following ESWT, a more than twofold reduction in PHP was observed during the first month after treatment. However, pain intensity increased at 3 and 6 months, and by the 12-month follow-up, the values had nearly returned to baseline, showing only an 11% reduction. Functional assessments of the foot during activities of daily living and various work-related tasks demonstrated a similar pattern: an increase of 25.5 and 29.0% during the first month, stabilization at this level over the next 6 months, followed by a gradual decline between months 6 and 12, ultimately exceeding baseline values by 18.0 and 21.0%, respectively. These findings indicate an almost complete loss of the initial therapeutic effect. Overall, our results suggest a low efficacy of ESWT in treating patients with chronic proximal PF.

Bipolar radiofrequency ablation affects regenerative processes in the plantar fascia differently. Rapid pain relief immediately following treatment is primarily due to denervation, followed by subsequent regenerative processes, including stimulation of angiogenesis in the avascular fibrous fascia through increased secretion of fibroblast growth factors and vascular endothelial growth factor. Radiofrequency treatment does not significantly compromise the mechanical strength of the fascia, does not cause serious complications, and demonstrates favorable early outcomes in the treatment of PHP [27]. F. Yapici et al. unequivocally recommended switching to alternative treatments, with BRFA being the preferred option, in cases where ESWT was ineffective [28].

In a 2023 study, N.P. Tas and O. Kaya compared outcomes of 79 patients treated with BRFA and 80 patients receiving ESWT on the plantar fascia. The authors reported that both procedures significantly reduced pain, disability, and activity limitation. ESWT was particularly effective in early pain reduction, whereas BRFA demonstrated a more pronounced effect on reducing disability and activity limitation [29].

Our study also demonstrated superior treatment outcomes with BRFA compared to ESWT. The analysis of the ultrasound measurements of the dorsal-plantar dimensions of the proximal plantar fascia revealed significant positive changes by the end of the third month post-treatment. By six months, fascia thickness had decreased by one-third compared to baseline, showing statistically significant improvement over the corresponding values observed with ESWT. Unlike the findings reported in the aforementioned study, BRFA in our investigation led to a significant reduction in the FFI as early as the first month of treatment, with a sustained positive effect throughout the follow-up period and marked alleviation of PHP by the sixth month. This contrasted sharply with the outcomes following ESWT. Moreover, during the initial three months of the follow-up, only minor functional limitations of the foot and ankle during walking and various work-related activities persisted, enabling patients to restore mobility and work capacity. From months 6 to 12, functional outcomes approximated those of the healthy limb, fully satisfying all study participants.

Alternative treatment methods to BRFA that lead to pain reduction and improvement of foot biomechanics include surgical procedures based on the concept of plantar fascia lengthening aimed at reducing its tension [30]. Endoscopic plantar fascia release is considered a safe and effective alternative; however, its significant drawback is poor visualization and a high risk of unintentional excessive transection [31]. A.M. Brugh et al. demonstrated that regardless of the surgical technique chosen, transection of more than 50% of the plantar fascia diminishes its supportive function and results in overload pain in the dorsal and lateral aspect of the foot, leading to the development of the so-called "lateral column syndrome" [32].

The short- and long-term outcomes of open release and percutaneous BRFA were reported by Y. Yuan et al. According to their data, both surgical procedures demonstrated equivalent long-term therapeutic effects, with a mean follow-up duration of 58.77 months. However, the authors noted that percutaneous BRFA was superior in terms of reduced operative time and an uncomplicated postoperative course. Additionally, patients undergoing percutaneous BRFA experienced a shorter recovery period for the restoration of normal motor function compared to those treated with open plantar fascia release [33].

In our opinion, it is also important to consider that the therapeutic effect of surgical lengthening may partly result from the enforced period of rest dictated by the postoperative protocol. At the same time, mere reduction of plantar fascia tension without stimulation of collagen regeneration is likely to create conditions for a more prolonged disease course and patient socialization. Taking this into account, the concept of combining microperforations with marginal microtenotomies performed using a bipolar needle radiofrequency electrode allows: first, to achieve a faster analgesic effect through denervation of pathological nerve endings; second, to achieve greater lengthening of the plantar fascia, thereby further reducing its tension; and third, to potentiate regeneration, consequently ensuring a more complete and earlier restoration of limb function.

Ultrasound imaging with analysis of plantar fascia thickness, echotexture, and echogenicity is widely recognized by most authors as an accessible method for diagnosing and objectively assessing treatment outcomes in patients with proximal PF [34]. The results of our study confirmed this assumption. Sonographic measurements of fascia thickness in the main group, which initially showed high baseline values, demonstrated superior dynamics with complete normalization of fascia dimensions by the sixth month of treatment. Moreover, only in the main group did the plantar fascia thickness of the affected limb become not only closest to that of the intact limb but also statistically indistinguishable from it ($p = 1.0$). Meanwhile, among the wide range of subjective methods

for monitoring treatment efficacy, assessment of pain reduction and restoration of foot and ankle function remains the most informative [35]. According to the pain subscale of the FFI, by the third month, only patients in the main group had scores that exceeded MDC by less than two times, in contrast to the comparison group (almost eightfold MDC exceedance) and the control group (MDC exceedance by 12.8 times). Complete pain relief was achieved within the first six months of follow-up, earlier than in patients of the other groups. In our opinion, sufficient recovery of foot function and daily activity had already been achieved by the 3-month follow-up (a clinically insignificant exceedance of MDC in the FAAM (ADL) by 1.54 times).

Study limitations

The limitation of our study is the relatively small sample size, which is attributable to the strict inclusion and non-inclusion criteria, as well as the limited follow-up period of 12 months. Further research is needed to evaluate the long-term outcomes of the proposed treatment method over a five-year period.

CONCLUSIONS

The modified minimally invasive bipolar radiofrequency ablation technique proposed in this study for the treatment of refractory proximal plantar fasciopathy demonstrated superior clinical outcomes, including complete resolution of plantar heel pain and earlier restoration of foot function, when compared to both standard bipolar radiofrequency ablation and a course of extracorporeal shock wave therapy. The use of modified bipolar radiofrequency ablation helped to interrupt the degenerative cycle of tendinopathy by applying an etiopathogenetic approach, which successfully combined reduction of plantar fascia tension with partial denervation and activation of collagen regeneration. These findings appear promising and suggest that the modified technique may be considered a preferred treatment option in cases where all types of conservative therapy fail within a six-month period.

DISCLAIMERS

Author contribution

Silantjev V.N. — study concept and design, data acquisition, literature search and review, drafting the manuscript.

Dzuba G.G. — scientific guidance, drafting and editing the manuscript.

Katina M.M. — data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Omsk State Medical University, protocol No 9, 13.09.2024.

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

REFERENCES

- Brody D.M. Running injuries. Prevention and management. *Clin Symp.* 1987;39(3):1-36.
- Rasenberg N., Bierma-Zeinstra S.M., Bindels P.J., van der Lei J., van Middelkoop M. Incidence, prevalence, and management of plantar heel pain: a retrospective cohort study in Dutch primary care. *Br J Gen Pract.* 2019;69(688):e801-e808. <https://doi.org/10.3399/bjgp19X706061>.
- Monteagudo M., de Albornoz P.M., Gutierrez B., Tabuenca J., Álvarez I. Plantar fasciopathy: A current concepts review. *EFORT Open Rev.* 2018;3(8):485-493. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.3.170080>.
- Buchanan B.K., Sina R.E., Kushner D. Plantar Fasciitis. [Updated 2024 Jan 7]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431073/>.
- Nayar S.K., Alcock H., Vemulapalli K. Surgical treatment options for plantar fasciitis and their effectiveness: a systematic review and network meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(8):4641-4651. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04739-0>.
- Hasegawa M., Urits I., Orhurhu V., Orhurhu M.S., Brinkman J., Giacomazzi S. et al. Current Concepts of Minimally Invasive Treatment Options for Plantar Fasciitis: a Comprehensive Review. *Curr Pain Headache Rep.* 2020;24(9):55. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-00883-7>.
- Kantor B., McKenna C.J., Caccitolo J.A., Miyauchi K., Reeder G.S., Mullany C.J. et al. Transmyocardial and percutaneous myocardial revascularization: current and future role in the treatment of coronary artery disease. *Mayo Clin Proc.* 1999;74(6):585-592. <https://doi.org/10.4065/74.6.585>.
- Gunes T., Bilgic E., Erdem M., Bostan B., Koseoglu R.D., Sahin S.A. et al. Effect of radiofrequency microtenotomy on degeneration of tendons: an experimental study on rabbits. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(1):61-66. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2013.11.003>.
- Domingo-Marques S., Nieto-García E., Fernández-Erhling N., Ramírez-Andrés L., Vicente-Mampel J., Ferrer-Torregrosa J. Efficacy of Radiofrequency by the Topaz Technique for Chronic Plantar Fasciopathy: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2025; 14(8):2843. <https://doi.org/10.3390/jcm14082843>.
- Orlova E.V., Surnov A.V., Karateev D.E., Amirdzhanova V.N. Validation of a Russian-language version of the Foot Functional Index (FFI) questionnaire. *Modern Rheumatology Journal.* 2016;10(3):47-51. (In Russian). <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2016-3-47-51>.
- Martinez B.R., Staboli I.M., Kamonseki D.H., Budiman-Mak E., Yi L.C. Validity and reliability of the Foot Function Index (FFI) questionnaire Brazilian-Portuguese version. *Springerplus.* 2016;5(1):1810. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3507-4>.
- Lutsenko A.M., Kerimova L.G., Prizov A.P., Ananyin D.A., Lazko F.L. Cross-cultural adaptation and validation of the Russian version of the Foot and Ankle Ability Measures (FAAM-Ru). *Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal.* 2024;12(1):135-140. (In Russian). <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2024-12-1-135-140>.
- Martin R.L., Irrgang J.J., Burdett R.G., Conti S.F., Van Swearingen J.M. Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int.* 2005;26(11): 968-983. <https://doi.org/10.1177/107110070502601113>.
- Allam A.E., Chang K.V. Plantar Heel Pain. [Updated 2024 Jan 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499868/>.
- Choudhary Sh., Sathe A., Kumar D.V. Baxter's Nerve Entrapment: The Missing Nerve. *Arch Med Health Sci.* 2024;12(2):284-285. https://doi.org/10.4103/amhs.amhs_273_23.
- Perry J. Anatomy and biomechanics of the hindfoot. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(177):9-15.
- Khan K.M., Cook J.L., Taunton J.E., Bonar F. Overuse tendinosis, not tendinitis part 1: a new paradigm for a difficult clinical problem. *Phys Sportsmed.* 2000;28(5):38-48. <https://doi.org/10.3810/psm.2000.05.890>.
- Thiel M. Application of shock waves in medicine. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(387):18-21. <https://doi.org/10.1097/00003086-200106000-00004>.
- Helbig K., Herbert C., Schostok T., Brown M., Thiele R. Correlations between the duration of pain and the success of shock wave therapy. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(387):68-71. <https://doi.org/10.1097/00003086-200106000-00009>.

20. Rompe J.D., Schoellner C., Nafe B. Evaluation of low-energy extracorporeal shock-wave application for treatment of chronic plantar fasciitis. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(3):335-341. <https://doi.org/10.2106/00004623-200203000-00001>.
21. Hammer D.S., Rupp S., Kreutz A., Pape D., Kohn D., Seil R. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in patients with chronic proximal plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2002;23(4):309-313. <https://doi.org/10.1177/107110070202300403>.
22. Ibrahim M.I., Donatelli R.A., Hellman M., Hussein A.Z., Furia J.P., Schmitz C. Long-term results of radial extracorporeal shock wave treatment for chronic plantar fasciopathy: A prospective, randomized, placebo-controlled trial with two years follow-up. *J Orthop Res.* 2017;35(7):1532-1538. <https://doi.org/10.1002/jor.23403>.
23. Schmitz C., Császár N.B., Rompe J.D., Chaves H., Furia J.P. Treatment of chronic plantar fasciopathy with extracorporeal shock waves (review). *J Orthop Surg Res.* 2013;8:31. <https://doi.org/10.1186/1749-799X-8-31>.
24. Gollwitzer H., Saxena A., DiDomenico L.A., Galli L., Bouché R.T., Caminear D.S. et al. Clinically relevant effectiveness of focused extracorporeal shock wave therapy in the treatment of chronic plantar fasciitis: a randomized, controlled multicenter study. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(9):701-708. <https://doi.org/10.2106/JBJS.M.01331>.
25. Rompe J.D., Furia J., Weil L., Maffulli N. Shock wave therapy for chronic plantar fasciopathy. *Br Med Bull.* 2007;81-82:183-208. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm005>.
26. Erden T., Toker B., Cengiz O., Ince B., Asci S., Toprak A. Outcome of Corticosteroid Injections, Extracorporeal Shock Wave Therapy, and Radiofrequency Thermal Lesioning for Chronic Plantar Fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2021;42(1):69-75. <https://doi.org/10.1177/1071100720949469>.
27. Sean N.Y., Singh I., Wai C.K. Radiofrequency microtenotomy for the treatment of plantar fasciitis shows good early results. *Foot Ankle Surg.* 2010;16(4):174-177. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2009.10.008>.
28. Yapici F., Gur V., Sari I.F., Karakose R., Tardus I., Ucpunar H. Which Treatment Method Is Better in the Treatment of Chronic Plantar Fasciitis: Corticosteroid Injection, Extracorporeal Shock Wave Therapy, or Radiofrequency Thermal Lesioning? *J Am Podiatr Med Assoc.* 2023;113(5):21-049. <https://doi.org/10.7547/21-049>.
29. Tas N.P., Kaya O. Treatment of Plantar Fasciitis in Patients with Calcaneal Spurs: Radiofrequency Thermal Ablation or Extracorporeal Shock Wave Therapy? *J Clin Med.* 2023;12(20):6503. <https://doi.org/10.3390/jcm12206503>.
30. Sereda A.P., Moysov A.A., Smetanin S.M. Plantar fasciitis: diagnosis and treatment. *Sibirskij Nauchnyj Medicinskij Zhurnal.* 2016;143(4):5-9. (In Russian).
31. Sarrafian S.K. Functional characteristics of the foot and plantar aponeurosis under tibiotalar loading. *Foot Ankle.* 1987;8(1):4-18. <https://doi.org/10.1177/107110078700800103>.
32. Brugh A.M., Fallat L.M., Savoy-Moore R.T. Lateral column symptomatology following plantar fascial release: a prospective study. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41(6):365-371. [https://doi.org/10.1016/s1067-2516\(02\)80082-5](https://doi.org/10.1016/s1067-2516(02)80082-5).
33. Yuan Y., Qian Y., Lu H., Kou Y., Xu Y., Xu H. Comparison of the therapeutic outcomes between open plantar fascia release and percutaneous radiofrequency ablation in the treatment of intractable plantar fasciitis. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):55. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-1582-2>.
34. Wang X., Xu L., Hu X., Zhao H., Yin J. Musculoskeletal Ultrasound for the Diagnosis of Plantar Fasciitis: An Accuracy and Diagnostic Yield Study. *Int J Gen Med.* 2023;16:4765-4771. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S434182>.
35. Whittaker G.A., Munteanu S.E., Roddy E., Menz H.B. Measures of Foot Pain, Foot Function, and General Foot Health. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2020;72 (Suppl 10): 294-320. <https://doi.org/10.1002/acr.24208>.

Authors' information

✉ Vadim N. Silantjev

Address: 12, Lenina st., Omsk, 644099, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4488-949X>

e-mail: silantjev@yandex.ru

German G. Dzuba — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4292-213X>

e-mail: germanort@mail.ru

Mariya M. Katina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0035-9131>

e-mail: mmkatina@yandex.ru

Научная статья

УДК [617.586+616.728.48]-002(036)

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17715>

Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (МОxFAQ) у пациентов с патологией стоп и голеностопных суставов

Е.А. Пашкова¹, Е.П. Сорокин^{1,2}, Ю.П. Фаустова¹, Н.С. Коновальчук¹,
Т.Н. Кубрина¹, К.А. Демьянова¹, П.М. Преображенский¹

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

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

Реферат

Актуальность. Манчестерско-Оксфордский опросник (Manchester-Oxford Foot Questionnaire, МОxFAQ) является одним из наиболее валидированных и широко применяемых инструментов для оценки состояния стопы и голеностопного сустава на основе самоотчетов пациентов. В настоящее время отсутствует русскоязычная версия МОxFAQ, адаптированная в соответствии с международными методологическими стандартами.

Цель исследования — кросс-культурная адаптация и психометрическая валидация русскоязычной версии опросника МОxFAQ у пациентов с патологией стопы и голеностопного сустава.

Материал и методы. В исследование вошли 50 пациентов, находившихся на предоперационном этапе лечения заболеваний стопы и голеностопного сустава. Были проведены перевод и адаптация МОxFAQ по методологии ISPOR. Все пациенты заполнили опросники МОxFAQ и EQ-5D-5L. Повторное анкетирование через 7–14 дней было проведено у 38 пациентов, не получавших хирургического или иного вмешательства в этот период. Оценивались внутренняя согласованность (α Кронбаха), тест-ретест надежность (ICC), стандартная ошибка измерения (SEM), минимально значимое различие (MDC), эффекты «пола» и «потолка», конструктивная валидность.

Результаты. Русская версия МОxFAQ показала высокую внутреннюю согласованность ($\alpha = 0,878$) и хорошую воспроизводимость (ICC = 0,758). SEM составила 3,09 балла; MDC — 8,55 балла. Эффекты «пола» и «потолка» отсутствовали. Обнаружены значимые корреляции между итоговыми баллами МОxFAQ и доменами EQ-5D-5L ($\rho = 0,599–0,745$; $p < 0,001$), а также с ВАШ ($\rho = -0,564$; $p < 0,001$).

Заключение. Русскоязычная версия МОxFAQ продемонстрировала высокие психометрические свойства и может быть рекомендована для применения в клинической и исследовательской практике.

Ключевые слова: стопа; голеностопный сустав; МОxFAQ; валидация; PROM; опросник; EQ-5D-5L.

Для цитирования: Пашкова Е.А., Сорокин Е.П., Фаустова Ю.П., Коновальчук Н.С., Кубрина Т.Н., Демьянова К.А., Преображенский П.М. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (МОxFAQ) у пациентов с патологией стоп и голеностопных суставов. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):96–104. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17715>.

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

Рукопись получена: 24.04.2025. Рукопись одобрена: 30.05.2025. Статья опубликована онлайн: 14.07.2025.

© Пашкова Е.А., Сорокин Е.П., Фаустова Ю.П., Коновальчук Н.С., Кубрина Т.Н., Демьянова К.А., Преображенский П.М., 2025

Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) in Patients with Foot and Ankle Disorders

Ekaterina A. Pashkova¹, Evgenii P. Sorokin^{1,2}, Yulia P. Faustova¹, Nikita S. Konovalchuk¹, Tatiana N. Kubrina¹, Ksenia A. Demianova¹, Petr M. Preobrazhensky¹

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

² First Pavlov State Medical University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. The Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) is one of the most validated and widely used tools assessing foot and ankle disorders based on patient-reported outcomes. To date, there has been no Russian-language version of the MOxFAQ that has been adapted according to international methodological standards.

The aim of the study — to perform the cross-cultural adaptation and to assess the psychometric validity of the Russian-language version of the MOxFAQ among patients with foot and ankle pathology.

Methods. The study enrolled 50 patients who were in the preoperative stage of treatment for foot and ankle joint disorders. The MOxFAQ was translated and adapted following the ISPOR guidelines. All patients completed both the MOxFAQ and EQ-5D-5L questionnaires. Test-retest reliability was assessed 7-14 days later in 38 patients who had not undergone surgery or other interventions during this period. Internal consistency (Cronbach's α), test-retest reliability (ICC), standard error of measurement (SEM), minimal detectable change (MDC), floor and ceiling effects, and construct validity were evaluated.

Results. The Russian-language version of the MOxFAQ showed high internal consistency ($\alpha = 0.878$) and good test-retest reliability (ICC = 0.758). SEM accounted for 3.09 points; MDC — 8.55 points. No floor or ceiling effects were observed. Significant correlations were found between the total MOxFAQ score and EQ-5D-5L domains ($\rho = 0.599-0.745$; $p < 0.001$), as well as with the VAS ($\rho = -0.564$; $p < 0.001$).

Conclusion. The Russian-language version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire demonstrated strong psychometric properties and is recommended for use in clinical and research practice.

Keywords: foot; ankle; MOxFAQ; validation; PROM; questionnaire; EQ-5D-5L.

Cite as: Pashkova E.A., Sorokin E.P., Faustova Yu.P., Konovalchuk N.S., Kubrina T.N., Demianova K.A., Preobrazhensky P.M. Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Russian-Language Version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) in Patients with Foot and Ankle Disorders. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):96-104. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17715>.

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

Submitted: 24.04.2025. Accepted: 30.05.2025. Published online: 14.07.2025.

© Pashkova E.A., Sorokin E.P., Faustova Yu.P., Konovalchuk N.S., Kubrina T.N., Demianova K.A., Preobrazhensky P.M., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Патология стопы и голеностопного сустава является одной из наиболее распространенных в ортопедической практике и сопровождается выраженными нарушениями опороспособности, болевым синдромом и снижением качества жизни пациентов [1]. Для оценки функционального состояния и результатов лечения в данной области широко используются инструменты, основанные на самоотчетах пациентов — Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) — обеспечивающие стандартизированную и воспроизводимую характеристику клинического статуса [2, 3].

Одним из наиболее валидированных PROM-инструментов, предназначенных для оценки нарушений в области стопы и голеностопного сустава, является Манчестерско-Оксфордский опросник (Manchester-Oxford Foot Questionnaire, MOxFQ). Опросник изначально был разработан в Великобритании для оценки исходов хирургического лечения вальгусной деформации первого пальца стопы и включает 16 пунктов, объединенных в три субшкалы: «боль», «функция (ходьба/стояние)» и «социальная активность» [2, 4, 5]. Впоследствии MOxFQ был валидирован и в популяциях пациентов с другими нозологическими формами, включая артроз, посттравматические и врожденные деформации, хронические разрывы сухожилий, остеохондральные повреждения и другие состояния [6, 7].

На текущий момент русскоязычная версия опросника MOxFQ, переведенная и адаптированная в соответствии с международными методологическими стандартами, в литературе не представлена. Согласно рекомендациям Международного общества фармакоэкономических исследований и оценки исходов (International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research, ISPOR) и консенсусной инициативы COSMIN (Consensus-based Standards for the selection of health status Measurement INstruments), процесс внедрения PROM-инструментов в новую лингвистическую и культурную среду требует обязательной оценки их психометрических свойств: внутренней согласованности, воспроизводимости, конструктивной валидности, чувствительности и отсутствия эффектов «потолка» и «пола» [3, 8, 9].

Для оценки конструктивной валидности русскоязычной версии MOxFQ в настоящем исследовании была использована шкала EQ-5D-5L, поскольку:

- она является универсальным инструментом для оценки качества жизни и функционального состояния пациента;

- ее официальная русскоязычная версия разработана в рамках международного стандарти-

рованного протокола и доступна для клинического применения [10];

- ранее в международной практике шкала EQ-5D-5L успешно применялась для оценки конструктивной валидности других шкал, включая AOFAS, FFI и SEFAS [11, 12].

EQ-5D-5L включает пять доменов («подвижность», «самообслуживание», «обычная активность», «боль/дискомфорт», «тревожность/депрессия»), каждый из которых оценивается по 5-балльной шкале, а также визуальную аналоговую шкалу (ВАШ) от 0 до 100, где 100 — наилучшее состояние здоровья. Таким образом, данная шкала позволяет выявить как общее качество жизни, так и отдельные компоненты, потенциально коррелирующие с субшкалами MOxFQ. Нами была использована русскоязычная версия опросника EQ-5D-5L, взятая с официального сайта www.euroqol.org (доступ по регистрации).

В отношении валидации ожидается, что наиболее сильная отрицательная корреляция будет наблюдаться между итоговым баллом MOxFQ и доменами «боль/дискомфорт», «подвижность» и ВАШ шкалы EQ-5D-5L. Таким образом, выбор EQ-5D-5L обоснован как с точки зрения международных стандартов, так и с позиции логической конструкции конвергентной валидности.

Цель исследования — кросс-культурная адаптация и психометрическая валидация русскоязычной версии опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFQ) у пациентов с различными заболеваниями стопы и голеностопного сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — одноцентровое проспективное наблюдательное. Методология исследования соответствовала международным рекомендациям по кросс-культурной адаптации и психометрической валидации опросников, изложенным в документах ISPOR и COSMIN [8, 9].

Выборка

В исследование были включены 50 пациентов, находившихся на предоперационном этапе лечения заболеваний стопы и голеностопного сустава. Средний возраст пациентов составил $47,5 \pm 13,7$ года; женщин — 29 (58%), мужчин — 21 (42%). Поражение левой нижней конечности зарегистрировано у 27 пациентов, правой — у 23. В выборку вошли пациенты с различными нозологическими формами: застарелый разрыв ахиллова сухожилия ($n = 6$), ригидная эквинусная деформация стопы ($n = 8$), артроз голеностопного сустава ($n = 10$), остеохондральный дефект таранной кости ($n = 4$), повреждение связочного аппарата голено-

стопного сустава ($n = 6$), вальгусная деформация первого пальца ($n = 5$), деформация переднего отдела стопы ($n = 3$), плоско-вальгусная деформация ($n = 3$), артроз подтаранного сустава ($n = 3$), артроз первого плюснефалангового сустава ($n = 2$).

Процедура перевода и адаптации

Перевод и кросс-культурная адаптация опросника MOxFQ осуществлялись по методике ISPOR [8]. Два независимых прямых перевода выполнили врач-ортопед и профессиональный переводчик, после чего был составлен единый согласованный вариант. Далее два англоязычных переводчика, не знакомых с оригиналом, провели обратный перевод. Полученные версии были сопоставлены экспертной комиссией (травматологи-ортопеды, лингвисты). После утверждения окончательной версии был проведен пилотный тест на выборке из 15 пациентов.

В ходе пилотного тестирования русскоязычной версии MOxFQ на выборке из 15 пациентов было выявлено, что пациенты затрудняются в различии категорий ответа «редко» и «иногда», что может снижать точность самооценки и влиять на ретестовую надежность. В соответствии с методологическими рекомендациями ISPOR и COSMIN, предполагающими высокую различимость и когнитивную доступность шкал оценки, была внесена корректировка в формулировку ответов к первому пункту шкалы: каждому ответу были сопоставлены временные ориентиры (например, «редко (1–2 раза в неделю)», «иногда (несколько раз в неделю)» и т. д.). Такой подход улучшает понимание пациентами различий между вариантами ответа и обеспечивает соблюдение критерия различимости категорий, лежащего в основе конструкции шкал типа Ликерта.

В итоговой версии были сохранены оригинальные смысловые конструкции с учетом лингвистических и культурных особенностей русскоязычного контекста, которая представлена в электронной версии статьи на сайте журнала (приложение 1).

Процедура заполнения опросников

Все 50 пациентов заполнили русскоязычную версию MOxFQ на дооперационном этапе. Повторное заполнение опросника было выполнено через 7–14 дней 38 пациентами, не получавшими хирургического или иного вмешательства в этот период, для оценки ретестовой надежности.

С целью оценки конструктивной валидности все пациенты также заполнили опросник EQ-5D-5L

(официальная русскоязычная версия, переведенная разработчиками в рамках стандартизированного протокола EuroQol).

Статистический анализ

Анализ психометрических характеристик русскоязычной версии MOxFQ включал оценку:

- Внутренней согласованности — определялась с использованием коэффициента α Кронбаха. Значения от 0,7 до 0,9 интерпретировались как свидетельство высокой согласованности.
- Ретестовой надежности — оценивалась на основании коэффициента внутриклассовой корреляции (intra-class correlation coefficient, ICC).
- Стандартной ошибки измерения (SEM) — рассчитывалась по формуле:

$$SEM = SD \times \sqrt{1 - ICC}.$$

- Минимально значимого различия (MDC) — определялось по формуле:

$$MDC = 1,96 \times SEM \times \sqrt{2},$$

как наименьшее изменение, выходящее за пределы вероятной случайной ошибки.

- Конструктивной валидности — оценивалась путем расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена (ρ) между итоговым баллом MOxFQ и результатами опросника EQ-5D-5L (включая отдельные домены и ВАШ).

- Анализ эффектов «пола» и «потолка» — определялись как доля пациентов, набравших максимальное или минимальное значение по итоговому баллу. Эффекты $\geq 15\%$ считались выраженными и потенциально искажающими интерпретацию результатов.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием Jamovi (версия 2.3.28), IBM SPSS Statistics (версия 26.0) и Python. Уровень статистической значимости установлен на уровне $p < 0,05$.

Планирование гипотез

Для оценки конструктивной валидности шкалы MOxFQ была использована методология сопоставления с показателями опросника EQ-5D-5L. В соответствии с рекомендациями COSMIN были заранее сформулированы гипотезы о направлении и силе предполагаемых корреляций между итоговым баллом MOxFQ и доменами EQ-5D-5L (табл. 1).

Конструктивная валидность признавалась подтвержденной в случае верификации не менее 75% гипотез, что отражает достаточную концептуальную согласованность между шкалами, измеряющими смежные конструкты.

Таблица 1

Предварительно сформулированные гипотезы для оценки конструктивной валидности русскоязычной версии МОxFQ (в сравнении с доменами шкалы EQ-5D-5L)

Домен EQ-5D-5L	Гипотеза	Ожидаемый p
Подвижность	Прямая корреляция	$\geq 0,5$
Обычная активность	Прямая корреляция	$\geq 0,5$
Боль/дискомфорт	Прямая корреляция	$\geq 0,5$
Тревожность/депрессия	Прямая корреляция	$\geq 0,4$
Самообслуживание	Прямая корреляция	$\geq 0,4$
Визуальная аналоговая шкала	Обратная корреляция	$\leq -0,4$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характер распределения итогового балла МОxFQ в исследуемой выборке демонстрирует умеренно нормальное распределение с легким смещением в сторону более выраженной симптоматики, что указывает на гетерогенность клинических проявлений у пациентов с различными заболеваниями стопы и голеностопного сустава (рис. 1).

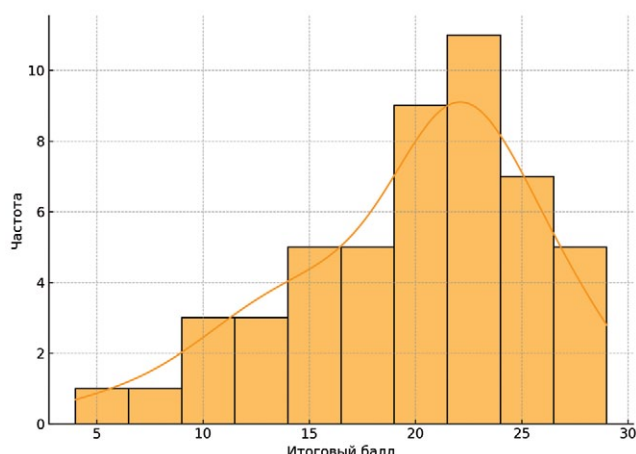
**Рисунок 1.** Гистограмма распределения итогового балла МОxFQ ($n = 50$)

Figure 1. Distribution bar chart of the final MOxFAQ score ($n = 50$)

Внутренняя согласованность

Анализ внутренней согласованности русскоязычной версии опросника МОxFQ продемонстрировал высокий уровень однородности шкалы. Расчет α Кронбаха на основании первичного заполнения, включающего 50 пациентов, показал значение 0,878, что свидетельствует о высокой степени взаимосвязи между пунктами шкалы и согласованности измеряемых конструктов.

Тест-ретест надежность

Тест-ретест анализ был выполнен на подгруппе из 38 пациентов, повторно заполнивших опросник МОxFQ в течение 7–14 дней после первого анкетирования в стабильном клиническом состоянии.

Кoeffициент внутриклассовой корреляции (ICC) составил 0,758, что интерпретируется как хорошая воспроизводимость результатов и указывает на стабильность измерений при повторном применении шкалы (рис. 2).

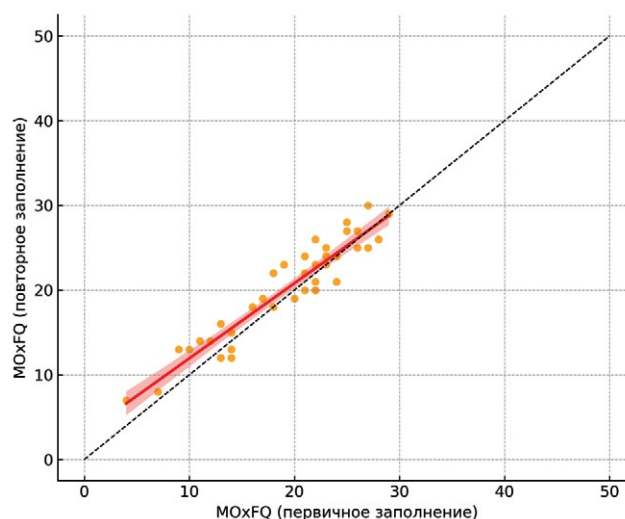
**Рисунок 2.** Диаграмма рассеяния между первичным и повторным заполнением шкалы МОxFQ — итоговые баллы ($n = 38$): каждая точка представляет индивидуального пациента; красная линия — линейная регрессия; пунктирная диагональ соответствует идеальному совпадению результатов ($y = x$)

Figure 2. Scatter diagram showing the relationship between the primary and repeat MOxFAQ scale scores (final scores; $n = 38$). Each point represents an individual patient; red line shows the linear regression; dotted diagonal corresponds to perfect correlation of results ($y = x$)

Для оценки точности измерения рассчитана стандартная ошибка измерения (SEM), которая составила 3,09 балла. Минимально значимое различие (MDC), определяющее наименьшее изменение, выходящее за пределы случайной вариации, составило 8,55 балла, что может быть использовано при клинической интерпретации индивидуальной динамики.

Эффекты «пола» и «потолка»

В исследуемой выборке не зарегистрировано ни одного случая достижения минимального (0 баллов) или максимального (48 баллов) значения по итоговому баллу МОхFQ. Таким образом, эффекты «пола» и «потолка» отсутствовали. Это указывает на высокую чувствительность шкалы в пределах клинического диапазона и отсутствие искажений распределения, связанных с крайними значениями.

Конструктивная валидность

Оценка конструктивной валидности осуществлялась путем расчета коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между итоговым баллом МОхFQ (в процентах) и показателями шкалы EQ-5D-5L. Все домены шкалы EQ-5D-5L продемонстрировали статистически значимую положительную кор-

реляцию с итоговым баллом МОхFQ ($p < 0,001$), за исключением визуальной аналоговой шкалы, где наблюдалась обратная зависимость ($\rho = -0,564$) (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Корреляция между итоговым баллом МОхFQ и доменами EQ-5D-5L (ρ Спирмена)

Домен EQ-5D-5L	Коэффициент ρ	p
Подвижность	0,584	<0,001
Самообслуживание	0,745	<0,001
Обычная активность	0,603	<0,001
Боль/дискомфорт	0,599	<0,001
Тревожность/депрессия	0,715	<0,001
ВАШ	-0,564	<0,001

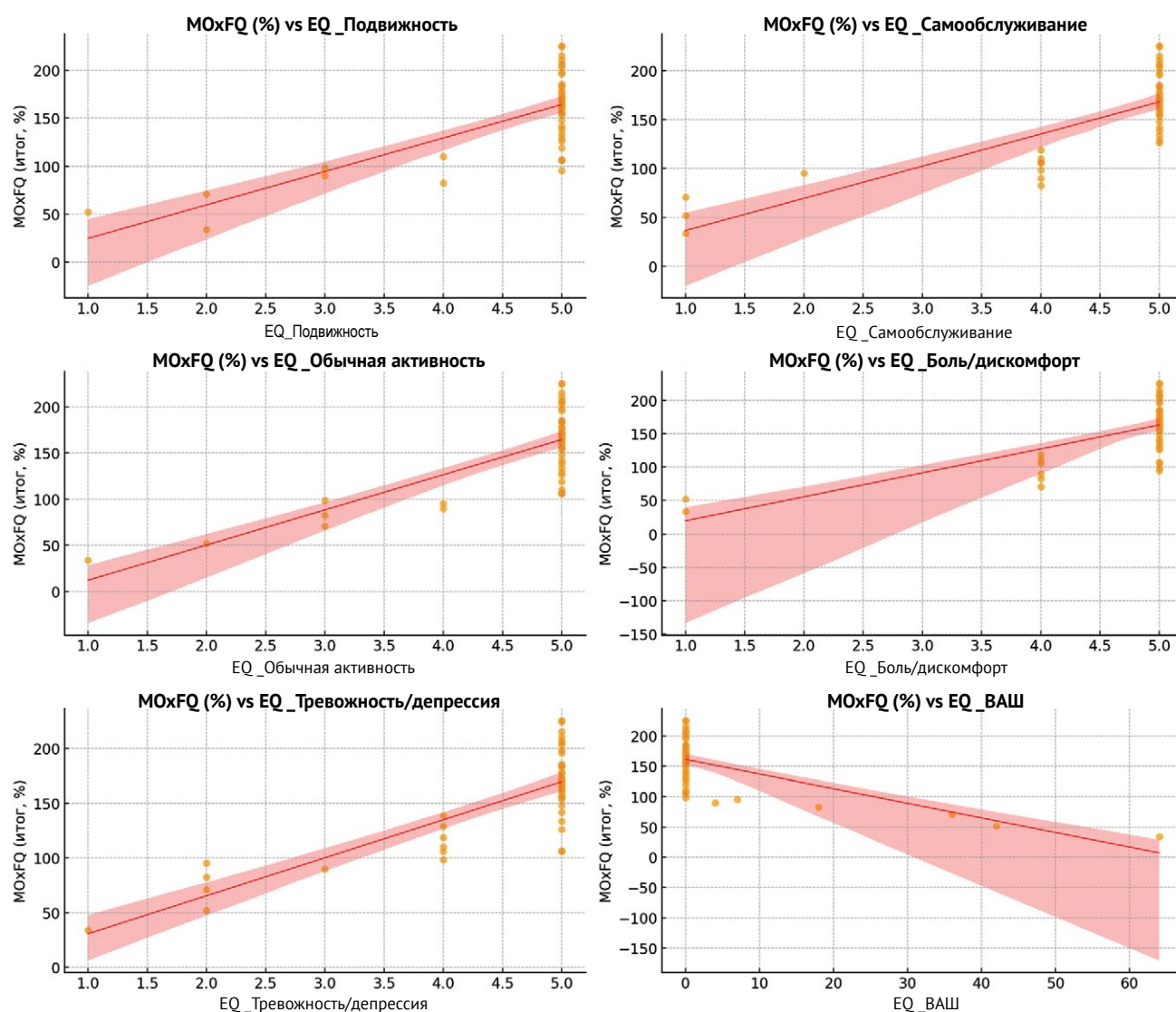


Рисунок 3. Диаграммы корреляций между итоговым баллом МОхFQ (%) и доменами шкалы EQ-5D-5L

Figure 3. Correlation diagrams between the MOxFQ total score (%) and the domains of the EQ-5D-5L scale

Для оценки конструктивной валидности была проведена проверка шести заранее сформулированных гипотез, отражающих предполагаемую силу и направленность корреляций между итоговым баллом MOxFAQ и доменами шкалы EQ-5D-5L. Подтверждение было получено для всех шести гипотез, что составляет 100% от общего числа и превышает минимальный порог верификации ($\geq 75\%$), рекомендованный COSMIN. Это свидетельствует о высокой степени конструктивной валидности русскоязычной версии MOxFAQ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало, что русскоязычная версия опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) обладает высокими психометрическими свойствами, сравнимыми с оригинальной англоязычной версией и валидированными адаптациями на других языках.

Внутренняя согласованность и воспроизводимость

Коэффициент α Кронбаха, рассчитанный по результатам первичного заполнения опросника, составил 0,878, что свидетельствует о высокой внутренней согласованности и однородности шкалы. Аналогичные значения были получены в оригинальном исследовании J. Dawson с соавторами (0,89–0,93) и подтверждены в адаптациях на других языках, включая китайский (0,98–0,99), турецкий (0,78), испанский (0,91), голландский (0,74–0,86) и многие другие [1, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Оценка тест–ретест надежности на подгруппе из 38 пациентов показала ICC = 0,758, что соответствует хорошему уровню воспроизводимости. Это значение сопоставимо с результатами, опубликованными R. Goodall с соавторами (0,78), а также D. Morley с соавторами (0,83), и подтверждает стабильность инструмента при повторном применении в стабильном клиническом контексте [4, 6].

Рассчитанные значения SEM (3,09 балла) и MDC (8,55 балла) соответствуют границам клинически значимого изменения. В других исследованиях MDC MOxFAQ колебалось от 7 до 10 баллов в зависимости от дизайна исследования и популяции [21].

Конструктивная валидность

Результаты анализа конструктивной валидности показали значимую корреляцию между итоговым баллом MOxFAQ и доменами шкалы EQ-5D-5L. Наиболее выраженные положительные корреля-

ции установлены с доменами «самообслуживание», «тревожность/депрессия» и «боль/дискомфорт», что подтверждает чувствительность шкалы к функциональному и эмоциональному компоненту состояния пациента. Отрицательная корреляция с ВАШ также согласуется с ожидаемой моделью, где ухудшение функционального состояния по MOxFAQ сопровождается снижением субъективной оценки общего здоровья.

Проведенная проверка гипотез, сформулированных до начала статистического анализа, показала, что все из шести предположений о направлении и силе взаимосвязи между MOxFAQ и доменами EQ-5D-5L подтвердились. Это полностью соответствует критериям COSMIN, согласно которым верификация более 75% гипотез указывает на адекватную конструктивную валидность инструмента. Полученные данные подтверждают, что MOxFAQ измеряет близкие по смыслу конструкты, отражающие физическую функцию, боль и общее восприятие здоровья у пациентов с патологией стопы и голеностопного сустава.

Отсутствие крайних эффектов

В настоящем исследовании не было выявлено выраженных эффектов «пола» и «потолка». Это означает, что шкала обладает достаточной дифференцирующей способностью в пределах клинического диапазона, позволяя адекватно оценивать пациентов как с минимальными, так и с выраженными симптомами. Аналогичные выводы представлены в работах R. Goodall с соавторами и J.B. Garcés с соавторами, где опросник MOxFAQ эффективно применялся у пациентов с разнообразными патологиями, включая посттравматические артрозы, деформации переднего и заднего отделов стопы [6, 15].

Ограничения исследования

Несмотря на положительные результаты, исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, выборка включала гетерогенных пациентов с различными нозологическими формами патологии стопы и голеностопного сустава. Это могло повлиять на восприятие отдельных пунктов шкалы и увеличить межиндивидуальную вариабельность. Однако такая гетерогенность отражает реалии клинической практики, где PROM-инструменты применяются у широкого круга пациентов. Во-вторых, в рамках данного исследования не проводилась оценка чувствительности к изменениям (responsiveness) в отдаленной перспективе после оперативного лечения, что планируется учесть в рамках дальнейшего наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кросс-культурная адаптация и психометрическая валидация русскоязычной версии опросника Manchester-Oxford Foot Questionnaire (МОxFQ) показали, что данный инструмент обладает высокой внутренней согласованностью, удовлетворительной воспроизводимостью и достоверной конструктивной валидностью при использовании у пациентов с патологией стопы и голеностопного сустава.

Шкала демонстрирует отсутствие крайних эффектов, хорошую дифференцирующую спо-

собность и может быть рекомендована для использования в клинической практике и научных исследованиях в России. Полученные данные позволяют применять МОxFQ для предоперационной оценки, динамического мониторинга и объективизации результатов лечения.

Проведенный перевод и валидация соответствуют международным методологиям ISPOR и COSMIN, что позволяет использовать русскоязычную версию МОxFQ наравне с другими адаптированными формами опросника в рамках многоцентровых исследований.

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 пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Vieira Cardoso D., Dubois-Ferrière V., Hannouche D., Lübbecke A., Perneger T. Development and psychometric performance of the French language version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ). *Foot Ankle Surg.* 2020;26(8):902-906. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.12.002>.
- Dawson J., Coffey J., Doll H., Lavis G., Cooke P., Herron M. et al. A patient-based questionnaire to assess outcomes of foot surgery: validation in the context of surgery for hallux valgus. *Qual Life Res.* 2006;15(7):1211-1222. <https://doi.org/10.1007/s11136-006-0061-5>.
- Terwee C.B., Prinsen C.A.C., Chiarotto A., Westerman M.J., Patrick D.L., Alonso J. et al. COSMIN methodology for evaluating the content validity of patient-reported outcome measures: a Delphi study. *Qual Life Res.* 2018;27(5):1159-1170. <https://doi.org/10.1007/s11136-018-1829-0>.
- Morley D., Jenkinson C., Doll H., Lavis G., Sharp R., Cooke P. et al. The Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ): Development and validation of a summary index score. *Bone Joint Res.* 2013;2(4):66-69. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.24.2000147>.
- Spindler F.T., Ettinger S., Arbab D., D. A. F. Scientific Committee, Baumbach S.F. Patient-reported outcome measures in studies on hallux valgus surgery: what should be assessed. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144(11):4745-4752. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05523-y>.
- Goodall R., Borsky K., Harrison C.J., Welck M., Malhotra K., Rodrigues J.N. Structural validation of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire for use in foot and ankle surgery. *Bone Joint J.* 2024;106-B(3):256-261. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.106B3.BJJ-2023-0414.R3>.
- Nguyen M.Q., Broström A., Iversen M.M., Harboe K., Paulsen A. Assessing the content validity of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire in surgically treated ankle fracture patients: a qualitative study. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):941. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04418-9>.
- Wild D., Grove A., Martin M., Eremenco S., McElroy S., Verjee-Lorenz A. et al. Principles of Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures: report of the ISPOR Task Force for Translation and Cultural Adaptation. *Value Health.* 2005;8(2):94-104. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2005.04054.x>.

9. Mokkink L.B., Terwee C.B., Patrick D.L., Alonso J., Stratford P.W., Knol D.L. et al. The COSMIN checklist for assessing the methodological quality of studies on measurement properties of health status measurement instruments: an international Delphi study. *Qual Life Res.* 2010;19(4):539-549. <https://doi.org/10.1007/s11136-010-9606-8>.
10. EuroQol Research Foundation. EQ-5D-5L User Guide. Basic information on how to use the EQ-5D-5L instrument. Version 3.0. Rotterdam: EuroQol Research Foundation; 2019. Available from: <https://euroqol.org/publications/user-guides>
11. Jia Y., Huang H., Gagnier J.J. A systematic review of measurement properties of patient-reported outcome measures for use in patients with foot or ankle diseases. *Qual Life Res.* 2017;26(8):1969-2010. <https://doi.org/10.1007/s11136-017-1542-4>.
12. Amri M.I., Alzhrani M.M., Alanazi A.D., Alqahtani M.M., Kashoo F.Z. Cross-cultural adaptation and validation of the Arabic version of the foot function index in patients with chronic lateral ankle instability. *J Foot Ankle Res.* 2022;15(1):21. <https://doi.org/10.1186/s13047-022-00527-6>.
13. Ruiz-Muñoz M., González-Sánchez M., Li G.Z., Cuesta-Vargas A.I. Manchester-Oxford Foot Questionnaire Chinese version (MOXFQ-Ch): a validity and cross-cultural adaptation. *Disabil Rehabil.* 2021;43(1):104-111. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1616834>.
14. Talu B., Bayramlar K., Bek N., Yakut Y. Validity and reliability of the Turkish version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire for hallux valgus deformity evaluation. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2016;50(2):207-213. <https://doi.org/10.3944/AOTT.2015.15.0152>.
15. Garcés J.B., Winson I., Goldhahn S., Castro M.D., Swords M.P., Grujic L. et al. Reliability, validity and responsiveness of the Spanish Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ) in patients with foot or ankle surgery. *Foot Ankle Surg.* 2016;22(1):59-70. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2015.09.004>.
16. Venkatesan S., Schotanus M.G., Hendrickx R.P. Dutch translation of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire: reassessment of reliability and validity. *J Foot Ankle Surg.* 2016;55(6):1199-1201. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2016.07.015>.
17. Pessoa G.B., Miranda B.R., Prates de Oliveira L.Z., Fernandes H.A., Ghani Abdul Ghani M.B.A., de Paula Neto A.C. et al. Translation, cultural adaptation, and validation of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire into Brazilian Portuguese. *J Foot Ankle.* 2022;16(3):231-236. <https://doi.org/10.30795/jfootankle.2022.v16.1671>.
18. Mousavian A., Ebrahimzadeh M.H., Birjandinejad A., Omid-Kashani F., Kachooei A.R. Translation and cultural adaptation of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ) into Persian language. *Foot.* 2015;25(4):224-227. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2015.07.004>.
19. Park M.J., Ko Y.C., Huh J.W., Park S.H., Park T.H., Park J.H. Validation of the Korean version of the Manchester-Oxford Foot Questionnaire in patients with hallux valgus. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(2):252-254. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2016.11.013>.
20. Ponkilainen V.T., Miettinen M., Sandelin H., Lindahl J., Häkkinen A.H., Toom A. et al. Structural validity of the Finnish Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ) using the Rasch model. *Foot Ankle Surg.* 2021;27(1):93-100. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.02.012>.
21. McHorney C.A., Tarlov A.R. Individual-patient monitoring in clinical practice: are available health status surveys adequate? *Qual Life Res.* 1995;4(4):293-307. <https://doi.org/10.1007/BF01593882>.

Сведения об авторах

✉ Пащикова Екатерина Анатольевна — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Сорокин Евгений Петрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>
e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Фаустова Юлия Павловна
<https://orcid.org/0009-0000-2779-7564>
e-mail: fausjulie99@mail.ru

Коновальчук Никита Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>
e-mail: konovalchuk91@gmail.com

Кубрина Татьяна Николаевна
<https://orcid.org/0009-0000-3309-2560>
e-mail: Kubrina_1998@mail.ru

Демьянова Ксения Андреевна
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ortodem@yandex.ru

Преображенский Петр Михайлович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
e-mail: pedrro@yandex.ru

Authors' information

✉ Ekaterina A. Pashkova — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,
195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Evgenii P. Sorokin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>
e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Yulia P. Faustova
<https://orcid.org/0009-0000-2779-7564>
e-mail: fausjulie99@mail.ru

Nikita S. Konovalchuk — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>
e-mail: konovalchuk91@gmail.com

Tatiana N. Kubrina
<https://orcid.org/0009-0000-3309-2560>
e-mail: Kubrina_1998@mail.ru

Ksenia A. Demianova
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ortodem@yandex.ru

Petr M. Preobrazhensky — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
e-mail: pedrro@yandex.ru

Psychological Implications in Percutaneous *Hallux Valgus* Surgery

Lucia Bondì¹, Carlo Ottonello², Paolo Giuliani³, Rosaria Bondì⁴, Luca Giuliani⁵

¹ Tor Vergata University of Rome, Rome, Italy

² Fisiocard Medical Center, Rome, Italy

³ Poliambulatorio Montezemolo of Rome, Rome, Italy

⁴ San Giovanni Addolorata Hospital, Rome, Italy

⁵ Sapienza University of Rome, Rome, Italy

Abstract

Background. Despite the evolution of the surgical technique, sometimes patients complain of dissatisfaction even though the objective post-operative parameters do not demonstrate obvious complications.

The aim of the study — to evaluate psychological implications for post-operative pain perception after *hallux valgus* surgery in patients who had already undergone contralateral foot surgery.

Methods. The study included 42 patients treated with percutaneous surgery for bilateral *hallux valgus* in two different time periods (40 females and 2 males; mean-age at the 1st surgery — 55.7 years; mean-age at the 2nd surgery — 56.7 years). All patients were administered a visual analog scale (VAS) one week after surgery to judge post-operative pain. Each of them was evaluated clinically to assess post-operative convalescence. The patients were randomly divided into 2 groups: in group A, patients have not received further indications about post-operative pain in contralateral surgery; in group B, patients have been informed that post-operative pain would have been worse in contralateral surgery. Both groups received the same anesthesiological and pharmacological support in the peri-operative period.

Results. The VAS pain score was 1.03 and 1.55 after first surgery; 4.57 and 0.5 after second surgery for group A and group B, respectively. All patients reported no pain 7 days after surgery. No significant clinical variation was reported.

Conclusion. We observed the great importance of psychological implications for pain perception in patients undergoing foot surgery. The role of a surgeon is related not only to technical skills, but it is also conditioned by their ability to drive patients' individual perception of post-operative outcome.

Keywords: valgus deformity of the first toe; *hallux valgus*; minimally invasive surgery; pain; VAS; patient satisfaction.

Cite as: Bondì L., Ottonello C., Giuliani P., Bondì R., Giuliani L. Psychological Implications in Percutaneous *Hallux Valgus* Surgery. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):105-110. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17720>.

✉ Luca Giuliani; e-mail: lucagiuliani92@virgilio.it

Submitted: 16.05.2025. Accepted: 15.07.2025. Published online: 04.08.2025.

© Bondì L., Ottonello C., Giuliani P., Bondì R., Giuliani L., 2025

Психологические последствия чрескожной хирургической коррекции *hallux valgus*

Л. Бонди¹, К. Оттонелло², П. Джулиани³, Р. Бонди⁴, Л. Джулиани⁵

¹ Tor Vergata University of Rome, г. Рим, Италия

² Fisiocard Medical Center, г. Рим, Италия

³ Poliambulatorio Montezemolo of Rome, г. Рим, Италия

⁴ San Giovanni Addolorata Hospital, г. Рим, Италия

⁵ Sapienza University of Rome, г. Рим, Италия

Реферат

Актуальность. Несмотря на развитие хирургической техники, иногда пациенты жалуются на неудовлетворенность своим физическим состоянием, даже если объективные послеоперационные показатели не свидетельствуют о явных осложнениях.

Цель исследования — оценить психологические аспекты восприятия боли после хирургической коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы у пациентов, которые уже перенесли операцию на контралатеральной стопе.

Материал и методы. В исследование вошло 42 пациента, которым была выполнена чрескожная коррекция двусторонней вальгусной деформации первого пальца стопы в разное время. Всего было 40 женщин и 2 мужчин; средний возраст на момент 1-й операции — 55,7 года, на момент 2-й операции — 56,7 года. Все пациенты через неделю после операции заполняли визуальную аналоговую шкалу (ВАШ) для измерения интенсивности боли. Каждый из них прошел клиническое обследование для оценки послеоперационного восстановления. Пациенты были случайным образом разделены на две группы. В группе А пациентам не сообщали никакой информации об интенсивности боли после операции на контралатеральной стопе. В группе В пациенты были проинформированы о том, что боль будет сильнее после операции на контралатеральной стопе. Пациенты обеих групп получали одинаковое анестезиологическое пособие и фармакологическое лечение в периоперационном периоде.

Результаты. Оценка боли по ВАШ составила 1,03 и 1,55 после первой операции и 4,57 и 0,50 после второй операции в группах А и В соответственно. Все пациенты указали на отсутствие боли через 7 дней после операции. О каких-либо существенных клинических изменениях не сообщалось.

Заключение. Психологические аспекты восприятия боли пациентами, перенесшими операцию на стопе, имеют большое значение. Влияние хирурга на исход лечения обусловлено не только его техническими навыками, но и возможностью влиять на индивидуальное восприятие пациентами результатов операционного вмешательства.

Ключевые слова: вальгусная деформация первого пальца стопы; *hallux valgus*; малоинвазивная хирургия; боль; ВАШ; удовлетворенность пациента.

 **Для цитирования:** Бонди Л., Оттонелло К., Джулиани П., Бонди Р., Джулиани Л. Психологические последствия чрескожной хирургической коррекции *hallux valgus*. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):105-110. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17720>.

 Лука Джулиани; e-mail: lucagiuliani92@virgilio.it

Рукопись получена: 16.05.2025. Рукопись одобрена: 15.07.2025. Статья опубликована онлайн: 04.08.2025.

© Бонди Л., Оттонелло К., Джулиани П., Бонди Р., Джулиани Л., 2025

INTRODUCTION

Hallux valgus is one of the most common chronic foot complaints with a prevalence of 23% in adults aged 18-65 years (CI: 16.3-29.6) and 35.7% in elderly people aged over 65 years (CI: 29.5-42.0) [1]. Corrective surgery for *hallux valgus* is one of the most frequently performed surgical procedures with more than 150 surgical techniques but none of them has proven its superiority over the other [2]. In the last decades, percutaneous forefoot surgery has become increasingly widespread, providing better outcomes for patients, less post-operative pain, shorter scar length and lower risk of infection and wound complications [3].

Additional advantages of this surgical technique also include faster post-operative recovery with immediate full weight bearing [4, 5]. S.A. Isham from the USA was the first surgeon who described the percutaneous forefoot surgery, and then the Spanish specialists Mariano de Prado and Pau Golano exported it in Europe [6, 7]. The percutaneous surgical treatment of *hallux valgus* involves several procedures, and there is still no evidence to recommend one minimally invasive technique over another [8].

Despite the evolution of the surgical technique, sometimes patients complain of dissatisfaction even though the objective post-operative parameters do not demonstrate obvious complications. In this study, we evaluate post-operative pain following percutaneous *hallux valgus* correction and investigate how psychological adaptation can influence individual pain perception.

The aim of this study — to evaluate psychological implications for post-operative pain perception after *hallux valgus* surgery in patients who had already undergone contralateral foot surgery.

METHODS

Between January 2014 and December 2016, 42 patients treated for percutaneous *hallux valgus* correction in two different time periods were enrolled in the study. For inclusion, the patients had to suffer from isolated bilateral mild-to-moderate *hallux valgus* [9] with no lateral toes deformity. Patients with a history of prior or current chronic pain, neurological or psychiatric disorders were excluded.

The surgery on the second foot was performed 3 to 6 months after the first one. The same percutaneous surgical procedure was performed in all patients by the same surgeon. They were randomly divided into two groups: group A was not given any indications about post-operative pain compared to the contralateral foot; patients from group B were informed by the surgeon that the pain would probably be worse than in the previous surgery on contralateral foot. Both

groups received the same anesthesiological and pharmacological support in the peri-operative period (ankle bi-block with naropine 7.5% and mepivacaine 2.0% before surgery; acetaminophen 1000 mg twice a day for seven days after surgery).

A week after second surgery, all patients were administered the visual analog scale (VAS) to judge post-operative pain, and each of them was evaluated clinically to monitor post-operative convalescence at one and at two weeks.

Surgical technique

The patient was placed on the operating table in the supine position. The foot was prepped and draped in a standard aseptic manner.

A small 2-3 mm incision was made on the medial aspect of the first metatarsal. Under image intensifier control, a toothpaste-like mixture of bone and blood was removed using a wedge burr (exostosectomy). The distal osteotomy (subcapital — proximally to sesamoid bones) according to the Bösch technique [10] was then performed through the same incision, so as to allow lateral movement of the metatarsal head (WOS, i.e. without osteosynthesis) [11]. Through a lateral dorsal small incision the release of the tendon of the muscle abductor of the *hallux* was finally performed. A functional dressing completed the surgical act, keeping the foot in its correct position because no internal fixation was performed. A final visualization under fluoroscopy confirmed the right correction.

Specific measures have been taken to limit tissue damage according to current literature. The blades used (attached to Beaver-type handles) were sufficiently thin to guarantee high precision incisions without damaging vessels, nerves or skin [5]. In addition the low-speed high-torque motor system used in conjunction with cooled irrigation fluid and discontinuous activations reduced the temperature and the risk of thermal injury and necrosis [12] while using the burrs. These procedures finally take advantage of mini image intensifiers which are easy to handle and provide extremely accurate images by emitting radiation doses that are 10 to 100 times lower than those provided by the conventional image [5].

Post-operative management

In the immediate post-operative period, the patients received written instructions aimed at the adequate management of pain and local edema. The instructions included specific drugs, forced rest, full weight bearing in a flat stiff shoe and thromboembolic prophylaxis.

At one and two weeks, the same surgeon assessed the patient clinically and radiologically, noting a good *hallux valgus* correction in all cases. No major complications were observed in our series.

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using the SPSS software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The VAS pain perception score was used as an outcome measure. To compare the outcome measure between groups A and B, we calculated changes from baseline as the percentage of variation $\{[(\text{follow-up value} / \text{baseline value}) \cdot 100] - 100\}$. After calculating changes from baseline, we repeatedly compared the results of group A and group B (difference of differences) through the Mann-Whitney U test. Throughout the statistical analysis, the significance level was set at 0.05.

RESULTS

The mean age of patients at the time of first surgery was 55.7 years and at the time of the second surgery — 56.7 years. Among 42 patients, there were 40 female and 2 male patients. The average VAS pain score was 1.03 (0.92 SD) and 1.55 (0.50 SD) after first surgery; 4.57 (2.09 SD) and 0.50 (0.62 SD) after second surgery for group A and group B, respectively. All patients reported no pain 7 days after surgery. These results show a significant difference ($p < 0.00001$) in pain perception compared to the preliminary information obtained during the pre-operative assessment.

DISCUSSION

The ability to objectively measure pain is an important component of health care, as it determines the effectiveness of medical interventions. The VAS was found to be accurate, valid, reliable and reproducible [13], and therefore it was chosen as the outcome measure in our study.

The relationship between a painful stimulus and pain perception is not linear as pain is modulated by individual emotional processes [14]. Affective modulation of pain is currently known in the literature: unpleasant emotions tend to increase the perception of the painful stimulus, differently from neutral or positive emotions [15, 16, 17, 18].

Memory also plays an important role in pain modulation. The researchers have found that a subject repeatedly exposed to pain develops a branched neural network for painful memories [19] and that activating pain projects in memory increases the pain perception of subsequent painful stimuli, compared to neutral information [20].

Thus, the pain perception is sensitive to various mental processes, such as someone's feelings and beliefs about pain, and it is not driven solely by harmful impact. More specifically, expectation seems to be one of the basic mechanisms in the cognitive modulation of pain [21].

The results of our study show a significant difference in pain perception compared to the

preliminary information obtained during the pre-operative assessment. This highlights how the concepts widely described in the literature are useful for the more specific management of post-operative pain in percutaneous *hallux valgus* correction.

In fact, the surgeon must not only take care of the technical practical part of the surgical operation, but also try to understand the patient's expectations and guide the perception of the post-operative outcome.

In this regard, it should be emphasized that it is essential to discuss expectations with the patient prior to surgery, as expectations themselves are the best predictors of post-operative satisfaction [22]. Failure to understand expectations leads to patient dissatisfaction [23]. This is particularly true in *hallux valgus* correction surgery: a high percentage (25-33%) of patients remain dissatisfied at follow-up, even if there is a functional improvement [24]. A thorough interview should be conducted with the patient also to evaluate the psychological component and specific personality traits. In fact, research suggests that a patient's subjective outcome after surgery may be influenced by certain individual personality profiles [25, 26, 27, 28]. Specifically, R. Radl et al. have shown that patients who, in the pre-operative time, had atypical traits (aggressive, impulsive or worried) were not completely satisfied even when faced with an objectively corrected *hallux valgus* deformity [29].

Study limitations

We recognize that this study has some shortcomings. Firstly, the follow-up period is very short (only 2 weeks); despite this, we think that 2nd week is a crucial period in the patient's perception of the overall outcome. Secondly, although we consider these results to be statistically significant, we believe that the study group is quite small. Therefore, we stress the need for further studies that would confirm the role of psychology in the surgery outcome and in the perception of pain.

CONCLUSION

The patients examined in our study, although presenting a memory of the pain developed following the first surgery, seem to be influenced by the indications of the surgeon provided preoperatively, which evidently influence their expectations and psychological aspect. Thus, not only the surgical procedure, but also information and dialogue with the patient are priorities in this type of treatment to achieve excellent post-operative satisfaction. This approach is useful in all cases, but it is recommended for psychologically fragile patients or for those with specific personality traits.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bondi L. — study concept and design, data acquisition.

Otonello C. — data acquisition, analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Giuliani P. — data acquisition, editing the manuscript.

Bondi R. — study concept and design, data acquisition.

Giuliani L. — data analysis and interpretation, literature search and review, statistical data processing.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

REFERENCES

1. Nix S., Smith M., Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res.* 2010;3:21. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-21>.
2. Singh M.S., Khurana A., Kapoor D., Katekar S., Kumar A., Vishwakarma G. Minimally invasive vs open distal metatarsal osteotomy for hallux valgus – A systematic review and meta-analysis. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(3):348-356. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.04.016>.
3. Lam P., Lee M., Xing J., Di Nallo M. Percutaneous Surgery for Mild to Moderate Hallux Valgus. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(3):459-477. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2016.04.001>.
4. Siddiqui N.A., LaPorta G., Walsh A.L., Abraham J.S., Beauregard S., Gdalevitch M. Radiographic Outcomes of a Percutaneous, Reproducible Distal Metatarsal Osteotomy for Mild and Moderate Bunions: A Multicenter Study. *J Foot Ankle Surg.* 2019;58(6):1215-1222. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.04.012>.
5. Bauer T. Percutaneous forefoot surgery. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(1 Suppl):191-204. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.06.017>.
6. Isham S.A. The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clin Podiatr Med Surg.* 1991;8(1):81-94.
7. De Prado M., Ripoll P.L., Golano P. Hallux valgus. In: *Chirurgia percutanea del pied.* Barcelona: Masson SA; 2003. p. 57-94.
8. Jeyaseelan L., Malagelada F. Minimally Invasive Hallux Valgus Surgery – A Systematic Review and Assessment of State of the Art. *Foot Ankle Clin.* 2020;25(3):345-359. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2020.05.001>.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Бонди Л. — концепция и дизайн исследования, сбор данных.

Оттонелло К. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста рукописи.

Джулиани П. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Бонди Р. — концепция и дизайн исследования, сбор данных.

Джулиани Л. — концепция и дизайн исследования, поиск и анализ публикаций, статистическая обработка данных.

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.

9. Coughlin M.J. Hallux valgus. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(6):932-966.
10. Bösch P., Wanke S., Legenstein R. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten-year follow-up. *Foot Ankle Clin.* 2000;5(3):485-498, v-vi.
11. Lucattelli G., Carcangiu A., Di Vavo I. WOS: a new technique for percutaneous correction of hallux valgus. Clinical and radiographical results in 324 consecutive patients. In: *Academy Hall G; Volume: Foot and Ankle Posters.* Las Vegas: American Academy of Orthopaedic Surgeon; 2015. p. 206-225.
12. Robinson D., Heller E., Yassin M. Comparing the Temperature Effect of Dedicated Minimally Invasive Motor System to the Discontinuous Use of Rotatory Burrs in the Correction of Hallux Valgus. *Foot Ankle Spec.* 2020;13(6):478-487. <https://doi.org/10.1177/1938640019890225>.
13. Scott J., Huskisson E.C. Graphic representation of pain. *Pain.* 1976;2(2):175-184.
14. Rhudy J.L., DelVentura J.L., Terry E.L., Bartley E.J., Olech E., Palit S. et al. Emotional modulation of pain and spinal nociception in fibromyalgia. *Pain.* 2013;154(7):1045-1056. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.03.025>.
15. Meagher M.W., Arnau R.C., Rhudy J.L. Pain and emotion: effects of affective picture modulation. *Psychosom Med.* 2001;63(1):79-90. <https://doi.org/10.1097/00006842-200101000-00010>.
16. de Wied M., Verbaten M.N. Affective pictures processing, attention, and pain tolerance. *Pain.* 2001;90(1-2):163-172. [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(00\)00400-0](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(00)00400-0).
17. Rhudy J.L., Williams A.E., McCabe K.M., Nguyen M.A., Rambo P. Affective modulation of nociception at spinal and supraspinal levels. *Psychophysiology.* 2005;42(5):579-587. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00313.x>.

18. Rhudy J.L., Williams A.E., McCabe K.M., Russell J.L., Maynard L.J. Emotional control of nociceptive reactions (ECON): do affective valence and arousal play a role? *Pain*. 2008;136(3):250-261. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2007.06.031>.
19. Weiss T., Miltner W.H., Dillmann J. The influence of semantic priming on event-related potentials to painful laser-heat stimuli in migraine patients. *Neurosci Lett*. 2003;340(2):135-138. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00103-4).
20. Swannell E.R., Brown C.A., Jones A.K., Brown R.J. Some Words Hurt More Than Others: Semantic Activation of Pain Concepts in Memory and Subsequent Experiences of Pain. *J Pain*. 2016;17(3):336-349. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2015.11.004>.
21. Wiech K., Ploner M., Tracey I. Neurocognitive aspects of pain perception. *Trends Cogn Sci*. 2008;12(8):306-313. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.05.005>.
22. Hsieh M.O., Kagle J.D. Understanding patient satisfaction and dissatisfaction with health care. *Health Soc Work*. 1991;16(4):281-290. <https://doi.org/10.1093/hsr/16.4.281>.
23. Iversen M.D., Daltroy L.H., Fossel A.H., Katz J.N. The prognostic importance of patient pre-operative expectations of surgery for lumbar spinal stenosis. *Patient Educ Couns*. 1998;34(2):169-178. [https://doi.org/10.1016/S0738-3991\(97\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0738-3991(97)00109-2).
24. Tai C.C., Ridgeway S., Ramachandran M., Ng V.A., Devic N., Singh D. Patient expectations for hallux valgus surgery. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2008;16(1):91-95. <https://doi.org/10.1177/230949900801600121>.
25. Hägg O., Fritzell P., Ekselius L., Nordwall A. Predictors of outcome in fusion surgery for chronic low back pain. A report from the Swedish Lumbar Spine Study. *Eur Spine J*. 2003;12(1):22-33. <https://doi.org/10.1007/s00586-002-0465-z>.
26. Wiltse L.L., Rocchio P.D. Preoperative psychological tests as predictors of success of chemonucleolysis in the treatment of the low-back syndrome. *J Bone Joint Surg Am*. 1975;57(4):478-483.
27. Straub T.A. Endoscopic carpal tunnel release: a prospective analysis of factors associated with unsatisfactory results. *Arthroscopy*. 1999;15(3):269-274. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(99\)70033-2](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(99)70033-2).
28. Tandon V., Campbell F., Ross E.R. Posterior lumbar interbody fusion. Association between disability and psychological disturbance in noncompensation patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(17):1833-1838. <https://doi.org/10.1097/00007632-199909010-00013>.
29. Radl R., Leithner A., Zacherl M., Lackner U., Egger J., Windhager R. The influence of personality traits on the subjective outcome of operative hallux valgus correction. *Int Orthop*. 2004;28(5):303-306. <https://doi.org/10.1007/s00264-004-0574-x>.

Authors' information

✉ Luca Giuliani

Address: Piazzale Aldo Moro 5, Italy, CAP: 00185, Rome

<https://orcid.org/0009-0000-2877-3169>

e-mail: lucagiuliani92@virgilio.it

Lucia Bondi

e-mail: l.bondi@libero.it

Carlo Ottonello

e-mail: carlo.ottonello@gmail.com

Paolo Giuliani

e-mail: dott.paologiuliani@libero.it

Rosaria Bondi

e-mail: dr.bondi.rosaria@gmail.com

Сведения об авторах

✉ Лука Джулиани

Адрес: Piazzale Aldo Moro 5, Italy, CAP: 00185, Rome

<https://orcid.org/0009-0000-2877-3169>

e-mail: lucagiuliani92@virgilio.it

Лучия Бонди

e-mail: l.bondi@libero.it

Карло Оттонелло

e-mail: carlo.ottonello@gmail.com

Паоло Джулиани

e-mail: dott.paologiuliani@libero.it

Розария Бонди

e-mail: dr.bondi.rosaria@gmail.com

Гистологические характеристики фасциального фиброматоза у пациентов с быстрым прогрессированием контрактуры Дюпюитрена

Н.А. Щудло, Т.А. Ступина, Т.Н. Варсегова, Д.А. Останина

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

Реферат

Актуальность. Исследования этиологии и патогенеза ладонного фасциального фиброматоза вплоть до настоящего времени остаются актуальными, однако данные о гистогенетической природе его быстрого прогрессирования и гистологических предикторах рецидивирования в литературе отсутствуют.

Цель исследования — сравнительный анализ тканевого состава и перфорантных артерий ладонного апоневроза у пациентов с быстрым и типичным развитием контрактуры Дюпюитрена.

Материал и методы. Проанализировано 222 истории болезни пациентов, прооперированных в период с 2014 по 2019 г. Срок формирования контрактуры Дюпюитрена (КД) в наиболее многочисленной группе ($n = 88$) — от трех до восьми лет — был определен как типичный; развитие КД за два года и менее ($n = 41$) интерпретировано как быстрое. Была проведена гистоморфометрия операционного материала при быстром ($n = 20$, группа 1) и типичном ($n = 25$, группа 2) прогрессировании КД. В качестве сравнения с нормой были использованы иссеченные при хирургической обработке ран кисти фрагменты ладонного апоневроза условно здоровых людей ($n = 5$).

Результаты. Медиана содержания гиперпластической соединительной ткани статистически значимо больше в группе 1 ($p < 0,05$), но показатель широко варьирует в обеих группах. В группе 1 была выявлена статистически значимо большая процентная доля содержания сосудов микроциркуляторного русла, в том числе патологически измененных и новообразующихся (CD34+). Гистоморфометрия перфорантных артерий ладонного апоневроза показала, что в артериях среднего калибра у пациентов групп 1 и 2 по сравнению с нормой наружный диаметр больше на 4% ($p < 0,05$) и 12,5% ($p < 0,01$) соответственно; диаметры просветов в группе 1 меньше на 30% ($p < 0,01$), а в группе 2 больше на 31% ($p > 0,05$). В артериях крупного калибра в группах 1 и 2 наружный диаметр по сравнению с контролем был меньше на 18% ($p < 0,01$) и 17% ($p > 0,05$), а диаметры просветов — меньше на 52% ($p = 0,00$) и 18% ($p > 0,05$) соответственно.

Заключение. Несмотря на меньшую давность заболевания, у пациентов с быстрым прогрессированием контрактуры Дюпюитрена выявлено увеличение численности патологически измененных сосудов микроциркуляторного русла и более выраженное стенотическое ремоделирование перфорантных артерий ладонного апоневроза, что верифицирует раннее сосудистое старение. Гистологические предикторы послеоперационного рецидивирования необходимо оценивать индивидуально.

Ключевые слова: ладонный фасциальный фиброматоз; контрактура Дюпюитрена; ремоделирование артерий; сосудистое старение.

 **Для цитирования:** Щудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Останина Д.А. Гистологические характеристики фасциального фиброматоза у пациентов с быстрым прогрессированием контрактуры Дюпюитрена. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):111-120. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17664>.

 Варсегова Татьяна Николаевна; e-mail: varstn@mail.ru

Рукопись получена: 23.01.2025. Рукопись одобрена: 06.05.2025. Статья опубликована онлайн: 17.07.2025.

© Щудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Останина Д.А., 2025

Histological Features of Fascial Fibromatosis in Patients with Rapidly Progressive Dupuytren's Contracture

Nathalia A. Shchudlo, Tatyana A. Stupina, Tatyana N. Varsegova, Daria A. Ostanina

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

Abstract

Background. Research into the etiology and pathogenesis of palmar fascial fibromatosis remains relevant to this day. However, the data on the histogenetic nature of its rapid progression and histological predictors of its recurrence are absent in the literature.

The aim of the study — to perform a comparative analysis of the tissue composition and perforating arteries of the palmar aponeurosis in patients with rapid and typical progression of Dupuytren's contracture.

Methods. A total of 222 medical records of patients operated on in the period from 2014 to 2019 were analyzed. The development period of Dupuytren's contracture (DC) in the largest group (n = 88) — from 3 to 8 years — was defined as typical; the development of DC in two years or less (n = 41) was interpreted as rapid. Histomorphometry of the surgical material was performed in cases of rapid (n = 20, Group 1) and typical (n = 25, Group 2) progression of DC. We used the fragments of palmar aponeurosis from conditionally healthy people (n = 5) as control samples. These were excised during surgical treatment of the hand wounds.

Results. The median content of hyperplastic connective tissue was statistically significantly higher in Group 1 ($p < 0.05$), though the indicator varied widely in both groups. Group 1 showed a statistically significantly higher proportion of microvasculature vessels, including pathologically altered and newly formed ones (CD34+). Histomorphometry of the perforating arteries of the palmar aponeurosis showed that, compared with the control samples, the outer diameter in medium-sized arteries in patients of Groups 1 and 2 is larger by 4% ($p < 0.05$) and 12.5% ($p < 0.01$), respectively. The lumen diameter is 30% smaller in Group 1 ($p < 0.01$) and 31% larger in Group 2 ($p > 0.05$). In large-caliber arteries in Groups 1 and 2, the outer diameter is smaller by 18% ($p < 0.01$) and 17% ($p > 0.05$) compared to the control, and the lumen diameter is smaller by 52% ($p = 0.00$) and 18% ($p > 0.05$), respectively.

Conclusion. Despite the shorter duration of the disease, patients with rapidly progressive Dupuytren's contracture showed an increase in the number of pathologically altered microcirculatory vessels, as well as more pronounced stenotic remodeling of the perforating arteries of the palmar aponeurosis, which verifies early vascular aging. Histologic predictors of postoperative recurrence should be assessed individually.

Keywords: palmar fascial fibromatosis; Dupuytren's contracture; arterial remodeling; vascular aging.

Cite as: Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N., Ostanina D.A. Histological Features of Fascial Fibromatosis in Patients with Rapidly Progressive Dupuytren's Contracture. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3): 111-120. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17664>.

✉ Tatyana N. Varsegova; e-mail: varstn@mail.ru

Submitted: 23.01.2025. Accepted: 06.05.2025. Published online: 17.07.2025.

© Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N., Ostanina D.A., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Контрактура Дюпюитрена развивается вследствие фибропролиферативного заболевания ладонной и пальцевой фасций — ладонного фасциального фиброматоза (ЛФФ). История и эпидемиология ЛФФ хорошо изучена, однако вплоть до настоящего времени остаются актуальными исследования его этиологии и патогенеза, разработка и обоснование методов лечения [1, 2]. Клинически заболевание проявляется формированием узлов, а затем и волокнистых тяжей, ограничивающих разгибание пальцев и вызывающих стойкие контрактуры, которые могут существенно влиять на повседневную активность и качество жизни [3]. Заболевание часто встречается у мужчин старше 40 лет с северо-европейским происхождением, склонных к употреблению алкоголя, курению и диабету [4, 5, 6], занимающихся тяжелым ручным трудом либо подвергающихся локальной вибрации, передаваемой через кисти рук [7, 8, 9].

Несмотря на обширные исследования молекулярной биологии ЛФФ [10], консервативные методы лечения его ранних проявлений в настоящее время не имеют доказательной базы [11]. Хирургическое лечение, направленное на иссечение или рассечение патологических хорд и коррекцию деформации кисти, улучшает качество жизни пациентов, но требует длительной послеоперационной реабилитации, нередко приводит к осложнениям и не избавляет пациентов от рецидивов, прогрессирования и распространения ЛФФ [12].

У большинства пациентов ЛФФ развивается медленно. По данным исследования, проведенного R.M. Reilly с соавторами, в среднем от появления узлов до развития контрактуры пястно-фалангового сустава более 30° проходит 8,7 года, а у 12% больных заболевание регрессирует [13]. В некоторых случаях контрактура может сформироваться за несколько лет или даже месяцев [14], причем более быстрое развитие характерно для пациентов моложе 50 лет [15]. Прогрессирование контрактуры — одно из основных показаний к оперативному лечению [16]. Однако, по мнению других авторов, оперировать необходимо в такой период времени, когда контрактура перестает прогрессировать, чтобы не спровоцировать рецидив [17, 18]. В доступной литературе мы не обнаружили исследований гистогенетической природы быстрого прогрессирования контрактуры Дюпюитрена и гистологических предикторов рецидивирования у таких пациентов.

Цель исследования — сравнительный количественный анализ тканевого состава и перфорантных артерий ладонного апоневроза у пациентов с быстрым и типичным развитием контрактуры Дюпюитрена.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — одноцентровое когортное нерандомизированное одномоментное.

Проведен ретроспективный анализ историй болезни 222 пациентов, прооперированных в период с 2014 по 2019 г. по поводу контрактуры Дюпюитрена.

Критерии включения: гистологически подтвержденный ЛФФ, наличие точных анамнестических данных о характере и сроках появления первых симптомов заболевания.

Критерий исключения — травмы кисти в анамнезе.

Характеристика пациентов

По давности ЛФФ пациенты были распределены на пять групп: менее 2 лет — 41 пациент; от 3 до 8 лет — 88; от 9 до 14 лет — 60; от 15 до 20 — 28; и более 20 — 5 пациентов. Срок формирования контрактуры Дюпюитрена в наиболее многочисленной группе (от 3 до 8 лет) был определен как типичный, а срок развития контрактуры за ≤ 2 года интерпретирован как быстрый. Группы пациентов с быстрым (группа 1, $n = 41$) и типичным (группа 2, $n = 88$) развитием контрактуры оказались сопоставимыми по возрасту ($58,39 \pm 9,73$ и $57,98 \pm 1,73$ соответственно) и степени контрактуры ($2,41 \pm 0,60$ и $2,54 \pm 0,55$ соответственно).

Гистоморфометрические исследования операционного материала, иссеченного при открытой фасциэктомии, были выполнены у 20 пациентов группы 1 и у 25 пациентов группы 2. Сравнимые выборки были стратифицированы по возрасту и степени контрактуры. В качестве сравнения с нормой использованы иссеченные при хирургической обработке ран кисти фрагменты ладонного апоневроза условно здоровых людей ($n = 5$).

Техника исследования

Операционный материал фиксировали в 4% растворе формалина. Через 1–3 дня проводили вырезку тканевых образцов и заливку по стандартной методике в парафин. На микротоме Reichert (Австрия) получали продольные и поперечные срезы апоневроза, которые затем окрашивали гематоксилином и эозином и трихромным методом по Массону.

Для иммуногистохимического анализа ангиогенеза использовали моноклональные антитела кролика к CD34 (CD34 [EP373Y] подходит для образцов человека) (Abcam, Великобритания). Для визуализации реакции применяли пероксидазную систему детекции с диаминобензидином с микрополимером (ab236469 — Rabbit specific HRP/DAB Detection IHC Detection Kit-Micropolymer, Abcam, Великобритания). Все этапы иммуногистохими-

ческой реакции проводились по протоколу, рекомендованному фирмой-производителем антител. Срезы докрашивали гематоксилином.

Для гистоморфометрического анализа тканевого состава и перфорантных артерий патологически измененного ладонного апоневроза были взяты репрезентативные микропрепараты операционного материала.

Изображения гистологических срезов оцифровывали с помощью микроскопа AxioScore A1 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия), оснащенного цифровой камерой AxioCam.

Для определения количественного соотношения гистоструктурных компонентов ладонного апоневроза с целью дифференцировки компонентов соединительной ткани применяли окраску трихромным методом по Массону. От каждого пациента анализировали не менее 30 полей зрения при инструментальном увеличении $\times 100$ (ок. 10; об. 10). Морфометрию проводили с использованием программы PhotoFiltre, методом точко-счетной планиметрии с помощью тестовой решетки равноудаленных точек с прозрачными центрами определяли процентную долю гистоструктурных компонентов ладонного апоневроза в тестовой площади: кровеносных сосудов, жировой соединительной ткани, рыхлой соединительной ткани, плотной соединительной ткани и гиперпластической соединительной ткани по критериям R.F. Warren [19]. В жировой ткани определяли процентную долю сосудов с признаками лимфоцитарно-гистиоцитарной инфильтрации и фиброза адвентиции.

В поперечных сечениях перфорантных артерий ладонного апоневроза диаметром 150–300 мкм (артерии среднего калибра) и более 300 мкм (артерии крупного калибра) в компьютерной программе «ВидеоТест-Мастер-Морфология 4.0» (ВидеоТест, Россия) измеряли наружный диаметр,

диаметр просвета, толщину сосудистой стенки и рассчитывали индекс Керногана как отношение толщины сосудистой стенки к диаметру просвета.

Статистический анализ

Для статистической обработки количественных данных использовали приложение к программе Excel AtteStat версии 9.3.1. Нормальность распределения показателей проверяли по критерию Шапиро–Уилка. Учитывая отклонения распределений некоторых выборок от нормального закона, мера центральной тенденции морфометрических параметров представлена в виде медианы и квартилей, минимальных и максимальных значений $Me [Q_1; Q_3]$ (min-max). С учетом малой численности выборок ($n < 30$) гипотезы о различиях переменных в группах проверяли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Для проверки равенства медиан трех сравниваемых групп использовали критерий Краскела–Уоллиса. Для оценки значимости отличий частотных показателей применяли критерий Барнарда.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В группе 1 было выявлено статистически значимо большее содержание гиперпластической соединительной ткани и кровеносных сосудов в ладонном апоневрозе (табл. 1).

Обнаружены выраженные отличия в строении гиперпластической соединительной ткани и васкуляризации жировой ткани у пациентов сравниваемых групп (рис. 1 и 2).

В группе 1 выявлена большая процентная доля патологически измененных сосудов преимущественно за счет сосудов с инфильтрированными стенками ($p = 0,0001$), в то время как в группе 2 больше доля кровеносных сосудов с фиброзно-измененными стенками (табл. 2).

Таблица 1

Процентная доля тканевых составляющих ладонного апоневроза в группах сравнения, $Me [Q_1; Q_3]$ (min-max)

Структурные компоненты	Группа 1	Группа 2	<i>p</i>
Жировая соединительная ткань	18,96 [8,59; 28,44] (1,25–56,24)	24,71 [17,20; 31,53] (0,43–46,94)	0,0563
Гиперпластическая соединительная ткань	20,43 [8,19; 32,21] (0,00–56,91)	17,61 [4,21; 30,61] (0,00–50,73)	0,0152
Рыхлая соединительная ткань	7,08 [5,09; 9,69] (2,51–22,04)	5,62 [3,71; 14,05] (1,10–25,42)	0,4219
Плотная соединительная ткань	35,07 [29,52; 52,87] (4,25–83,64)	44,22 [28,79; 52,88] (14,21–65,59)	0,4103
Сосуды	5,93 [4,44; 7,13] (3,13–10,77)	4,16 [2,51; 6,16] (1,07–9,38)	0,0177

p — уровень значимости отличий при сравнении групп 1 и 2 по критерию Манна–Уитни при $p < 0,05$.

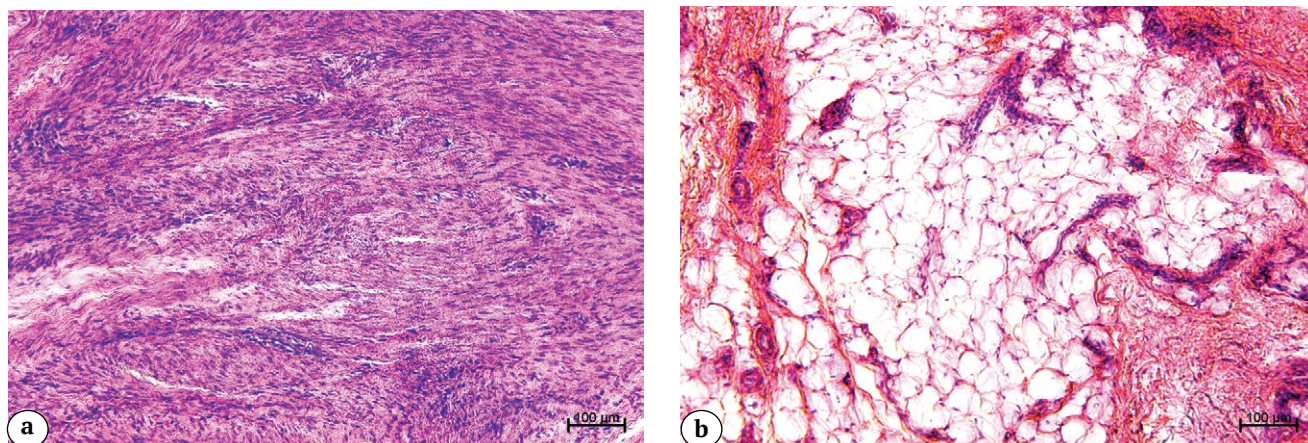


Рисунок 1. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 1:

а — гиперпластическая соединительная ткань с повышенным содержанием сосудов микроциркуляторного русла, высокой клеточной плотностью, вихреобразным (или палисадообразным) расположением клеток; б — в гипervasкуляризованной жировой дольке гиподермы выражены периваскулярная клеточная инфильтрация и экстравазация форменных элементов крови. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 100$

Figure 1. Paraffin sections of the surgical material from a Group 1 patient:

а — hyperplastic connective tissue with an increased content of microcirculatory vessels, high cell density, vortex-like (or palisade-like) arrangement of cells; б — in the hypervascularized fat lobule of the hypodermis, perivascular cellular infiltration and extravasation of blood cells are expressed. Hematoxylin and eosin staining. Magnification $\times 100$

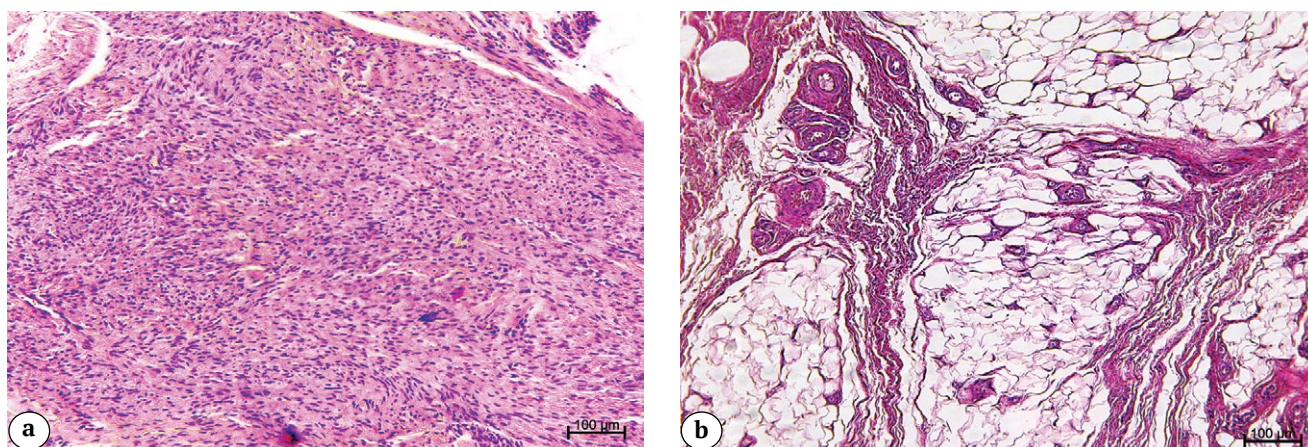


Рисунок 2. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 2:

а — гиперпластическая соединительная ткань с редко встречающимися сосудами и высокой клеточной плотностью; б — в жировой ткани преобладают сосуды с фиброзно-измененными утолщенными стенками. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 100$

Figure 2. Paraffin sections of the surgical material from a Group 2 patient:

а — hyperplastic connective tissue with sparse vessels and high cellular density; б — vessels with fibrously changed thickened walls predominate in adipose tissue. Hematoxylin and eosin staining. Magnification $\times 100$

Таблица 2

Процентная доля патологически измененных сосудов от всех сосудов микроциркуляторного русла в поле зрения в группах сравнения, Me [Q₁; Q₃] (min-max)

Патоморфологический признак	Группа 1	Группа 2	p
Периваскулярная лимфоцитарно-гистиоцитарная инфильтрация	23,27 [15,51; 38,81] (13,33–48,14)	14,55 [9,72; 22,44] (0,00–26,82)	0,0001
Периваскулярный фиброз	3,04 [1,85; 2,44] (0–20)	6,77 [2,77; 19,51] (0–29,03)	0,0001

p — уровень значимости отличий при сравнении групп 1 и 2 по критерию Барнарда при $p < 0,05$.

Экспрессия CD34 в эндотелии сосудов микроциркуляторного русла в гиперпластической соединительной ткани была более выражена в группе 1 (рис. 3).

Гистоморфометрия перфорантных артерий ладонного апоневроза показала, что в артериях среднего калибра в группах 1 и 2 наружный диаметр больше по сравнению с нормой медианы на 4% ($p < 0,05$) и 12,5% ($p < 0,01$) соответственно (рис. 4), при этом отличия показателей в группах 1 и 2 были статистически незначимы. Толщина стенки в группах 1 и 2 по сравнению с нормой больше на 55% ($p = 0,00$) и 9% ($p > 0,05$) соответственно, при этом отличия показателей в группах 1 и 2 были статистически значимы. Диаметр просвета артерий по сравнению с нормой в группе 1 меньше на 30% ($p < 0,01$), а в группе 2 больше на 31% ($p > 0,05$), отличия

показателей групп 1 и 2 были статистически значимы (табл. 3).

В артериях крупного калибра в группах 1 и 2 наружный диаметр по сравнению с нормой меньше на 18% ($p < 0,01$) и 17% ($p > 0,05$) соответственно (рис. 4), межгрупповая разница статистически значима. Толщина стенки у крупных артерий по сравнению с нормой больше на 27% в группе 1 ($p < 0,01$), но меньше на 5% в группе 2 ($p > 0,05$). Диаметр просвета крупных артерий в группах 1 и 2 в сравнении с нормой меньше на 52% ($p = 0,00$) и 18% ($p > 0,07$) соответственно.

Индекс Керногана в артериях среднего и крупного калибра в группе 1 больше в 2 и в 4 раза соответственно, а в группе 2 его изменения статистически незначимы, что отражает снижение пропускной способности перфорантных артерий у пациентов группы 1.

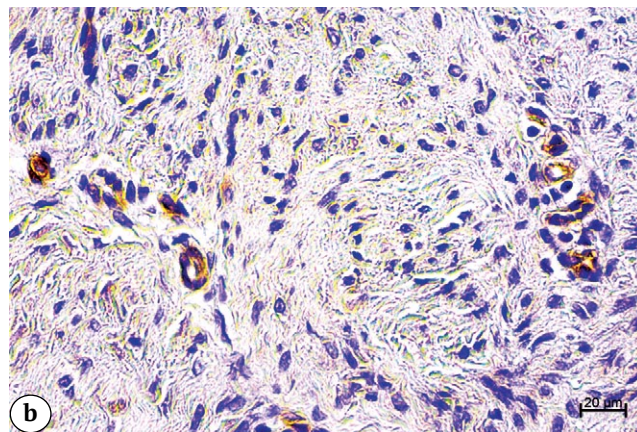
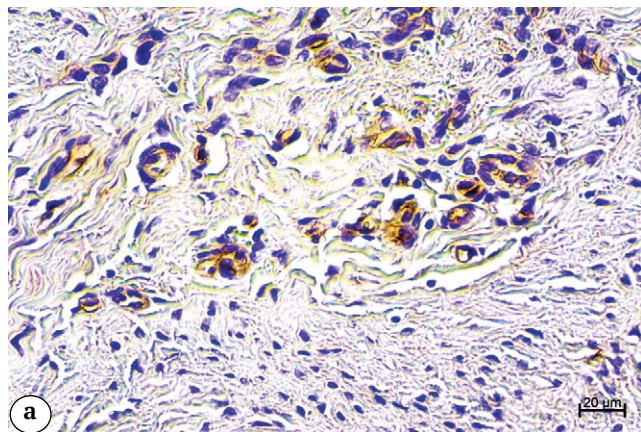


Рисунок 3. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 1 (а) и пациента из группы 2 (б). Экспрессия маркера CD34 в эндотелии сосудов микроциркуляторного русла в гиперпластической соединительной ткани. Иммуногистохимическая реакция с антителами к CD34, докраска гематоксилином. Увеличение $\times 400$

Figure 3. Paraffin sections of the surgical material from a Group 1 patient (a) and from a Group 2 patient (b). Expression of CD34 in the endothelium of microcirculatory vessels in hyperplastic connective tissue is observed. Immunohistochemical reaction with antibodies to CD34, counterstaining with hematoxylin. Magnification $\times 400$

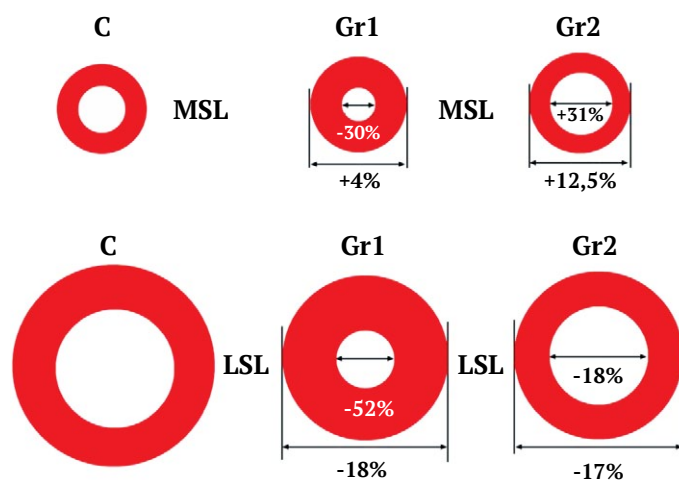


Рисунок 4. Условное масштабирование соотношений морфометрических параметров перфорантных артерий ладонного апоневроза у пациентов с контрактурой Дюпюитрена с контролем:

С — контроль (норма);

Gr1 — группа с быстрым развитием контрактуры;

Gr2 — группа с типичным развитием контрактуры;

MSL — артерии среднего калибра;

LSL — артерии большого калибра

Figure 4. Conditional scaling of the morphometric parameter ratios of the perforating arteries of the palmar aponeurosis in patients with Dupuytren's contracture compared to controls:

C — controls (norm);

Gr1 — a group with rapidly progressive contracture;

Gr2 — a group with typically progressive contracture;

MSL — medium caliber arteries;

LSL — large caliber arteries

Таблица 3

Количественные характеристики артерий среднего и крупного калибров,
Me [Q₁; Q₃]

Группа	Диаметр сосуда	Диаметр просвета	Толщина стенки	Индекс Керногана
<i>Артерии диаметром 150–300 мкм</i>				
Норма (н)	183,30 [177,54; 185,87] $p^{н-1} = 0,035^*$ $p^{н-2} = 0,005^*$ $p^{н-1-2} = 0,012^*$	96,61 [94,44; 99,39] $p^{н-1} = 0,005^*$ $p^{н-2} = 0,205$ $p^{н-1-2} = 0,0005^*$	42,09 [38,72; 43,20] $p^{н-1} = 1,3 \cdot 10^{-8}^*$ $p^{н-2} = 0,4470$ $p^{н-1-2} = 0,00001^*$	0,41 [0,41; 0,44] $p^{н-1} = 1,65 \cdot 10^{-6}^*$ $p^{н-2} = 0,0715$ $p^{н-1-2} = 0,000001^*$
Группа 1	190,76 [178,26; 203,76] $p^{1-2} = 0,145$	67,75 [54,26; 95,26] $p^{1-2} = 0,0003^*$	64,71 [56,06; 71,11] $p^{1-2} = 0,00017^*$	0,89 [0,59; 1,16] $p^{1-2} = 1,6 \cdot 10^{-10}^*$
Группа 2	205,83 [178,30; 248,00]	126,65 [78,41; 177,84]	45,75 [12,71; 68,81]	0,30 [0,18; 0,57]
<i>Артерии диаметром более 300 мкм</i>				
Норма (н)	412,80 [351,43; 506,31] $p^{н-1} = 0,005^*$ $p^{н-2} = 0,109$ $p^{н-1-2} = 0,008^*$	243,15 [223,07; 326,52] $p^{н-1} = 7,6 \cdot 10^{-5}^*$ $p^{н-2} = 0,175$ $p^{н-1-2} = 0,0007^*$	89,03 [65,97; 88,88] $p^{н-1} = 0,008^*$ $p^{н-2} = 0,902$ $p^{н-1-2} = 0,091$	0,30 [0,27; 0,41] $p^{н-1} = 7,6 \cdot 10^{-5}^*$ $p^{н-2} = 0,1757$ $p^{н-1-2} = 0,224$
Группа 1	337,71 [309,26; 333,24] $p^{1-2} = 0,035^*$	117,13 [92,37; 175,40] $p^{1-2} = 0,041^*$	113,36 [109,68; 120,44] $p^{1-2} = 0,2598$	1,12 [0,83; 1,20] $p^{1-2} = 0,0137^*$
Группа 2	343,90 [333,16; 470,83]	200,66 [137,67; 259,00]	84,84 [45,28; 135,23]	0,34 [0,30; 0,67]

$p^{н-1}, p^{н-2}$ — уровни значимости отличий при сравнении нормы с группой 1 и группой 2 по критерию Манна–Уитни;
 p^{1-2} — уровни значимости отличий при сравнении групп с быстрым и типичным течением заболевания;
 $p^{н-1-2}$ — уровни значимости отличий при сравнении трех исследуемых групп критерием Краскела–Уоллиса;
 * — различия значимы при $p < 0,05$.

ОБСУЖДЕНИЕ

В ранних гистологических исследованиях ЛФФ прогрессирующее фиброзное замещение жировой ткани, покрывающей ладонный апоневроз и располагающейся между его слоями, рассматривалось в качестве основного патогенетического фактора заболевания. В литературе отмечалось, что фиброзное замещение адипоцитов происходило преимущественно вокруг сосудов [20]. Было также сформировано понятие «гиперпластическая соединительная ткань», замещающая жировую ткань и характеризующаяся повышенной клеточностью и пролиферативной активностью [19]. Эти критерии были положены в основу гистологической классификации болезни Дюпюитрена, которая, по мнению авторов, позволяла оценить вероятность послеоперационного рецидива контрактуры [21], однако эта классификация не предусматривает использования количественных показателей.

В выполненном нами гистоморфометрическом исследовании содержание гиперпластической соединительной ткани в операционном материале пациентов с быстрым развитием контрактуры оказалось статистически значимо больше, чем

у пациентов с типичным развитием контрактуры, однако в обеих сравниваемых группах показатель широко варьировал. Поэтому для уточнения вопроса о вероятности рецидивов при быстром развитии контрактуры необходимы дополнительные клинико-статистические исследования.

Комплексное иммуногистохимическое исследование ЛФФ, проведенное ранее другими авторами, документирует повышение клеточности фиброзных тяжей патологически измененного апоневроза с увеличением количества миофибробластов, изменением соотношений типов коллагена, увеличением содержания ретикулярных волокон и снижением количества эластических волокон [22]. Причина ЛФФ до настоящего времени неизвестна, однако общепризнанно, что активация трансформирующего фактора роста $\beta 1$ и пролиферация миофибробластов происходит под влиянием микрососудистой ангиопатии и тканевой ишемии [23], причем на ранних стадиях ЛФФ характеризуется фокальным повышением васкуляризации, экстравазацией форменных элементов крови и лимфоцитарной околососудистой инфильтрацией [24].

В выполненном нами исследовании впервые проведено сравнение операционного материала пациентов с быстрым и типичным развитием контрактуры Дюпюитрена. У пациентов с быстрым развитием контрактуры увеличено содержание сосудов микроциркуляторного русла — как патологически измененных (с признаками периваскулярной лимфоцитарно-гистиоцитарной инфильтрации либо периваскулярного фиброза), так и новообразующихся. Новообразующиеся сосуды микроциркуляторного русла выявлены иммуногистохимически реакцией с CD34 и, вероятно, отражают компенсаторно-приспособительные изменения в ответ на ишемию, обусловленную констрикцией ладонной дуги и пальцевых артерий локтевой стороны кисти, которая была выявлена нами ранее [25]. Вазоконстрикция ладонной дуги и пальцевых артерий приводила к структурной перестройке (ремоделированию) артерий, перфорирующих ладонный апоневроз [26]. Его выраженность не зависела от возраста пациентов, а направленность различалась в зависимости от калибра артерий [26]: в артериях среднего калибра преобладало экспансивное ремоделирование (увеличение диаметра артерии и просвета), а в артериях крупного калибра — констриктивное ремоделирование с уменьшением диаметра и просвета артерий.

В данном исследовании получены аналогичные данные в группе пациентов с типичным развитием контрактуры Дюпюитрена и впервые установлено, что при быстром развитии контрактуры ремоделирование артерий среднего и крупного калибров носит однонаправленный стенотический характер и более выражено, чем в группе пациентов с типичным развитием контрактуры.

Поскольку сравниваемые группы сопоставимы по возрасту, более выраженное стенотическое ремоделирование перфорантных артерий ладонного апоневроза у пациентов с быстрым развитием контрактуры может свидетельствовать о синдроме раннего (или ускоренного) старения сосудистого русла. Этот феномен проявляется нарушениями эндотелиального барьера, утолщением интимомедиального комплекса, сужением артерий и их просветов, увеличением скорости распространения пульсовой волны и повышением жесткости

артерий эластического типа [27]. Среди факторов риска известны не только генетические и эпигенетические факторы, включая метаболический синдром, артериальную гипертензию, курение и дисплазию соединительной ткани [28], но и вредные условия труда [29]. До шестой декады жизни эндотелиальная дисфункция и жесткость артерий более выражена у мужчин, чем у женщин [30]. В аналогичный период жизни риск развития болезни Дюпюитрена также выше у мужчин, хотя с возрастом разница в частоте заболеваемости мужчин и женщин снижается [31]. Эти данные независимых исследований подтверждают гипотезу о взаимосвязи болезни Дюпюитрена с сосудистым старением, которое неизбежно для всех людей, но при наличии факторов риска развивается ускоренно.

У большинства пациентов с болезнью Дюпюитрена низкий индекс массы тела, сравнимые с условно здоровым контролем артериальное давление, уровень общего холестерина и липидный профиль [32], однако дислипидемия ассоциирована с агрессивным фиброматозом [7]. Поскольку распространенность болезни Дюпюитрена увеличивается [33, 34], необходимы дальнейшие исследования коморбидного статуса и факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний у различных групп пациентов с контрактурой Дюпюитрена и, прежде всего, с быстро прогрессирующей.

Ограничения исследования

Для уточнения вопроса о вероятности рецидивов при быстром развитии контрактуры необходимо увеличение объема выборок и проведение расширенного статистического анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на меньшую давность заболевания, у пациентов с быстрым прогрессированием контрактуры Дюпюитрена выявлено увеличение численности патологически измененных сосудов микроциркуляторного русла и более выраженное стенотическое ремоделирование перфорантных артерий ладонного апоневроза, что верифицирует раннее сосудистое старение. Гистологические предикторы послеоперационного рецидивирования необходимо оценивать индивидуально.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shchudlo N.A. — study concept and design, drafting the manuscript.

Stupina T.A. — processing of the material, statistical data processing, drafting the manuscript.

Varsegova T.N. — collection and processing of material, statistical data processing, drafting the manuscript.

Ostanina D.A. — processing of the material, drafting the manuscript.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Щудло Н.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста рукописи.

Ступина Т.А. — обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Варсегова Т.Н. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Останина Д.А. — обработка материала, 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 пациентов на публикацию медицинских данных и изображений.

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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Phan R., Hunter-Smith D.J., Rozen W.M. Recent Australian contributions to the management of Dupuytren's disease. *Australas J Plast Surg.* 2020;3(1): 39-46. <https://doi.org/10.34239/ajops.v3n1.151>.
- Идрисов Х.К., Родоманова Л.А. Восполнение дефицита кожного покрова после субтотальной апоневрэктомии при контрактуре Дюпюитрена тяжелой степени: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2022;28(2):114-123. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1767>.
Idrisov Kh.K., Rodomanova L.A. Skin Closure After Subtotal Aponeurectomy in Severe Dupuytren's Contracture: Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28(2):114-123. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1767>.
- Wilburn J., McKenna S.P., Perry-Hinsley D., Bayat A. The impact of Dupuytren disease on patient activity and quality of life. *J Hand Surg Am.* 2013;38(6):1209-1214. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2013.03.036>.
- Trojan T.H., Chu S.M. Dupuytren's disease: diagnosis and treatment. *Am Fam Physician.* 2007;76(1):86-89.
- van Straalen R.J.M., de Boer M.R., Vos F., Werker P.M.N., Broekstra D.C. The incidence and prevalence of Dupuytren's disease in primary care: results from a text mining approach on registration data. *Scand J Prim Health Care.* 2025;43(1):173-180. <https://doi.org/10.1080/02813432.2024.2416678>.
- Salari N., Heydari M., Hassanabadi M., Kazeminia M., Farshchian N., Niaparast M. et al. The worldwide prevalence of the Dupuytren disease: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):495. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01999-7>.
- Morelli I., Frascini G., Banfi A.E. Dupuytren's Disease: Predicting Factors and Associated Conditions. A Single Center Questionnaire-Based Case-Control Study. *Arch Bone Jt Surg.* 2017;5(6):384-393.
- Nilsson T., Wahlström J., Reierth E., Burström L. Dupuytren's Disease in Relation to the Exposure to Hand-Transmitted Vibration: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Proceedings.* 2023;86(1):30. <https://doi.org/10.3390/proceedings2023086030>.
- Ruettermann M., Hermann R.M., Khatib-Chahidi K., Werker P.M.N. Dupuytren's Disease-Etiology and Treatment. *Dtsch Arztebl Int.* 2021;118(46):781-788. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0325>.
- O'Gorman D.B., Vi L., Gan B.S. Molecular mechanisms and treatment strategies for Dupuytren's disease. *Ther Clin Risk Manag.* 2010;6:383-390. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s9165>.
- Ball C., Izadi D., Verjee L.S., Chan J., Nanchahal J. Systematic review of non-surgical treatments for early Dupuytren's disease. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17(1):345. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1200-y>.
- Rijssen A.L., Ter Linden H., Werker P.M.N. Five-year results of a randomized clinical trial on treatment in Dupuytren's disease: percutaneous needle fasciotomy versus limited fasciectomy. *Plast Reconstr Surg.* 2012;129(2):469-477. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e31823aea95>.
- Reilly R.M., Stern P.J., Goldfarb C.A. A retrospective review of the management of Dupuytren's nodules. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):1014-1018. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2005.03.005>.
- Townley W.A., Baker R., Sheppard N., Grobelaar A.O. Dupuytren's contracture unfolded. *BMJ.* 2006;332(7538):397-400. <https://doi.org/10.1136/bmj.332.7538.397>.
- Gudmundsson K.G., Arngrimsson R., Jónsson T. Eighteen years follow-up study of the clinical manifestations and progression of Dupuytren's disease. *Scand J Rheumatol.* 2001;30(1):31-34. <https://doi.org/10.1080/030097401750065292>.
- Bayat A., McGrouther D.A. Management of Dupuytren's disease-clear advice for an elusive condition. *Ann R Coll Surg Engl.* 2006;88(1):3-8. <https://doi.org/10.1308/003588406X8310>.
- Dumitrescu-Ionescu D. A New Therapeutic Approach to Dupuytren's Contracture / Disease (DD). *Adv Plast Reconstr Surg.* 2017;1(5):129-136.
- Dutta A., Jayasinghe G., Deore S., Wahed K., Bhan K., Bakti N. et al. Dupuytren's Contracture – Current Concepts. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(4):590-596. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.03.026>.
- Warren R.F. The pathology of Dupuytren's contracture. *Br J Plast Surg.* 1953;6(3):224-230.
- MacCallum S.P., Hueston J.T. The pathology of Dupuytren's contracture. *ANZ J Surg.* 1962;31(4):241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.1962.tb03271.x>.
- Balaguer T., David S., Ihrat T., Cardot N., Daideri G., Lebreton E. Histological staging and Dupuytren's disease recurrence or extension after surgical treatment: a retrospective study of 124 patients. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009;34(4):493-496. <https://doi.org/10.1177/1753193409103729>.

22. Alfonso-Rodríguez C.A., Garzón I., Garrido-Gómez J., Oliveira A.C., Martín-Piedra M.Á., Scionti G. et al. Identification of histological patterns in clinically affected and unaffected palm regions in Dupuytren's disease. *PLoS One*. 2014;9(11):e112457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112457>.
23. Zhang A.Y., Kargel J.S. The Basic Science of Dupuytren Disease. *Hand Clin*. 2018;34(3):301-305. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2018.03.001>.
24. Shum D.T. Histopathology. In: McFarlane P.M., McGrouther D.A., Flint M.H. (eds). *Dupuytren's disease*. New York: Churchill Livingstone; 1990. p. 25-30.
25. Долганова Т.И., Щудло Н.А., Шабалин Д.А., Костин В.В. Оценка гемодинамики артерий кисти и микроциркуляции кожи при контрактуре Дюпюитрена 3–4 стадий до и после оперативного лечения с применением чрескостной фиксации по Г.А. Илизарову. *Гений ортопедии*. 2019;25(1):86-92. <https://doi.org/10.18019/1029-4427-2019-25-1-86-92>.
26. Долганова Т.И., Шчудло Н.А., Шабалин Д.А., Костин В.В. Assessment of hemodynamics of the hand arteries and skin microcirculation in Dupuytren's contracture stages 3 to 4 of before and after surgical treatment with the use of Ilizarov transosseous fixation. *Genij Ortopedii*. 2019;25(1):86-92. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1029-4427-2019-25-1-86-92>.
27. Щудло Н.А., Варсегова Т.Н., Ступина Т.Н., Щудло М.М. Типы и стадии сосудистого ремоделирования при контрактуре Дюпюитрена (анализ 506 артерий в операционном материале 111 пациентов). *Гений ортопедии*. 2020;26(2):179-184. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-2-179-184>.
28. Shchudlo N.A., Varsegova T.N., Stupina T.A., Shchudlo M.M. Types and stages of vascular remodeling in Dupuytren's contracture (analysis of 506 arteries in the surgical material of 111 patients). *Genij Ortopedii*. 2020;26(2):179-184. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-2-179-184>.
29. Nilsson P.M. Early vascular aging (EVA): consequences and prevention. *Vasc Health Risk Manag*. 2008;4(3):547-552. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s1094>.
30. Евсеева М.Е., Ерёмин М.В., Ростовцева М.В., Сергеева О.В., Фурсова Е.Н., Русиди А.В. и др. Фенотипы преждевременного и благоприятного сосудистого старения у лиц молодого возраста с учетом профиля факторов риска и признаков дисплазии соединительной ткани. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020;19(6):2524. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2524>.
31. Evseveva M.E., Eremin M.V., Rostovtseva M.V., Sergeeva O.V., Fursova E.N., Rusidi V.A. et al. Phenotypes of early and favorable vascular aging in young people depending on the risk factors and presence of connective tissue dysplasia. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2020;19(6):2524. (In Russian). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2524>.
32. Рудой М.Д. Распространенность синдрома раннего сосудистого старения у мужчин, работающих в условиях воздействия шума. *Архивъ внутренней медицины*. 2024;14(1):72-80. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2024-14-1-72-80>.
33. Rudoi M.D. Prevalence of Early Vascular Aging Syndrome in Men Working Under Noise Exposure. *The Russian Archives of Internal Medicine*. 2024;14(1):72-80. (In Russian). <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2024-14-1-72-80>.
34. Merz A.A., Cheng S. Sex differences in cardiovascular ageing. *Heart*. 2016;102(11):825-831. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-308769>.
35. Calandruccio J.H. Dupuytren's contracture. In: Azar F.M., Beaty J.H., Canale S.T. (eds). *Campbell's Operative Orthopaedics*. St. Louis, MO: Elsevier; 2017. p. 3734-3749.
36. Mathieu S., Pereira B., Dutheil F., Tournadre A., Soubrier M. Cardiovascular Risk Profile in Dupuytren's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cardiol Cardiovasc Med*. 2024;8(5):440-454. <https://doi.org/10.26502/fccm.92920405>.
37. Broekstra D.C., Kuo R.Y.L., Burn E., Prieto-Alhambra D., Furniss D. Dupuytren Disease: Prevalence, Incidence, and Lifetime Risk of Surgical Intervention. A Population-Based Cohort Analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2023;151(3):581-591. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000009919>.
38. Жигало А.В., Почтенко В.В., Морозов В.В., Березин П.А., Баранов В.В., Наконечный Д.Г. и др. Особенности хирургической тактики лечения больных с контрактурой Дюпюитрена (наш опыт). *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2024;27(1):70-81. <https://doi.org/10.52581/1814-1471/88/07>.
39. Zhigalo A.V., Pochtenko V.V., Morozov V.V., Berezin P.A., Baranov V.V., Nakonechny D.G. et al. Pecial features of surgical approach for patients with Dupuytren's contracture (our experience). *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2024;27(1):70-81. (In Russian). <https://doi.org/10.52581/1814-1471/88/07>.

Сведения об авторах

✉ Варсегова Татьяна Николаевна — канд. биол. наук
Адрес: Россия, 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6
<https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>
e-mail: varstn@mail.ru

Щудло Наталья Анатольевна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>
e-mail: nshchudlo@mail.ru

Ступина Татьяна Анатольевна — д-р биол. наук
<https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>
e-mail: StupinaSTA@mail.ru

Останина Дарья Андреевна
<https://orcid.org/0000-0002-4399-2973>
e-mail: ostaninadar@yandex.ru

Authors' information

✉ Tatyana N. Varsegova — Cand. Sci. (Biol.)
Address: 6, M. Ulyanova st., Kurgan, 640014, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>
e-mail: varstn@mail.ru

Nathalia A. Shchudlo — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>
e-mail: nshchudlo@mail.ru

Tatyana A. Stupina — Dr. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>
e-mail: StupinaSTA@mail.ru

Daria A. Ostanina
<https://orcid.org/0000-0002-4399-2973>
e-mail: ostaninadar@yandex.ru

Способ оперативного доступа при вмешательствах на ахилловом сухожилии

Е.С. Цыбуль, Л.А. Родоманова, В.И. Малышев

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

Реферат

Актуальность. Малая подвижность кожи задней поверхности нижней трети голени, а также небольшое количество подкожно-жировой клетчатки и близкое расположение ахиллова сухожилия определяют склонность к формированию дефекта тканей после оперативного вмешательства в этой области. Предложено большое количество оперативных доступов, однако ни один из них не решает проблему устранения дефекта при коррекции стойкой эквинусной установки стопы.

Цель исследования — продемонстрировать новый способ оперативного доступа при реконструкции ахиллова сухожилия.

Техника операции. Оперативный доступ для удлинения ахиллова сухожилия заключался в формировании дугообразного разреза и последовательном выделении кожного, а затем фасциального лоскута. Устраняли укорочение ахиллова сухожилия путем выполнения Z-образной пластики, после чего сначала укрывали сухожильную ткань фасциальным лоскутом, затем частично ушивали кожу, не допуская натяжения тканей. Оставшийся дефект мягких тканей восполняли кожным трансплантатом. Пациентам проводили гипсовую иммобилизацию в течение 6 нед., после чего разрешали полную нагрузку на оперированную ногу и назначали курс лечебной физкультуры.

Заключение. Описанный способ доступа прост в выполнении и позволяет одновременно заместить дефект покровных тканей после устранения эквинусной установки стопы.

Ключевые слова: ахиллово сухожилие; оперативный доступ; дефект мягких тканей; эквинусная установка стопы.

 **Для цитирования:** Цыбуль Е.С., Родоманова Л.А., Малышев В.И. Способ оперативного доступа при вмешательствах на ахилловом сухожилии. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):121-128. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17693>.

 Цыбуль Евгений Сергеевич; e-mail: na4med@inbox.ru

Рукопись получена: 13.03.2025. Рукопись одобрена: 02.04.2025. Статья опубликована онлайн: 14.07.2025.

© Цыбуль Е.С., Родоманова Л.А., Малышев В.И., 2025

A New Surgical Approach for Reconstruction of the Achilles Tendon

Evgeny S. Tsybul, Lyubov A. Rodomanova, Vladislav I. Malyshev

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

Abstract

Background. The limited skin mobility on the posterior surface of the lower third of the leg, along with a small amount of subcutaneous fat and the close proximity of the Achilles tendon, predisposes this area to tissue defects following surgery. Numerous surgical approaches have been proposed; however, none of them completely address the problem of tissue defect elimination when correcting persistent equinus foot deformity.

The aim of the study — to demonstrate a new surgical approach for Achilles tendon reconstruction.

Surgical technique description. The surgical approach for Achilles tendon lengthening involved creating an arched incision and sequentially isolating the skin and fascial flaps. Achilles tendon shortening was corrected using Z-plasty. After that, the tendon was covered first with a fascial flap, and then the skin was partially sutured without tension. The remaining soft tissue defect was covered with a skin graft. Patients underwent 6 weeks of plaster immobilization, after which full weight-bearing on the operated leg and physical therapy was allowed.

Conclusion. The described surgical approach is simple to perform and allows for the simultaneous replacement of tissue defects following the correction of equinus foot deformity.

Keywords: Achilles tendon; surgical approach; soft tissue defect; equinus foot deformity.

Cite as: Tsybul E.S., Rodomanova L.A., Malyshev V.I. A New Surgical Approach for Reconstruction of the Achilles Tendon. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):121-128. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17693>.

✉ Evgeny S. Tsybul; e-mail: na4med@inbox.ru

Submitted: 13.03.2025. Accepted: 02.04.2025. Published online: 14.07.2025.

© Tsybul E.S., Rodomanova L.A., Malyshev V.I., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Подкожные повреждения ахиллова сухожилия составляют 20% среди всех разрывов сухожилий и мышц [1, 2, 3, 4, 5]. И хотя среди специалистов все еще ведутся споры о лучшем способе лечения острых разрывов ахиллова сухожилия, его первичная пластика ассоциируется в основном с хорошими результатами, снижением частоты повторных разрывов и повышением прочности сухожилия, а также увеличением силы мышц и их выносливости по сравнению с консервативными методами [6, 7]. Однако способы оперативного лечения, в свою очередь, сопряжены с повышенным риском хирургических осложнений, которые можно разделить на следующие основные категории: расхождение краев раны вследствие избыточного натяжения, поверхностный или глубокий инфекционный процесс и повторный разрыв сухожилия. Поскольку эти проблемы не являются взаимоисключающими, очень часто краевой некроз и расхождение краев операционной раны приводят к инфицированию области хирургического вмешательства и последующему разрыву восстановленного сухожилия [8]. Относительно высокая частота инфекционных осложнений после открытого восстановления, по различным данным, варьируется от 1,7 до 21% [9, 10, 11].

Специалисту, занимающемуся лечением данной категории пациентов, важно понимать и прогнозировать потенциальные факторы риска, связанные с проблемами мягких тканей этой области. К таким факторам могут относиться: неправильное планирование операционного доступа, формирование кожных лоскутов с избыточно острыми углами при Z-пластике, желание устранить дефект тканей чрезмерным натяжением краев раны, агрессивная хирургическая техника при манипуляциях. Все вышеперечисленное может приводить к образованию краевых некрозов, которые в случае самостоятельного заживления могут увеличить площадь рубца. Нередко подобные некрозы приводят к расхождению краев раны и формированию дефекта мягких тканей, требующего пластического замещения [12, 13].

Анализ современной литературы показывает, что исследования, касающиеся типа и количества послеоперационных осложнений после удлинения ахиллова сухожилия при устранении эквинусного положения стопы, практически отсутствуют. Однако можно предположить, что основной сложностью при таких манипуляциях является формирующийся дефицит мягких тканей по задней поверхности нижней трети голени. Решением этой

проблемы может стать тщательное планирование хирургического доступа и способа устранения дефицита мягких тканей при его возникновении.

Достаточно большая вариативность хирургических доступов, применяемых при реконструкции, и анатомические особенности области ахиллова сухожилия показывают, что оптимального подхода, удовлетворяющего всем требованиям оперативного пособия при различных типах восстановления ахиллова сухожилия, не существует.

Цель исследования — продемонстрировать новый способ оперативного доступа при реконструкции ахиллова сухожилия.

Предложенный нами метод является модификацией и дополненной версией доступа, описанного Е. Abraham и А. Pankovich, при котором кожу и фасцию одномоментно рассекают дугообразным разрезом, вершина которого проходит по медиальной поверхности ахиллова сухожилия [14]. Идея разработанного способа оперативного доступа при вмешательствах на ахилловом сухожилии заключается в формировании двух кровоснабжаемых лоскутов (кожного и фасциально-жирового), что позволяет одномоментно заместить образующийся после устранения эквинусного положения стопы дефект мягких тканей задней поверхности голени с помощью последующей пластики полнослойным кожным трансплантатом (патент РФ на изобретение № 2766042).

Техника операции

В положении пациента на животе производили дугообразный разрез кожи с выкраиванием лоскута по задней поверхности голени от места крепления ахиллова сухожилия к пяточной кости до уровня на 5 см дистальнее сухожильно-мышечного перехода длиной около 15 см. Основание лоскута обращено медиально. При этом точки начала и окончания разреза расположены по срединной линии задней поверхности голени, а вершина разреза располагается на латеральном крае ахиллова сухожилия. Затем формировали кожный лоскут, отслаивая кожу до подлежащей фасции от латерального края к медиальному. Далее производили дугообразный разрез фасции, который зеркально отображал предыдущий кожный разрез. При этом верхняя и нижняя точки этого разреза были также соединены срединной линией задней поверхности голени, а основание лоскута было обращено латерально. В результате формировали кровоснабжаемый фасциально-жировой лоскут, обеспечивая доступ к ахиллову сухожилию, икроножный нерв при этом оставался интактным (рис. 1).

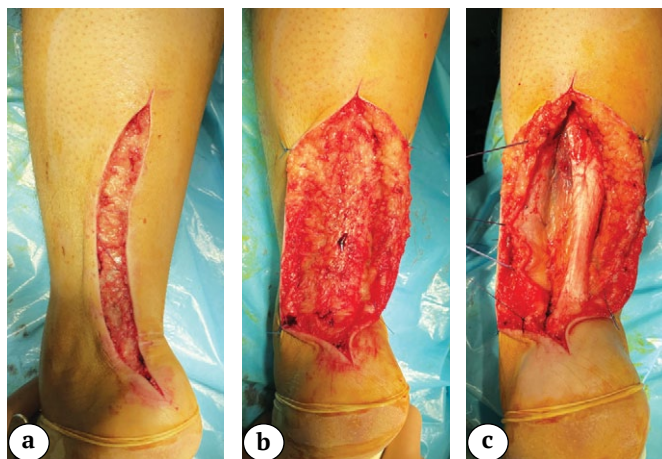


Рисунок 1. Выкраивание кожного и фасциально-жирового лоскутов:
 а — дугообразный разрез кожи;
 б — формирование кожного лоскута с основанием, обращенным медиально;
 с — формирование фасциального лоскута с основанием, обращенным латерально

Figure 1. Dissection of skin and adipofascial flaps:
 a — an arched skin incision;
 b — formation of a skin flap with the base facing medially;
 c — formation of a fascial flap with the base facing laterally

Далее удлинняли на необходимое расстояние ахиллово сухожилие, пересекая его Z-образно и выводя стопу под углом 90° к голени. В трех случаях удлинение сухожилия было выполнено на 5 см, у 2 пациентов — на 6 см и в одном клиническом примере на 7 см. После устранения эквинусного положения стопы избыточное натяжение кожи не позволило первично ушить операционную рану ввиду высокого риска формирования краевого некроза. Чтобы избежать подобного осложнения, закрытие раны производилось следующим образом: сухожилие закрывали фасциальным лоскутом, подшивая его к медиальному краю раны, при этом восстанавливали скользящий аппарат ахиллова сухожилия. Далее, не допуская избыточного натяжения, поочередно начиная с верхнего и нижнего концов раны, частично ушивали кожу над фасциальным лоскутом. На этом этапе примерно в середине раны оставался дефект покровной ткани овальной формы, дном которого являлся хорошо кровоснабжаемый фасциальный лоскут. Размер дефекта составлял в среднем 5 см^2 . Для окончательной пластики осуществляли забор полнослойного кожного трансплантата с задней или боковой поверхностей голени. Выполняли обработку трансплантата от подкожно-жировой

клетчатки, перфорировали, после чего подшивали к краям дефекта в достаточном натяжении, а затем придавливали валиком для обеспечения максимально плотного контакта с кровоснабжаемой фасцией. Донорское место в области забора кожного трансплантата ушивали в линию (рис. 2).

После завершения операции рану дренировали, накладывали асептическую повязку и фиксировали стопу и голеностопный сустав гипсовой лонгетой в положении 90° . У двух пациентов ввиду остаточной ригидности голеностопного сустава после удлиняющей пластики ахиллова сухожилия мы выполнили трансартикулярную фиксацию двумя спицами для придания необходимого положения стопы. Время операции в среднем составило около 50 мин.

За период с 2019 по 2023 г. в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена по описанной методике было прооперировано 6 пациентов с эквинусной установкой стопы, вызванной укорочением ахиллова сухожилия. При этом во всех случаях ригидность задней группы мышц и сформировавшаяся длина ахиллова сухожилия не позволяла осуществлять пассивное выведение стопы, формируя таким образом стойкую сгибательную контрактуру голеностопного сустава. Все пациенты были мужского

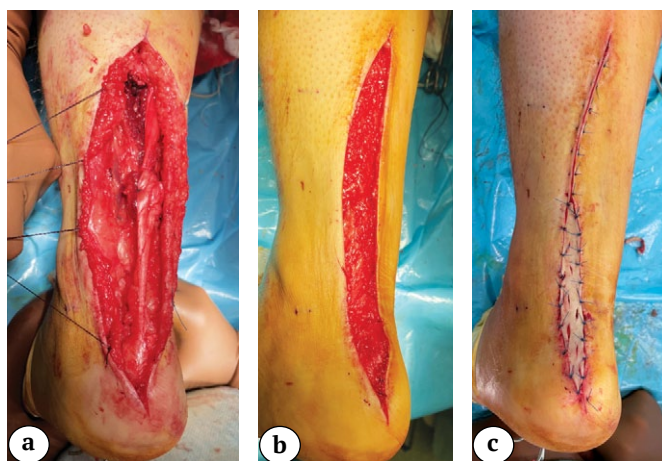


Рисунок 2. Удлинение ахиллова сухожилия, ушивание раны и замещение дефекта мягких тканей:
 а — удлинение ахиллова сухожилия при помощи его Z-образного рассечения;
 б — ахиллово сухожилие укрыто фасциальным лоскутом;
 с — частичное ушивание кожной раны и пластика полнослойным кожным трансплантатом

Figure 2. Lengthening of the Achilles tendon, wound suturing and reconstruction of soft tissue defects:
 a — Achilles tendon lengthening using a Z-shaped incision;
 b — the Achilles tendon is covered with a fascial flap;
 c — partial wound suturing and full-thickness skin grafting

пола, возраст варьировал от 24 до 53 лет. Причины укорочения сухожилия в 3 случаях были связаны с длительной иммобилизацией нижней конечности в аппарате внешней фиксации, при этом во время лечения данных пациентов не осуществлялось удерживание переднего отдела стопы при помощи подстоппника или дополнительного стопного компонента. В одном случае укорочение ахиллова сухожилия было вызвано дисбалансом сгибателей и разгибателей стопы вследствие повреждения последних. Данному пациенту удлинение сухожилия с замещением дефекта по предложенному способу производилось одновременно с пластикой сухожилий разгибателей пальцев и передней большеберцовой мышцы. В двух случаях эквинусная установка стопы была идиопатической. Оба пациента были всесторонне обследованы: предшествующую травматизацию и перенесенные инфекционные заболевания отрицали, неврологический дефицит отсутствовал, а ультразвуковое исследование показывало состоятельность сухожилия и интактность парасухожильной ткани. Установить причину укорочения ахиллова сухожилия и эквинусного положения стопы у данных больных не удалось.

Ранний послеоперационный период у всех пациентов проходил гладко, краевых некрозов кожи выявлено не было. Прижимной валик снимали через 8–9 дней, швы удаляли через 2 нед. после вмешательства. Полное приживление кожного трансплантата было достигнуто во всех случаях. Иммобилизацию гипсовой лонгетой осуществляли 6 нед., в течение которых пациентам была запрещена опора на оперированную конечность. После прекращения иммобилизации назначали комплекс лечебной физкультуры и разрешали полную нагрузку на нижнюю конечность. Пациенты были осмотрены в среднем через 12 нед. после реконструкции. Функция ахиллова сухожилия была сохранена у всех пациентов, повторных разрывов не наблюдалось. Признаков инфекционных осложнений и формирования патологического рубца области оперативного вмешательства выявлено не было. Таким образом, у всех пациентов достигнут отличный эстетический и функциональный результат.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нижняя треть задней поверхности голени ввиду малой смещаемости кожи, близкого расположения ахиллова сухожилия и небольшого количества местных пластических ресурсов является потенциально опасной для хирургических манипуляций [15]. Возможные осложнения, связанные с проблемами мягких тканей области ахиллова сухожилия, могут отодвинуть вопросы реконструкции самого ахиллова сухожилия на второй план. Оперативный доступ при подобных вме-

шательствах с целью выполнения шва или реконструкции должен учитывать особенности этого анатомического региона. Одной из главных задач при этом считается обязательное сохранение скользящего аппарата ахиллова сухожилия, а именно паратенона, который является основным источником кровоснабжения сухожилия [16, 17]. Кроме того, образующиеся после оперативного вмешательства грубые рубцы по задней поверхности в нижней трети голени могут быть весьма болезненными и затруднять ношение обуви с низким задником.

Помимо этого, в ходе выполнения доступа важно учитывать близкое расположение икроножного нерва, который в англоязычной литературе обычно обозначается как «суральный» (*n. suralis*). Пересечение данного нерва при выполнении оперативного доступа может стать причиной формирования болезненной невромы. Кроме того, поврежденный «суральный» нерв в последующем при необходимости не позволит использовать для восстановления мягкотканного покрова островковый кожно-фасциальный «суральный» лоскут, осевым питающим сосудом которого является как раз артерия, сопровождающая «суральный» нерв.

Также к факторам, влияющим на возможное формирование дефектов покровных тканей после оперативного вмешательства, могут относиться агрессивная хирургическая техника, во время которой происходит нарушение источников питания этой области, избыточное натяжение краев раны при ушивании, приводящее к ишемии кожи, и некорректный выбор оперативного доступа.

Известно довольно большое количество оперативных доступов для восстановления ахиллова сухожилия. Продольные доступы обеспечивают хороший обзор сухожилия, но при ушивании такой раны нередко возникает натяжение ее краев, что может повлечь за собой развитие краевых некрозов, а также образование свищей и инфекционных осложнений. Так, по мнению некоторых отечественных исследователей, продольные доступы, сформированные непосредственно над ахилловым сухожилием, требуют мобилизации малоподвижных тканей в области операционной раны, что, в свою очередь, приводит к формированию краевых некрозов в 8,5% случаев [18].

Некоторые авторы предпочитают в таких случаях использовать послабляющие надрезы кожи, для того чтобы минимизировать натяжение кожи [19, 20]. На наш взгляд, выполнение подобной манипуляции недопустимо, поскольку это практически не придает мобильности кожным краям, а только дополнительно травмирует и, следовательно, ухудшает кровоснабжение кожи в этой области. Более того, после выполнения продоль-

ного доступа с высокой вероятностью образуется гипертрофический кожный рубец, который постоянно травмируется при натяжении кожи (при тыльном сгибании стопы) и при давлении задника обуви.

Среди наиболее часто используемых также выделяют группу околосожильных доступов, при которых разрез производят по медиальному или латеральному краю сухожилия, полагая, что кожа в этой области более подвижная [21, 22].

Помимо линейных и дугообразных доступов, некоторые авторы предлагают использовать Z-образный разрез [23]. Так, S.M. Green и P.J. Briggs использовали прямую и обратную Z-пластику [24]. Методика выполнения данного способа заключается в формировании полнослойных треугольных кожных лоскутов с сохранением субдермальной сосудистой сети. Однако при этом остается высокая вероятность появления краевых некрозов в области угла кожного лоскута, что приводит к вторичному заживлению ран и возрастающему риску формирования дефекта мягких тканей.

Оперативные вмешательства, которые требуют удлиняющей пластики ахиллова сухожилия после его укорочения, чаще всего сопровождаются необходимостью пластического замещения дефекта покровных тканей. Это обусловлено тем что при устранении эквинусного положения стопы и выведении ее под углом 90° по отношению к голеностопному суставу ушивание кожи не представляется возможным из-за избыточного натяжения краев раны.

Предлагаемый нами оперативный доступ к ахиллову сухожилию позволяет при необходимости одномоментно заместить дефект мягких тканей методом пластики полнослойным кожным трансплантатом или значительно снизить риск последующего формирования дефекта кожи в этой области. В ходе осуществления оперативного доступа описанная методика предполагает выделение фасциально-жирового лоскута. Данный лоскут представляет собой хорошо кровоснабжаемый комплекс тканей, который является идеальной средой для приживления кожного трансплантата. Кроме того, он позволяет полноценно укрыть зону реконструкции ахиллова сухожилия, способствуя оптимальной регенерации сухожильной ткани и сохраняя скользящий аппарат сухожилия.

Поскольку одним из наиболее грозных осложнений при реконструкции ахиллова сухожилия является инфицирование и последующее форми-

рование дефекта мягких тканей задней поверхности голени, предотвращение подобной ситуации путем правильного планирования оперативного доступа становится одной из приоритетных задач для хирурга.

Замещение уже сформированных дефектов задней поверхности нижней трети голени является неочевидной проблемой реконструктивной хирургии. Использование местной кожной пластики этой области весьма ограничено и может привести к образованию еще большего дефицита мягких тканей. В этом случае такие методы, как использование встречных треугольных лоскутов или пластика лоскутом на широком основании, могут быть использованы только при очень небольших дефектах. Применение расщепленного кожного трансплантата возможно, только если дном дефекта окажется паратенон, неповрежденная фасция голени либо заранее подготовленная грануляционная ткань. В противном случае существует угроза отторжения трансплантата или формирования порочного изъязвляющегося рубца. Среди островковых лоскутов наиболее часто используются кожно-фасциальные «суральный» и медиальный подошвенный лоскут. При невозможности применения всех вышеуказанных способов методом выбора является свободная пересадка кровоснабжаемых комплексов тканей [13, 25, 26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами способ оперативного доступа при вмешательствах в области ахиллова сухожилия может быть актуален не только при коррекции эквинусной установки стопы, но и при любых повторных реконструкциях этой зоны, сопровождающихся повышенным риском послеоперационных осложнений. Основными преимуществами данного способа являются возможность создания широкого обзора в зоне реконструкции, сохранение скользящего аппарата ахиллова сухожилия, а также вынесение послеоперационного рубца из области постоянной нагрузки и возможность одномоментного замещения образующегося после оперативного вмешательства дефекта мягких тканей при необходимости. Наш опыт оперативного лечения пациентов с укорочением ахиллова сухожилия и выраженной эквинусной установкой стопы позволяет говорить о технической простоте выполнения данного доступа и позволяет рекомендовать его к использованию в травматолого-ортопедических отделениях любого уровня.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Цыбуль Е.С. — концепция и дизайн исследования, написание текста рукописи.

DISCLAIMERS

Author contribution

Tsybul E.S. — study concept and design, drafting the manuscript.

Родоманова Л.А. — концепция исследования, редактирование текста рукописи.

Мальшев В.И. — 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. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, протокол № 2 от 21.05.2024 г.

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

Rodomanova L.A. — study concept, editing the manuscript.

Malyshev V.I. — 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. The study was approved by the local ethics committee of Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, protocol No 2, 21.05.2024.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Hackenberg R.K., Täger S., Prangenberg C., Kabir K., Welle K. Reconstruction of Complicated Achilles Tendon Ruptures with Soft Tissue Defects – a Systematic Overview and Development of a Treatment Algorithm. *Z Orthop Unfall*. 2021;159(3):314-322. (In English, German). <https://doi.org/10.1055/a-1073-8516>.
- Ho G., Tantigate D., Kirschenbaum J., Greisberg J.K., Vosseller J.T. Increasing age in Achilles rupture patients over time. *Injury*. 2017;48(7):1701-1709. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.04.007>.
- Egger A.C., Berkowitz M.J. Achilles tendon injuries. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017;10(1):72-80. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9386-7>.
- Gross C.E., Nunley J.A. 2nd. Acute Achilles Tendon Ruptures. *Foot Ankle Int*. 2016;37(2):233-239. <https://doi.org/10.1177/1071100715619606>.
- Cottom J.M., Sisovsky C.A. Neglected Achilles Tendon Ruptures. *Clin Podiatr Med Surg*. 2021;38(2):261-277. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.12.010>.
- Buddecke D. Jr. Acute Achilles Tendon Ruptures. *Clin Podiatr Med Surg*. 2021;38(2):201-226. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.12.006>.
- Середа А.П. Застарелые разрывы ахиллова сухожилия – как их лечить и возможно ли спонтанное сращение? Результаты укорачивающей тенопластики. *Травматология и ортопедия России*. 2018;(2):59-69. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-2-59-69>.
- Sereda A.P. Treatment Options for Neglected Achilles Tendon Ruptured: Wether Spontaneous Healing is Possible? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(2):59-69. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-2-59-69>.
- Liles J., Adams S.B. Jr. Management of Complications of Achilles Tendon Surgery. *Foot Ankle Clin*. 2019;24(3):447-457. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.04.008>.
- McQuilling J.P., Sanders M., Poland L., Sanders M., Basadonna G., Waldrop N.E. et al. Dehydrated Amnion/Chorion Improves Achilles Tendon Repair in a Diabetic Animal Model. *Wounds*. 2019;31(1):19-25.

- Rensing N., Waterman B.R., Frank R.M., Heida K.A., Orr J.D. Low Risk for Local and Systemic Complications After Primary Repair of 1626 Achilles Tendon Ruptures. *Foot Ankle Spec*. 2017;10(3):216-226. <https://doi.org/10.1177/1938640016676340>.
- Lim J., Dalal R., Waseem M. Percutaneous vs. open repair of the ruptured Achilles tendon – a prospective randomized controlled study. *Foot Ankle Int*. 2001;22(7):559-568. <https://doi.org/10.1177/107110070102200705>.
- Lin C.T., Chen S.G., Chen T.M., Dai N.T., Chang S.C. Bipedicled flap for the reconstruction of soft tissue defects of the Achilles tendon. *Ann Plast Surg*. 2015;74(4):484-487. <https://doi.org/10.1097/SAP.0b013e3182a1e508>.
- Marchesi A., Parodi P.C., Brioschi M., Riccio M., Perrotta R.E., Colombo M. et al. Soft-tissue defects of the Achilles tendon region: Management and reconstructive ladder. Review of the literature. *Injury*. 2016;47 Suppl 4:S147-S153. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.07.053>.
- Abraham E., Pankovich A.M. Neglected rupture of the Achilles tendon. Treatment by V-Y tendinous flap. *J Bone Joint Surg Am*. 1975;57(2):253-255.
- Winnicki K., Ochała-Kłos A., Rutowicz B., Pękala P.A., Tomaszewski K.A. Functional anatomy, histology and biomechanics of the human Achilles tendon – A comprehensive review. *Ann Anat*. 2020;229:151461. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151461>.
- Soroceanu A., Sidhwa F., Aarabi S., Kaufman A., Glazebrook M. Surgical versus nonsurgical treatment of acute Achilles tendon rupture: a meta-analysis of randomized trials. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(23):2136-2143. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00917>.
- Pękala P.A., Henry B.M., Ochała A., Kopacz P., Tatoń G., Młyniec A. et al. The twisted structure of the Achilles tendon unraveled: A detailed quantitative and qualitative anatomical investigation. *Scand J Med Sci Sports*. 2017;27(12):1705-1715. <https://doi.org/10.1111/sms.12835>.

18. Кисель Д.А., Файн А.М., Светлов К.В., Власов А.П., Лазарев М.П., Акимов Р.Н. и др. Оптимальный хирургический доступ при восстановлении ахиллова сухожилия. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2023;13(6):125-130. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.CLIN.15>.
Kisel' D.A., Fayn A.M., Svetlov K.V., Vlasov A.P., Lazarev M.P., Akimov R.N. et al. Optimal access for Achilles Tendon Repair. *Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ» (Rehabilitation, Doctor and Health)*. 2023;13(6):125-130. (In Russian). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.CLIN.15>.
19. Зулкарнеев Р.А., Ахметов З.Я. Повреждения ахиллова сухожилия и результаты оперативного лечения. *Казанский медицинский журнал*. 1989;70(6):429-431.
Zulkarnееv R.A., Akhmetov Z.Y. Achilles tendon injuries and results of surgical treatment. *Kazan Medical Journal*. 1989;70(6):429-431. (In Russian).
20. Миронова З.С., Черкасова Т.И., Башкиров В.Ф. Подкожные разрывы ахиллова сухожилия. Ташкент: Медицина; 1974. 114 с.
Mironova Z.S., Cherkasova T.I., Bashkirov V.F. Subcutaneous ruptures of Achilles tendon. Tashkent: Medicine; 1974. 114 p. (In Russian).
21. Di Stefano V.J., Nixon J.E. Achilles tendon rupture: pathogenesis, diagnosis and treatment by a modified pullout wire technique. *J Trauma*. 1972;12(8):671-677.
22. Li C.G., Li B., Yang Y.F. Management of acute Achilles tendon rupture with tendon-bundle technique. *J Int Med Res*. 2017;45(1):310-319. <https://doi.org/10.1177/0300060516677928>.
23. Inglis A.E., Sculco T.P. Surgical repair of ruptures of the tendo Achillis. *Clin Orthop Relat Res*. 1981;(156):160-169.
24. Green S.M., Briggs P.J. A reversed Z-plasty skin incision for Achilles tendon reconstruction. *Foot Ankle Surg*. 2002;8:277-280. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9584.2002.00340.x>.
25. Ehrl D., Heidekrueger P.I., Schmitt A., Liska F., Ninkovic M., Giunta R. et al. The Anterolateral Thigh Flap for Achilles Tendon Reconstruction: Functional Outcomes. *Plast Reconstr Surg*. 2019;143(6):1772-1783. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005652>.
26. Zhou L., Wei J., Liu L., Tao S., Dong Z. Composite sural neurocutaneous flap with gastrocnemius tendon for repairing defects of Achilles tendon and overlying soft tissue. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2020;28(3):2309499020971863. <https://doi.org/10.1177/2309499020971863>.

Сведения об авторах

✉ Цыбуль Евгений Сергеевич — канд. мед. наук.

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,

ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0009-0001-8105-3635>

e-mail: na4med@inbox.ru

Родоманова Любовь Анатольевна — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>

e-mail: rodomanovaliubov@yandex.ru

Малышев Владислав Иванович

<https://orcid.org/0009-0003-4609-7506>

e-mail: trauma@malyshevdoc.ru

Authors' information

✉ Evgeny S. Tsybul — Cand. Sci. (Med.)

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

195427, Russia

<https://orcid.org/0009-0001-8105-3635>

e-mail: na4med@inbox.ru

Lyubov A. Rodomanova — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>

e-mail: rodomanovaliubov@yandex.ru

Vladislav I. Malyshev

<https://orcid.org/0009-0003-4609-7506>

e-mail: trauma@malyshevdoc.ru

Assessment of the Accuracy of Pedicle Screw Fixation in Thoracolumbar Vertebrae using Freehand Technique in Resource-Limited Settings: Insights from a Prospective Analysis

Mohamed S. Elzyati¹, Magdy G. Youssef², Mina S. Zaki²

¹ Ain Shams University, Cairo, Egypt

² Ain Shams University Hospitals, Cairo, Egypt

Abstract

Background. Thoracolumbar fractures and diseases represent a significant healthcare problem. Pedicle fixation is a cornerstone in the surgical stabilization of spinal disorders, where spinal stability is crucial for maintaining proper biomechanical function and preventing neurological compromise.

The aims: 1) to reassess the accuracy of freehand pedicle screw fixation in thoracolumbar vertebrae, particularly within the context of resource-limited settings where image-guidance technologies are not feasible; 2) to explore how surgical ergonomics, particularly surgeon handedness, affects screw placement accuracy.

Methods. A prospective study was conducted, recruiting 90 patients with thoracolumbar lesions who underwent pedicle screw fixation by freehand technique in 2024. We excluded patients with congenital spine deformities and revision surgery. The accuracy and incidence of cortical breach of screws were determined by postoperative CT.

Results. Six hundred eighty-one screws were inserted in the lumbar and thoracic spine of 90 patients using a freehand approach. Out of them, 579 (85%) screws were installed within the pedicle without cortical breach, 78 (11.4%) screws — with a cortical breach less than 2 mm, and 24 (3.5%) screws — with a cortical breach more than 2 mm. Six hundred fifty-seven (96.4%) screws were considered a safe breach, and 24 (3.6%) screws were considered a dangerous breach.

Conclusions. The use of freehand technique in pedicle screw fixation appears to be reliable and safe. It remains a valuable method, particularly in a resource-limited environment, providing a cost-effective and radiation-free alternative to navigation-assisted systems. This study reveals that surgical ergonomics, specifically surgeon handedness, do not significantly impact a breach when proper technique is maintained.

Keywords: pedicle screw fixation; freehand technique; thoracolumbar fractures; thoracolumbar diseases.

Cite as: Elzyati M.S., Youssef M.G., Zaki M.S. Assessment of the Accuracy of Pedicle Screw Fixation in Thoracolumbar Vertebrae using Freehand Technique in Resource-Limited Settings: Insights from a Prospective Analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):129-138. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17699>.

✉ Mohamed S. Elzyati; e-mail: moh.samir3796@gmail.com

Submitted: 01.04.2025. Accepted: 17.06.2025. Published online: 28.07.2025.

© Elzyati M.S., Youssef M.G., Zaki M.S., 2025

Оценка точности транспедикулярной фиксации в груднопоясничном отделе позвоночника методом «свободной руки» в условиях ограниченных ресурсов: результаты проспективного анализа

М.С. Эльзайят¹, М.Г. Юссеф², М.С. Заки²

¹ Ain Shams University, г. Каир, Египет

² Ain Shams University Hospitals, г. Каир, Египет

Реферат

Актуальность. Травмы и заболевания груднопоясничного отдела позвоночника представляют серьезную проблему для хирургов и всего здравоохранения в целом. Транспедикулярная фиксация лежит в основе хирургической стабилизации позвонков, а стабильность позвоночника имеет решающее значение для поддержания надлежащей биомеханической функции и предотвращения неврологических нарушений.

Цели исследования: 1) провести повторную оценку точности транспедикулярной фиксации в груднопоясничном отделе позвоночника методом «свободной руки», особенно в условиях ограниченных ресурсов, когда применение методов визуализации невозможно; 2) изучить, как хирургическая эргономика, в частности предпочтение хирурга работать левой или правой рукой, влияет на точность установки винтов.

Материал и методы. Было проведено проспективное исследование, в котором приняли участие 90 пациентов с поражениями груднопоясничного отдела, которым в 2024 г. была выполнена транспедикулярная фиксация методом «свободной руки». Пациенты с врожденными деформациями позвоночника и предшествующими ревизиями были исключены. Точность фиксации винтов и частота повреждений кортикального слоя определяли при помощи послеоперационной компьютерной томографии.

Результаты. У 90 пациентов в поясничный и грудной отделы позвоночника был установлен 681 винт методом «свободой руки». Из них 579 (85%) винтов были установлены интрапедикулярно без нарушения кортикального слоя, 78 (11,4%) винтов — с выходом винта из ножки менее 2 мм и 24 (3,5%) винта — с выходом винта из ножки более 2 мм. Положение 657 (96,4%) винтов было признано безопасным, а 24 (3,6%) винтов с повреждениями — опасным.

Заключение. Использование техники «свободной руки» при транспедикулярной фиксации является надежным и безопасным методом, который особенно полезен в условиях ограниченных ресурсов, являясь экономичной и безрадиационной альтернативой навигационным системам. Результаты проведенного исследования показали, что хирургическая эргономика, в частности предпочтение хирурга работать левой или правой рукой, не оказывает существенного влияния на успешность хирургического лечения при соблюдении техники.

Ключевые слова: транспедикулярная фиксация; метод «свободной руки»; травмы груднопоясничного отдела позвоночника; заболевания груднопоясничного отдела позвоночника.

 **Для цитирования:** Эльзайят М.С., Юссеф М.Г., Заки М.С. Оценка точности транспедикулярной фиксации в груднопоясничном отделе позвоночника методом «свободной руки» в условиях ограниченных ресурсов: результаты проспективного анализа. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):129-138. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17699>.

 Мухаммед С. Эльзайят; e-mail: moh.samir3796@gmail.com

Рукопись получена: 01.04.2025. Рукопись одобрена: 17.06.2025. Статья опубликована онлайн: 28.07.2025.

© Эльзайят М.С., Юссеф М.Г., Заки М.С., 2025

INTRODUCTION

Spinal fixation has been developed in the 20th century. Before that, immobilization of an unstable spine had been tried using traction, bed rest, bracing, and casting [1]. One of the earliest spinal fixations was introduced in 1891 by B.E. Hadra, who used a sliver wire loop around a spinous process in a figure-of-eight to stabilize spinal fractures caused by Pott's disease [2].

Nowadays, pedicle screws fixation with rod constructs has gained global acceptance in multiple reconstructive spine surgeries, spinal fusion, and spinal stabilization in traumatic, degenerative, and neoplastic spine diseases [3]. The coronal and sagittal orientations of the thoracic and lumbar facets define the thoracolumbar spine, a crucial transitional region between the more rigid thoracic spine and flexible lumbar spine [4].

Various methods, including the freehand technique, have been established for pedicle fixation; this method relies on the surgeon's experience and the ability to determine the entry point with anatomical landmarks exposure of the posterior elements. Freehand pedicle screw fixation has been widely accepted in the lumbar region. In contrast, the thoracic region is more challenging due to the narrow pedicle corridor and critical neurovascular anatomy [5]. Due to the spine's unique neurovascular anatomy, there has been a movement in favor of new techniques that enhance the accuracy of pedicle screw fixation, including intraoperative fluoroscopy, computed tomography (CT), and computer-assisted navigation [6]. Despite their advantage in the accuracy of pedicle screw positioning, they pose hazards, including radiation exposure to the medical team and the patient, prolonged operative time, blood loss, and high costs that hinder their availability in all facilities. The benefit of the freehand method is that it may be used anywhere, especially in developing areas, decreases radiation exposure, saves time and money, and prevents repeated interruption during surgery [5].

Spine surgeons are among the most exposed surgical specialists in terms of occupational radiation. Compared to other fields, their exposure ranks third after interventional cardiologists and radiologists, mainly due to the frequent use of intraoperative fluoroscopy and navigation in spinal instrumentation. Studies show that spine surgeons may receive between 1 to 5 mSv per year, significantly higher than general surgeons or neurosurgeons, whose exposure typically remains below 0.5 mSv [7]. Intraoperative fluoroscopy in spine procedures, especially minimally invasive surgeries, poses substantial radiation risks to the surgeon's hands, thyroid, and lens of the eye. Long-term cumulative exposure can lead to increased risks of cataracts, thyroid abnormalities, and even malignancies [8, 9]. This elevated risk

underscores the occupational health advantage of adopting the freehand technique, particularly in routine thoracolumbar surgeries, where it eliminates intraoperative radiation. In resource-limited settings, where radiation shielding may be inadequate or inconsistently used, this benefit becomes even more critical.

Despite the advantages of pedicle fixation by the freehand technique, there is a potential risk of screw malposition in the surrounding critical neurovascular anatomy, which requires higher accuracy and precision. Screw malposition can lead to a permanent neurological deficit and necessitate reoperation [10].

The aims: 1) to reassess the accuracy of freehand pedicle screw fixation in thoracolumbar vertebrae, particularly within the context of resource-limited settings where image-guidance technologies are not feasible; 2) to explore how surgical ergonomics, particularly surgeon handedness, affects screw placement accuracy.

METHODS

Patients

A prospective study was conducted on 90 patients aged 18 to 65 years with spinal pathologies, including fractures, metastatic diseases, infection, and degenerative diseases, from January 2024 to June 2024 at the Ain Shams University. We excluded any congenital deformities, such as congenital scoliosis and malformations, or revision surgery.

Six hundred and eighty-one pedicle screws were implanted in 90 patients (54 males and 36 females) using a freehand approach. The patients were clinically and radiologically evaluated preoperatively and postoperatively. Personal history included name, age, and sex; history of trauma included mode, site, time till presentation, and severity; history of night fever; loss of weight; neurological disorders including sensory, motor, and sphincter disorders, or history of other general health problems that may hinder anesthesia.

Examination

The general examination included evaluating the patient's hemodynamic state, examining the head, chest, abdomen, and extremities for associated injuries, and palpating the spine for tenderness and deformity. Inspection for any deformity, contusion, or sinuses, evaluating any deformity and identifying any associated injuries. Neurological examination included motor, sensory, and sphincter examination. The motor examination included reflexes (superficial and deep) and motor power, assessed using the MRC muscle power scale, which grades the motor power from grade 0 (no contraction) to grade 5 (normal power) [11]. Sensory examination is a comprehensive process that encompasses both superficial and deep sensations, providing a robust foundation

for diagnosis. Radiological evaluation included AP and lateral radiography, spine CT and MRI, further enhancing our understanding of the pathology and aiding in decision-making.

After admission, when all the investigations had been done, anticoagulants were administered to non-ambulatory patients, and analgesics were used to manage other comorbidities. The surgery and postoperative management were explained to the patient and their relatives, and consent was obtained for the approach and postoperative CT.

Preoperative preparation and positioning

All patients received prophylactic antibiotics prior to the induction of anesthesia. The patients were positioned prone with a slightly flexed hip, and their knees were kept in slight flexion to avoid stretching over the sciatic nerve. Exposure of the entire back was achieved, and pressure points at the hips and chest were avoided by using proper padding. Fluoroscopy was used to confirm the level of incision.

Surgical technique

A longitudinal midline incision is done along the skin, subcutaneous fat, and fascia to reach the tips of spinous processes. Paraspinal muscles are stripped off the lamina subperiosteally to reduce blood loss with exposure to the transverse processes bilaterally, exposing the facet joints.

The entry point of the lumbar spine is at the meeting between the transverse process, pars interarticularis, and the inferior margin of the superior articular process. In the thoracic spine, the entry point is at the center of a triangle formed by the lower border of the superior articular process and the medial wall of the transverse process and the pars interarticularis. In the lower thoracic spine, the entry point tends to be more medial and cephalad

when moving proximally; above T7, the entry point tends to be more lateral and caudal again.

An awl is used to create an entry point, and then a pedicle probe is inserted about 15–20 mm. Once the probe is removed, the track is checked to ensure that only blood is coming out, not pulsatile, and not cerebrospinal fluid. Then, the pedicle track is palpated with a feeler to ensure that the five osseous borders are intact. Then the screw is placed down into the body. The rod is placed and secured with set screws. Then, the surgical wound is irrigated, homeostasis is achieved, and the wound is closed in layers.

All the operations were performed by expert right-handed surgeons, and all the screws were positioned from the same side. The surgeon placed the right screws from the right side and the left screws from the left side.

To ensure accurate placement of pedicle screws during the surgery, we utilized a structured intraoperative audit tool named the Pedicle Screw Freehand Accuracy Checklist (PSFHAC) (Table 1). This checklist systematically verifies critical anatomical landmarks and procedural steps at each stage of screw insertion. It helps detect potential breaches early and guides the surgeon in maintaining the correct screw trajectory.

Postoperative protocol

The patients underwent neurological examination in the postoperative period. They were given antibiotics, and brace was prescribed for all of them. Different techniques are used to detect breaches intraoperatively, including fluoroscopy, and postoperatively by radiography, CT, or MRI. In this study, we utilize postoperative CT scans to assess the accuracy of pedicle screw placement and intraoperative fluoroscopy to detect any apparent breaches (Figure 1).

Table 1

Pedicle Screw Freehand Accuracy Checklist (PSFHAC)

Step	Anatomical landmark/technique	Checkpoint	Remarks
1	Identify the junction of the transverse process and superior articular facet	Entry point correctly marked? (Yes/No)	Align with the base of the facet
2	Use of gear shift probe	Medial wall breach during probing? (Yes/No)	Tactile loss of resistance warning
3	Palpate pedicle trajectory with a ball-tip probe	Smooth canal felt to depth? (Yes/No)	Check that all walls intact
4	Measure depth and angle with gear shift or probe	Medial/lateral angulation within the expected range?	Based on the vertebral level
5	Screw insertion	Smooth insertion without resistance? (Yes/No)	Sudden loss = possible breach
6	Record estimated trajectory angle (optional)	Matches anatomical norms for level?	For training purposes

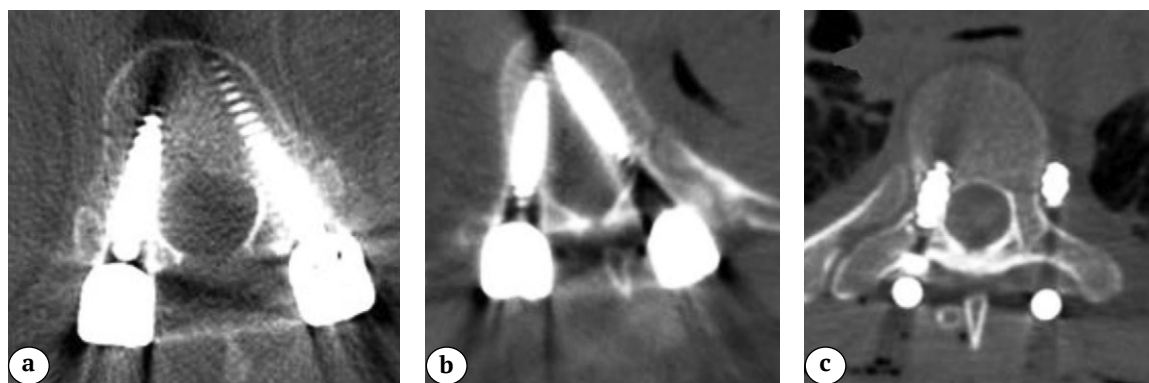


Figure 1. Postoperative CT scans assessing the accuracy of pedicle screw placement of:
 a — a 35-year-old female with L1 fracture post-fixation with T12, showing screws within the pedicle;
 b — a 43-year-old male with T12 fracture post-fixation with T10, showing a medial breach;
 c — a 41-year-old female with T7 pathological fracture with T6, vertebra showing a lateral breach

The placement of the pedicle screw was assessed using postoperative CT scans. We analyze the axial, sagittal, and coronal views to get a comprehensive view of the screw trajectory, whether the screw is in the planned trajectory of the pedicle and the vertebral body and assess any cortical breach.

Then we use the Gertzbein-Robbins classification, which grades breaches as follows: a screw entirely within the pedicle is considered grade A; a violation of <2 mm is considered grade B; a violation of 2 to <4 mm is considered grade C; a violation of 4 to <6 mm is grade D; and a violation >6 mm is grade E [12]. According to the Gertzbein-Robbins classification, this study considers grades A and B breaches as safe, while C, D, and E are dangerous.

Statistical analysis

Data were collected, revised, coded, and entered into the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), version 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Qualitative variables were presented as numbers and percentages. Chi-square test (χ^2) was used to assess the association between categorical variables, such as the screw breach status (safe vs dangerous) and factors like vertebral region (thoracic vs lumbar), screw side (right vs left), and underlying pathology. Logistic regression analysis was performed to identify predictors of dangerous screw breaches. The odds ratio (OR) and its corresponding 95% confidence interval (CI) were reported for each predictor to quantify the likelihood of a dangerous breach. The regression coefficient (β) represents the change in the log odds of the outcome for each unit change in the predictor variable. A p-value of < 0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

Among 90 study participants, 54 (60%) were male, and 36 (40%) were female; all were operated on using the freehand technique. Forty-eight (53.3%) patients were diagnosed with vertebral fracture,

18 patients (20%) — with spondylodiscitis, 12 patients (13.3%) — with metastatic lesions, 9 (10%) patients — with a disk prolapse, and 3 (3.3%) patients — with spondylolisthesis.

We used 681 screws in the thoracolumbar vertebrae, 270 — in the lumbar vertebrae, and 411 — in the thoracic vertebrae, with most of the screws in the thoracolumbar transition zone. We used 375 (55%) screws in vertebral fractures, 123 (18%) screws in metastatic lesions, 135 (19.8%) screws in spondylodiscitis, 36 (5.2%) screws in a disc prolapse, and 12 (2%) screws in spondylolisthesis (Figure 2). No statistically significant difference in breach rates between pathologies ($p > 0.05$) were observed, although lateral breaches were numerically higher in infection and metastatic cases.

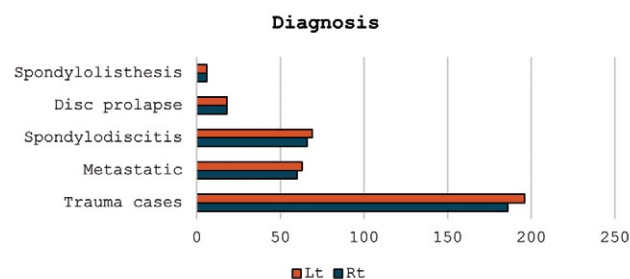


Figure 2. Number of screws in each pathology

In the thoracic vertebrae, we used 411 screws, 204 screws on the right side, and 207 screws on the left side. The percentage of screws within the pedicle was 342 (83%) screws out of 411 screws. Most of the screws outside the pedicle caused a lateral breach (8%) (Figure 3).

In the lumbar vertebrae, we used 270 screws, 132 on the right side and 138 on the left side. The percentage of screws within the pedicle was 237 (87.8%) screws out of 270 screws. Most of the screws outside the pedicle caused a lateral breach (7.8%) (Figure 4).

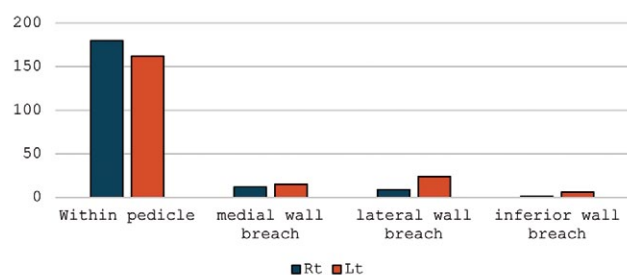


Figure 3. Position of screws in the thoracic spine

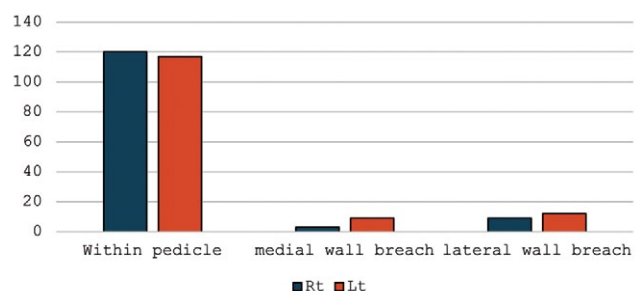


Figure 4. Position of screws in the lumbar spine

The following tables compare the thoracic and lumbar spine regarding the position of the screw (Table 2). Lateral breaches were most common, particularly in the thoracic region. Medial breaches,

which pose a higher neurologic risk, were observed in only 5.7% of cases.

In this study, according to the Gertzbein-Robbins classification, 579 (85%) screws were considered grade A, 78 screws — grade B (11.4%), 18 (2.6%) screws — grade C, and 6 (0.9%) screws — grade D. Grade A and B with breaches <2 mm are considered acceptable breaches, while grades C, D, and E with breaches >2 mm are considered dangerous breaches. In this study, 657 screws out of 681 (96.4%) screws are considered safe breaches, while 24 (3.6%) screws are considered risky breaches (Table 3). Reoperation was required only in one patient due to pedicle screw malposition, which resulted in nerve root irritation. There is no significant difference in breach rates between right- and left-sided insertions, despite all surgeons being right-handed.

Side-based analysis and surgeon handedness

All screws were placed using an ipsilateral approach by right-handed surgeons (i.e., right screws inserted from the right side, left screws from the left). Among the 336 right-sided screws, 327 (97.3%) were classified as safe breaches (Grades A and B), and 9 (2.7%) were dangerous breaches (Grades C, D, and E). In comparison, among 345 left-sided screws, 330 (95.7%) were safe breaches, and 15 (4.3%)

Table 2

Thoracic versus lumbar screw placement accuracy

Spine region	Within pedicle	Medial wall breach	Lateral wall breach	Inferior wall breach	Total number of screws	Total number of breaches	χ^2	p-value
Thoracic	342 (83.2%)	27 (6.6%)	33 (8.0%)	9 (2.2%)	411	69 (16.8%)	2.07	0.59 (NS)
Lumbar	237 (87.8%)	12 (4.4%)	21 (7.8%)	0 (0.0%)	270	33 (12.2%)	0.89	0.35 (NS)

NS — non-significant.

Table 3

Combined Gertzbein-Robbins classification with breach acceptability by a screw side

Grade	Right-sided screws	Left-sided screws	Total	Classification
A	300	279	579	Safe
B	27	51	78	Safe
C	9	9	18	Dangerous
D	0	6	6	Dangerous
Total	336	345	681	
Acceptable breach (A+B)	327	330	657	96.4% of all screws
Non-acceptable breach (C+D)	9	15	24	3.6% of all screws
p-value (acceptable vs non-acceptable)				0.50 (NS)
	Right	Left	χ^2	p-value
Acceptable breach	327	330		
Non-acceptable breach	9	15	0.47	0.50 (NS)
Total	336	345		

NS — non-significant.

were dangerous breaches. The difference was not statistically significant ($p = 0.50$). These findings suggest consistent screw placement accuracy irrespective of screw laterality and surgeon handedness.

As illustrated in Table 4, the freehand technique significantly reduces the overall cost of surgery compared to navigation-assisted methods. This difference is mainly due to the elimination of high-cost imaging equipment, system maintenance, and extended operative time. In resource-limited settings, this reduction in cost per procedure enhances accessibility and surgical efficiency, supporting broader implementation of the freehand technique. Moreover, a comparative overview of cost and operative parameters between freehand and image-guided techniques for thoracolumbar pedicle screw fixation reveals that the freehand approach shows substantial advantages in cost, setup time, and

radiation exposure, with a marginal difference in screw malposition rate.

A total of 681 pedicle screws were analyzed, of which 24 (3.5%) were classified as dangerous breaches. Logistic regression was performed to assess whether the screw region, side, or underlying pathology was associated with the occurrence of a dangerous breach. As shown in Table 5, none of the predictors demonstrated statistically significant associations. Screws placed in the lumbar region had lower odds of resulting in a dangerous breach compared to thoracic screws ($OR = 0.69$, $p = 0.290$). Similarly, screws placed on the right side had slightly higher odds than those on the left ($OR = 1.16$, $p = 0.700$). When compared to fractures, infections were associated with higher odds ($OR = 1.23$, $p = 0.555$), while metastatic lesions ($OR = 0.95$, $p = 0.867$) and other pathologies such as spondylolisthesis and disc prolapse ($OR = 1.09$, $p = 0.854$) showed no significant differences.

Table 4

Cost-effectiveness comparison between freehand and image-guided pedicle screw fixation

Parameter	Freehand technique	Image-guided (fluoroscopy/navigation)
Equipment cost (per case)	0-20 USD	300-600 USD
Setup time	5-10 minutes	20-30 minutes
Operative time (avg.)	90 minutes	120 minutes
Radiation exposure	none	moderate to high
Screw malposition rate	4%	2%
Total estimated cost per case	~500 USD	~1200-1800 USD

Table 5

Logistic regression for predictors of dangerous screw breaches

Predictor	Coefficient (β)	p-value	Odds ratio (OR)	95% CI for OR
Lumbar vs thoracic	-0.32	0.27	0.73	0.42-1.26
Right vs left	0.15	0.59	1.16	0.66-2.05
Infection vs fracture	-0.20	0.52	0.82	0.45-1.52
Metastatic vs fracture	0.10	0.77	1.11	0.58-2.13
Other vs fracture	0.25	0.58	1.29	0.53-3.15

DISCUSSION

This study confirms the high accuracy (96.4% safe placement) of freehand pedicle screw fixation in a broad cohort of thoracolumbar pathologies. It is important to note that these results stem from real-world conditions with limited resources that are underrepresented in the literature. Although image-guided techniques offer higher theoretical precision, their marginal gains may not justify the cost, operative time, and radiation exposure in all settings.

The low incidence of dangerous breaches (3.6%) and the single reoperation reflect the technique's

clinical safety when performed by experienced surgeons. Moreover, our subgroup analysis offers additional insight into the anatomical and pathological patterns of screw placement challenges. This reinforces that, while navigation may benefit specific complex deformities or revision surgeries, freehand fixation remains highly effective in routine thoracolumbar surgery.

Pedicle screw fixation by freehand technique has been widely used depending on the anatomical landmark and surgeon experience; despite the availability of various intraoperative navigation

tools in most centers, the freehand method is most commonly used to avoid harmful radiation exposure, prolonged time and blood loss, and the high cost of navigation tools [13]. A pedicle breach is a complication that can occur during spinal surgery. This can result in several potential issues, such as nerve damage with the medial or inferior breach, can impinge on the spinal cord or nerve roots causing numbness, pain or even motor deficits. Instability with improper placement can compromise the stability of the spinal construct. Vascular injury as a breach can damage nearby vessels, leading to bleeding or hematoma formation [14, 15].

A noteworthy component of our study is the analysis of pedicle screw accuracy with respect to the surgeon's handedness. All procedures were performed by right-handed surgeons who inserted screws from the ipsilateral side. Despite the expected ergonomic preference for the dominant side, our results did not demonstrate a significant difference in breach rates between the right- and left-sided screws. This observation reinforces the consistency and reliability of the freehand technique, regardless of the surgeon's laterality.

This study adds a novel dimension by integrating a multivariate approach to understanding predictors of screw breaches, particularly about ergonomics and laterality. While previous studies have not explicitly explored the influence of surgeon handedness on screw placement accuracy, our analysis showed a trend toward higher breach rates in left-sided screws placed by right-handed surgeons. Although not statistically significant, this observation raises important questions about ergonomic consistency, visual angles, and dominant-hand biomechanics during spine instrumentation.

This study was a prospective study on the accuracy of 681 screws positioned in 90 patients with different pathologies, including fracture, metastatic lesions, discitis, disc prolapse, and listhesis. Expert surgeons positioned all the screws; the acceptable breach was 96.4% divided into 85% — purely within the pedicle, 11.4% — with a breach of less than 2 mm, and 3.6% — with a dangerous breach of more than 2 mm, with only one patient underwent revision due to screw malposition.

L. Karapinar et al. conducted a study on the freehand technique on T10-L3 fixation that showed an accuracy of 94.2% with violated screws (5.8%) [16]. S.L. Parker et al. carried out a study on freehand pedicle screw fixation in the thoracic and lumbar spine. They defined the breach as more than 25% of the diameter of the screw is outside the pedicle or vertebral cortex. The result was 1.7% of screws were

identified as breaching the pedicle [6]. In another study by V.S. Fennel et al. on the freehand thoracic pedicle screw method with the same definition of the breach (more than 25% of the screw diameter outside the pedicle), the result was 4.1% of screws violating the cortex [17].

Compared to other methods, such as navigation and image-assisted techniques, in different studies, the freehand approach has a higher accuracy rate than image-assisted techniques. T. Laine et al. reported that the accuracy of the image-assisted technique was 95.7% compared to the freehand technique, which was 85.7% [18]. L.P. Amiot et al. reported that image-assisted techniques' accuracy was 95%, with the misplaced screws found 0.1 to 2 mm from the cortex. In comparison, the freehand technique accuracy was 85%, with the misplaced screws divided into 12.5% of screws found 0.1 to 2 mm from the cortex (grade B), 1.8% of screws were 2.1 to 4 mm away from the cortex (grade C), and 0.7% of screws were found away from the cortex by more than 4 mm (grade D) [19].

In comparison with other studies, we have accepted the accuracy rate of the freehand technique with negligible complications encountered in our study, such as neurological or vascular complications following the freehand technique due to the misplaced screws.

Study limitations

This study has several limitations, as it is non-comparative, has been performed by different surgeons, and includes a small number of cases. The lack of comparison with image-guided techniques is a key limitation. However, the study's strength lies in its pragmatic design and clinical relevance the to real-world settings.

CONCLUSIONS

Pedicle screw insertion using the freehand technique, depending on the anatomical landmark, is safe, reliable, and accurate, which provides advantages such as a decrease in setup and operative time, a reduction in blood loss and radiation exposure, and less cost-effectiveness in a resource-limited environment. Additionally, the accuracy was maintained across both right and left pedicle screw insertions, regardless of the surgeon's handedness, which underscores the ergonomic reliability of the technique. A larger and comparative study is required to provide stronger evidence. This technique should be done by an expert surgeon who is well-oriented in the anatomical landmarks.

DISCLAIMERS

Author contribution

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

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

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

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

Ethics approval. The research committee at the faculty of medicine, Ain Shams University approval (FWA 000017585, January 2024) has been obtained before commencing this prospective study.

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

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. Перед проведением данного проспективного исследования было получено одобрение научно-исследовательского комитета медицинского факультета университета Айн-Шамс (FWA 000017585, январь 2024 г.).

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

REFERENCES

- Nath C., Jaiswal D.K. Introduction and History of Spinal Implantology. In: *Handbook of Orthopaedic Trauma Implantology*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2023. p. 1809-1829.
- Walker C.T., Kakarla U.K., Chang S.W., Sonntag V.K. History and advances in spinal neurosurgery: JNSPG 75th Anniversary Invited Review Article. *J Neurosurg Spine*. 2019;31(6):775-785. <https://doi.org/10.3171/2019.9.SPINE181362>.
- Avila M.J., Baaj A.A. Freehand thoracic pedicle screw placement: Review of existing strategies and a step-by-step guide using uniform landmarks for all levels. *Cureus*. 2016;8(2):e501. <https://doi.org/10.7759/cureus.501>.
- Wood K.B., Li W., Lebl D.S., Ploumis A. Management of thoracolumbar spine fractures. *Spine J*. 2014;14(1):145-164. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.10.041>.
- Mattei T.A., Milano J.B. Accuracy of "freehand technique" for instrumentation of thoracolumbar spine. *Neurosurgery*. 2011;69(1 Suppl Operative):E265-E267. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31821763db>.
- Parker S.L., McGirt M.J., Farber S.H., Amin A.G., Rick A.M., Suk I. et al. Accuracy of freehand pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: Analysis of 6816 consecutive screws. *Neurosurgery*. 2011;68(1):170-178. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181fdaf4>.
- Tsalafoutas I.A., Tsapaki V., Kaliakmanis A., Pneumatos S., Tsoroni F., Koulentianos E.D. et al. Estimation of radiation doses to patients and surgeons from various fluoroscopically guided orthopaedic surgeries. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;128(1):112-119. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm234>.
- Theocharopoulos N., Perisinakis K., Damilakis J., Papadokostakis G., Hadjipavlou A., Gourtsoyiannis N. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(9):1698-1703. <https://doi.org/10.2106/00004623-200309000-00007>.
- Mehlman C.T., DiPasquale T.G. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: How far away is far enough? *J Orthop Trauma*. 1997;11(6):392-398. <https://doi.org/10.1097/00005131-199708000-00002>.
- Junaid M., Afzal A., Kalsoom A., Bukhari S.S. Freehand pedicle screw fixation: A safe recipe for dorsal, lumbar and sacral spine. *Pak J Med Sci*. 2019;35(3):680-684. <https://doi.org/10.12669/pjms.35.3.981>.
- Kleyweg R.P., Van Der Meché F.G., Schmitz P.I. Interobserver agreement in the assessment of muscle strength and functional abilities in Guillain-Barré syndrome. *Muscle Nerve*. 1991;14(11):1103-1109. <https://doi.org/10.1002/mus.880141111>.
- Fan Y., Du J.P., Liu J.J., Zhang J.N., Liu S.C., Hao D.J. Radiological and clinical differences among three assisted technologies in pedicle screw fixation of adult degenerative scoliosis. *Sci Rep*. 2018;8(1):890. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19054-7>.
- Motiei-Langroudi R., Sadeghian H. Assessment of pedicle screw placement accuracy in thoracolumbosacral spine using freehand technique aided by lateral fluoroscopy: Results of postoperative computed tomography in 114 patients. *Spine J*. 2015;15(4):700-704. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.12.012>.
- Chong X.L., Kumar A., Yang E.W., Kaliya-Perumal A.K., Oh J.Y. Incidence of pedicle breach following open and minimally invasive spinal instrumentation: A postoperative CT analysis of 513 pedicle screws. *Biomedicine*. 2020;10(2):30-35. <https://doi.org/10.37796/2211-8039.1016>.
- Carrillo F., Esfandiari H., Müller S., von Atzigen M., Massalimova A., Suter D. et al. Surgical process modeling for open spinal surgeries. *Front Surg*. 2022;8:776945. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.776945>.
- Karapinar L., Erel N., Ozturk H., Altay T., Kaya A. Pedicle screw placement with a free hand technique in thoracolumbar spine: Is it safe? *Clin Spine Surg*. 2008;21(1):63-67. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3181453dc6>.

17. Fennell V.S., Palejwala S., Skoch J., Stidd D.A., Baaj A.A. Freehand thoracic pedicle screw technique using a uniform entry point and sagittal trajectory for all levels: Preliminary clinical experience. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(5):778-784. <https://doi.org/10.3171/2014.7.SPINE1489>.
18. Laine T., Schlenzka D., Mäkitalo K., Tallroth K., Nolte L.P., Visarius H. Improved accuracy of pedicle screw insertion with computer-assisted surgery: A prospective clinical trial of 30 patients. *Spine*. 1997;22(11):1254-1258. <https://doi.org/10.1097/00007632-199706010-00018>.
19. Amiot L.P., Lang K., Putzier M., Zippel H., Labelle H. Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. *Spine*. 2000;25(5):606-614. <https://doi.org/10.1097/00007632-200003010-00012>.

Authors' information

✉ Mohamed S. Elzyati

Address: 38, Abbassia Square, Next to Al-Nour Mosque, Cairo, Egypt

<https://orcid.org/0009-0004-7220-2063>

e-mail: moh.samir3796@gmail.com

Magdy G. Youssef — Professor

<https://orcid.org/0009-0002-1289-135X>

e-mail: migospine67@gmail.com

Mina S. Zaki

<https://orcid.org/0009-0000-7801-7484>

e-mail: Drminasameh@hotmail.com

Сведения об авторах

✉ Мухаммед С. Эльзайят

Адрес: 38, Abbassia Square, Next to Al-Nour Mosque, Cairo, Egypt

<https://orcid.org/0009-0004-7220-2063>

e-mail: moh.samir3796@gmail.com

Магди Г. Юссеф — профессор

<https://orcid.org/0009-0002-1289-135X>

e-mail: migospine67@gmail.com

Мина С. Заки

<https://orcid.org/0009-0000-7801-7484>

e-mail: Drminasameh@hotmail.com

Обзорная статья

УДК 616.728.2-089.844-089.193.4-06

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17747>

Модульная ревизия эндопротезов тазобедренного сустава у пациентов с износом полиэтиленовых вкладышей и перипротезным остеолитом: обзор литературы

Д.В. Стафеев, Д.В. Специальный, А.Р. Лях, Н.В. Иев,
А.О. Денисов, Р.М. Тихилов

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

Реферат

Актуальность. Модульная ревизия эндопротезов тазобедренного сустава представляет собой изолированную замену вкладыша и головки при сохранении стабильных компонентов. Актуальность данной операции обусловлена ростом числа первичных эндопротезирований и связанных с этим осложнений: износа полиэтилена и перипротезного остеолита. Несмотря на клинические преимущества модульной ревизии — малая травматичность, сокращение времени операции и быстрая реабилитация — остаются вопросы относительно четких критериев отбора пациентов для данного вмешательства.

Цель обзора — на основании анализа данных отечественной и зарубежной литературы обобщить современные взгляды на выполнение модульной ревизии у пациентов с износом и остеолитом вокруг стабильных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава.

Материал и методы. Поиск публикаций осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE (на английском языке), eLIBRARY (на русском языке) и Google Scholar (на русском и английском языках). Были использованы ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, модульная ревизия эндопротеза тазобедренного сустава, изолированная замена вкладыша и головки эндопротеза тазобедренного сустава, износ полиэтилена, перипротезный остеолит, osteolysis acetabular, revision total hip arthroplasty, polyethylene liner wear, isolated head and liner exchange. Проверка на соответствие тематике исследования выполнялась по заголовкам и резюме статей, после чего проводился анализ полнотекстовых версий.

Результаты. Основные осложнения после модульной ревизии — вывихи и асептическое расшатывание компонентов. Ряд факторов риска включает неправильное позиционирование компонентов, малый диаметр головки, обширный остеолит и сомнительную стабильность вертлужного компонента. Костная пластика остеолитических дефектов может снизить риск осложнений, однако ее роль до конца не определена. Современные методы КТ и 3D-реконструкции существенно повышают точность предоперационного планирования. Результаты исследований демонстрируют сопоставимую выживаемость имплантатов при применении цементной и оригинальной фиксации вкладыша.

Заключение. Модульная ревизия при условии хорошей фиксации и правильного расположения имплантатов является эффективной альтернативой полной ревизии с полной заменой компонентов эндопротеза. Однако необходимы дальнейшие исследования, направленные на уточнение показаний, критериев отбора пациентов для данного оперативного лечения.

Ключевые слова: ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава; модульная ревизия эндопротеза тазобедренного сустава; изолированная замена вкладыша и головки эндопротеза тазобедренного сустава; износ полиэтилена; перипротезный остеолит.

Для цитирования: Стафеев Д.В., Специальный Д.В., Лях А.Р., Иев Н.В., Денисов А.О., Тихилов Р.М. Модульная ревизия эндопротезов тазобедренного сустава у пациентов с износом полиэтиленовых вкладышей и перипротезным остеолитом: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):139-153. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17747>.

Специальный Денис Владимирович; e-mail: dr.specialnyyy@gmail.com

Рукопись получена: 23.07.2025. Рукопись одобрена: 15.08.2025. Статья опубликована онлайн: 09.09.2025.

© Стафеев Д.В., Специальный Д.В., Лях А.Р., Иев Н.В., Денисов А.О., Тихилов Р.М., 2025

Isolated Head and Liner Exchange for Polyethylene Wear and Periprosthetic Osteolysis in Revision Hip Arthroplasty: A Review

Dmitry V. Stafeev, Denis V. Spetsialnyi, Alexey R. Lyakh, Nikita V. Iev, Alexey O. Denisov, Rashid M. Tikhilov

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

Abstract

Background. The growing number of primary total hip arthroplasties (THAs) and the associated long-term complications — such as polyethylene wear and periprosthetic osteolysis — underscore the importance of this technique. Although isolated head-liner exchange offers clinical advantages, including reduced surgical morbidity, shorter operative time, and expedited postoperative recovery, there remains a lack of clearly defined indications and patient selection criteria for its optimal application.

The aim of the study — to synthesize current perspectives on isolated head and liner exchange in patients presenting with polyethylene wear and osteolysis surrounding stable hip prosthesis components, based on a comprehensive review of the international literature.

Methods. A systematic literature search was conducted in PubMed/MEDLINE (English), eLIBRARY (Russian), and Google Scholar (English and Russian) databases. Search terms included: osteolysis acetabular, revision total hip arthroplasty, polyethylene liner wear, isolated head and liner exchange. Titles and abstracts were screened for relevance, followed by full-text evaluation. Articles without accessible full-text versions were excluded from the analysis.

Results. The most frequent complications following isolated head-liner exchange are prosthetic dislocation and aseptic loosening. Identified risk factors include suboptimal component positioning, small femoral head diameter, extensive osteolytic lesions, and questionable stability of the acetabular component. Bone grafting of osteolytic defects may help mitigate these risks, though its efficacy remains under investigation. Advances in preoperative imaging, including CT and 3D reconstruction, have significantly improved surgical planning accuracy. Current evidence suggests comparable implant survivorship between cemented and press-fit liner fixation techniques.

Conclusion. Isolated head and liner exchange, provided that the implants are well-fixed and positioned correctly, represents a viable and less invasive alternative to complete component revision. However, further high-quality studies are warranted to refine patient selection criteria and to establish standardized indications for this approach.

Keywords: revision total hip arthroplasty; isolated head and liner exchange; polyethylene wear; periprosthetic osteolysis.

Cite as: Stafeev D.V., Spetsialnyi D.V., Lyakh A.R., Iev N.V., Denisov A.O., Tikhilov R.M. Isolated Head and Liner Exchange for Polyethylene Wear and Periprosthetic Osteolysis in Revision Hip Arthroplasty: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):139-153. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17747>.

✉ Denis V. Spetsialnyi; e-mail: dr.specialnyy@gmail.com

Submitted: 23.07.2025. Accepted: 15.08.2025. Published online: 09.09.2025.

© Stafeev D.V., Spetsialnyi D.V., Lyakh A.R., Iev N.V., Denisov A.O., Tikhilov R.M., 2025

ВВЕДЕНИЕ

По сообщениям Всемирной организации здравоохранения, ежегодно во всем мире выполняется около 1,5 млн операций первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, при этом потребность в данном вмешательстве на сегодняшний день продолжает расти [1]. Улучшение качества жизни пациента и функции прооперированного сустава сделало данную операцию одним из наиболее клинически успешных и экономически выгодных вмешательств в медицине [2, 3].

Несмотря на совершенствование имплантатов, хирургической техники и протоколов ведения пациентов, а значит и снижение количества осложнений, значительный рост операций первичного эндопротезирования все равно неминуемо влечет за собой увеличение количества ревизионных вмешательств [4]. Основными причинами выполнения ревизионного эндопротезирования являются: асептическое расшатывание компонентов эндопротеза, перипротезная инфекция, вывихи эндопротеза, перипротезные переломы, износ и разрушение компонентов эндопротеза [5, 6]. При этом наиболее частыми показаниями к раннему ревизионному эндопротезированию тазобедренного сустава являются перипротезная инфекция и рецидивирующие вывихи эндопротеза [5, 7]. Основными показаниями к ревизии на длительном сроке наблюдений чаще являются проблемы, связанные с длительной эксплуатацией эндопротеза тазобедренного сустава, а именно — с износом полиэтиленового вкладыша и остеолитом [8, 9]. Так, остеолит является основной причиной, приводящей к асептическому расшатыванию компонентов. Однако по поводу износа полиэтиленового вкладыша и остеолита без развития нестабильности компонентов эндопротеза также выполняются ревизионные операции, а частота таких вмешательств составляет 17,9% на сроках более 10 лет после первичного эндопротезирования тазобедренного сустава [7]. На сегодняшний день одним из вариантов оперативного лечения пациентов с износом и остеолитом при стабильных компонентах является изолированная замена модульных компонентов эндопротеза [8, 9]. Однако в настоящий момент нет четкого ответа на вопрос: «Когда возможно выполнение модульной ревизии?».

Цель обзора — на основании анализа данных отечественной и зарубежной литературы обобщить современные взгляды на выполнение модульной ревизии у пациентов с износом и остеолитом вокруг стабильных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава.

Мы предприняли попытку ответить на ряд вопросов: Каковы показания к выполнению изолированной замены модульных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава у пациентов

с износом и остеолитом? Каковы результаты лечения пациентов, перенесших модульную ревизию? Какие факторы влияют на развитие осложнений после оперативного вмешательства? Какова роль костной пластики в заполнении дефектов, образующихся в результате остеолита?

Методология поиска источников

Поиск публикаций осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE (на английском языке), eLIBRARY (на русском языке) и Google Scholar (на русском и английском языках). Были использованы следующие ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, модульная ревизия эндопротеза тазобедренного сустава, изолированная замена вкладыша и головки эндопротеза тазобедренного сустава, износ полиэтилена, перипротезный остеолит, osteolysis acetabular, revision total hip arthroplasty, polyethylene liner wear, isolated head and liner exchange.

Критерии включения:

- 1) исследования всех уровней доказательности;
- 2) работы с доступным полным текстом;
- 3) публикации на русском или английском языке.

В обзор включали:

- источники, описывающие причины и механизм возникновения и прогрессирования износа и остеолита;
- публикации, содержащие информацию о результатах модульных ревизий эндопротезов тазобедренного сустава, а также факторах, способных повлиять на исход оперативного вмешательства;
- работы, в которых наблюдали за изменением остеолитических полостей после костной пластики;
- исследования, сравнивающие разные методы фиксации нового вкладыша.

Первоначальный поиск в перечисленных выше базах данных выявил 2239 источников. Далее после исключения статей, не подходящих по тематике, пилотных исследований, глав книг, комментариев к статьям, тезисов, статей на других языках (кроме русского и английского), дублирующих работ было отобрано 569 статей для анализа приемлемости. После изучения заголовков, резюме, а также полнотекстовых публикаций в обзор было включено 67 работ, опубликованных с 1972 по 2024 г., подходящих под критерии включения и соответствующих целям исследования. Следует подчеркнуть, что при анализе статей особое внимание уделялось работам, содержащим информацию о показаниях к выполнению модульной ревизии и оценивающим результаты, осложнения и факторы риска неблагоприятных исходов после выполнения изолированной замены вкладыша и головки тазобедренного сустава.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Износ пары трения эндопротеза и его последствия

Износ — это изменение размеров, формы, массы или состояния поверхностей имплантата вследствие разрушения (изнашивания) микрообъемов поверхностного слоя при трении [10].

На износ вкладыша эндопротеза тазобедренного сустава влияет множество факторов: двигательная активность пациента; позиции компонентов эндопротеза; материалы, используемые в паре трения. Так, Р.М. Тихилов с соавторами проанализировали 467 операций первичного эндопротезирования тазобедренного сустава, выполненных в период с 2001 по 2012 г. в трех травматолого-ортопедических отделениях ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена», и выяснили, что высокая двигательная активность и увеличение угла наклона вертлужного компонента являются значимыми факторами для более быстрого износа полиэтиленового вкладыша, что также было установлено и в других исследованиях [11, 12, 13].

Также на скорость износа оказывают влияние материалы трущихся поверхностей. В настоящий момент наиболее распространенной парой трения в эндопротезировании является металл-полиэтилен [14]. Множество исследований, оценивающих рентгенологические признаки износа у пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, подтверждают факт меньшего износа поперечно-связанного полиэтилена в сравнении с полиэтиленом высокой молекулярной массы [15, 16]. Несмотря на это проблема износа полиэтиленового вкладыша в современном эндопротезировании остается актуальной и нерешенной.

Износ пары трения эндопротеза тазобедренного сустава может иногда протекать бессимптомно для пациента, однако зачастую несет за собой множество проблем и осложнений, таких как болевой синдром, вывихи, нестабильность компонентов на фоне остеолита [17]. А.Р. Patel с соавторами обнаружили, что в группе из 87 пациентов, подвергшихся модульной ревизии по поводу износа и остеолита, у 62% прооперированных присутствовал болевой синдром до операции [18]. При стабильных компонентах и наличии износа и остеолита боль может быть связана с частицами износа, вызывающими синовит. Помимо этого, при выраженном износе и децентрации головки эндопротеза возможно появление подвывихов, провоцирующих болевые ощущения у пациента вследствие нарушения привычного натяжения параартикулярных тканей [17].

Другим неблагоприятным последствием, связанным с износом полиэтиленового вкладыша, может быть вывих эндопротеза в позднем послеоперационном периоде (спустя 5 лет и более после

первичной операции). В результате износа происходит децентрация головки бедренного компонента, снижение натяжения мягких тканей и, как следствие, повышение риска вывиха в искусственном суставе [19]. J. Parvizi с соавторами проанализировали 22 случая позднего вывиха эндопротеза тазобедренного сустава, при этом среднее время от первичного эндопротезирования до вывиха составило 9 лет. Авторы отметили, что износ полиэтиленового вкладыша, вероятнее всего, был причиной вывихов эндопротезов [20].

Одним из наиболее грозных осложнений износа, влекущим за собой асептическое расшатывание компонентов эндопротеза, является остеолит. Впервые обратил внимание на образование небольших полостей вокруг цементной мантии во время изучения сломанных ножек J. Charnley. По его мнению, образовавшиеся полости были результатом неполноценного заполнения их цементом в процессе установки ножки имплантата [21]. В дальнейших исследованиях было установлено, что остеолит, приводящий к образованию полостей и в дальнейшем к асептическому расшатыванию, зависит от материалов, используемых в паре трения эндопротеза [22, 23]. В частности, исследования, проведенные в 1980–1990-х гг., показали, что микрочастицы полиэтилена являются основным продуктом износа, находящимся в зонах остеолита вокруг компонентов эндопротезов с парой трения металл-полиэтилен [24].

R. Narkbunnam с соавторами в своем исследовании предприняли попытку создать инструмент для количественной оценки остеолита. На основании данных ретроспективной группы пациентов, прооперированных по поводу износа и остеолита, была разработана балльная система оценки остеолита (табл. 1). Предложенная система оценивает расположение и распространенность остеолита в зонах по DeLee и Charnley, преобразуя данные в сумму баллов для дальнейшей интерпретации. Авторы отметили, что пороговым значением для асептического расшатывания вертлужного компонента является сумма баллов 5 и более, при этом чувствительность данного метода составляет 0,79, а специфичность — 0,87 [25].

Таким образом, на износ вкладыша оказывают влияние длительность эксплуатации эндопротеза, материал пары трения искусственного сустава и факторы, связанные с хирургом. В свою очередь, остеолит, развивающийся вследствие износа, имеет множество клинических проявлений и последствий. Состояние пациентов может варьироваться от полного клинического благополучия до ситуаций, при которых потребуются выполнение ревизионного вмешательства, одним из которых является изолированная замена модульных компонентов эндопротеза.

Таблица 1

Балльная шкала системной оценки остеолита (Narkbunnam R., 2017)

Локализация	Балл	Изменения на рентгенограмме
Зона 1	0	Отсутствие поражения
	1	Небольшой размер поражения < 1 см
	2	Размер поражения ≥ 1 см, интактность свода ≥ 1 см или рентгенопрозрачная линия кости толщиной < 2 мм
	3	Свод не поврежден < 1 см или рентгенопрозрачная линия толщиной ≥ 2 мм
	4	Поражение захватывает весь свод или присутствует перелом свода
Зона 2	0	Отсутствие поражения
	1	Небольшой размер поражения < 1 см или толщина рентгенопрозрачной линии < 2 мм
	2	Размер поражения ≥ 1 см или толщина рентгенопрозрачной линии ≥ 2 мм
	3	Поражение захватывает линию Köhler
Зона 3	0	Отсутствие поражения
	1	Рентгенопрозрачная линия толщиной < 2 мм
	2	Локализованное поражение в области «фигуры слезы»/седалищной кости или рентгенопрозрачная линия толщиной ≥ 2 мм
	3	Поражение захватывает линию Köhler или значительный лизис седалищной кости

Показания для выполнения модульной ревизии

Пациентам с износом и остеолитом возможно выполнить модульную ревизию или ревизию эндопротеза тазобедренного сустава с заменой всех компонентов. Модульная ревизия подразумевает изолированную замену вкладыша и головки эндопротеза с сохранением стабильных вертлужного и бедренного компонентов [26, 27].

В настоящее время в научной литературе нет единого мнения относительно показаний для выполнения модульной ревизии тазобедренного сустава. У пациентов с болевым синдромом и отсутствием явных признаков асептической нестабильности компонентов эндопротеза одной из наиболее вероятных причин появившегося со временем дискомфорта в области тазобедренного сустава является износ и остеолит [17, 18]. В такой ситуации модульная ревизия является привлекательным вариантом хирургического лечения, однако в разных работах требования, предъявляемые к потенциальным кандидатам на изолированную замену головки и вкладыша эндопротеза тазобедренного сустава, не всегда совпадают [26, 27]. Ряд хирургов ограничивают круг пациентов более жесткими критериями: наличие правильной позиции компонентов эндопротеза, целый механизм фиксации вкладыша, вертлужный компонент не поврежден головкой в результате износа вкладыша, новый полиэтиленовый вкладыш обладает достаточной толщиной, модель вертлужного компонента имеет хорошую выживаемость по данным регистров [26]. В своем исследовании B. Lutz с соавторами рекомендуют изолированную замену модульных компонентов при условии, что со-

храненный вертлужный компонент, по данным регистров, еще не достиг среднего срока своей выживаемости [27].

Однако со временем подходы к лечению таких пациентов несколько изменились. Например, данные о сопоставимых результатах при использовании оригинального фиксирующего устройства и цементной техники фиксации вкладыша в стабильный вертлужный компонент расширили показания к модульной ревизии [28, 29]. Балльная оценка остеолита, разработанная R. Narkbunnam с соавторами [25], с определением пороговых значений для асептического расшатывания также увеличивает количество потенциальных пациентов, которым будет показано выполнение модульной ревизии.

У пациентов с обширным остеолитом возникают трудности, связанные с дифференциальной диагностикой потери костной ткани вокруг стабильного компонента эндопротеза по стандартным рентгенограммам. Остеопороз и стресс-шилдинг, развивающиеся вокруг имплантатов, вызывают трудности при интерпретации рентгенограмм на наличие остеолитических полостей. Данные о потере костной ткани, качестве перимплантарной кости, целостности рима и наличии участков остеоинтеграции компонента являются ключевыми на этапе предоперационного планирования. Стандартные рентгенограммы не всегда дают необходимое количество информации для полноценного предоперационного планирования ввиду трудности в визуализации трехмерной структуры на двумерном изображении [30].

В кадаверном исследовании A.M. Claus с соавторами установили, что общая чувствительность

рентгеновского исследования в обнаружении остеолитических очагов составляет лишь 41,5%. Также было отмечено, что обнаружение очагов зависит от их расположения. Так, чувствительность при локализации полости в подвздошной кости составила 72%, в то время как для седалищной кости и ацетабулярного рима данный показатель был равен 15% [30]. Трудности в обнаружении остеолитических полостей на стандартных рентгенограммах обуславливают необходимость выполнения компьютерной томографии. В ряде исследований компьютерная томография продемонстрировала более высокую чувствительность по сравнению с рентгенографией в диагностике остеолита вне зависимости от локализации и размеров полостей [30, 31, 32]. Также стоит отметить, что в некоторых работах, посвященных оценке остеолита при помощи лучевых методов диагностики, именно компьютерная томография выступала золотым стандартом, с которым проводилось сравнение результатов анализа рентгенограмм [32, 33].

Развитие цифровых технологий и необходимость полноценной визуализации привели к появлению методик по созданию трехмерной реконструкции таза на основе КТ-срезов, которая является более информативной с точки зрения возможности оценки объекта с различных ракурсов и представления целостной модели сложного трехмерного объекта. У хирургов появилась возможность точно рассчитать площадь контакта вертлужного компонента с костью, измерить объем остеолитической полости, что, в свою очередь, напрямую влияет на тактику оперативного лечения [34, 35].

Например, в исследовании А.Н. Коваленко с соавторами, оценивающим влияние 3D-реконструкции на предоперационное планирование ревизии эндопротеза тазобедренного сустава, было обнаружено, что хирурги часто меняли свое мнение относительно тактики лечения после про-

смotra объемного изображения [34]. Трехмерная реконструкция, при правильной сегментации и очистке изображения от имплантата, способна исчерпывающе показать выраженность изменений костной ткани вокруг компонентов эндопротеза. Также некоторые авторы описывают даже уменьшение интраоперационной кровопотери и сокращение времени операции при трехмерной визуализации на этапе планирования [36, 37]. Данные о характеристике методик визуализации перипротезного остеолита представлены в таблице 2.

Информация о локализации и объеме остеолита, данные о площади контакта компонентов эндопротеза тазобедренного сустава с костью являются ключевыми параметрами во время предоперационного планирования, поскольку стабильная фиксация компонентов, окруженных остеолитическими полостями, является значимым аргументом в пользу выполнения модульной ревизии [25].

В настоящий момент большинство ученых сходятся во мнении, что окончательное решение о сохранении компонентов эндопротеза и выборе пациента, которому будет выполнена модульная ревизия, принимается интраоперационно [8, 38]. По нашему мнению, потребность удостовериться в полной механической стабильности имплантатов обуславливает необходимость четкой визуализации обода вертлужного компонента и дальнейшего проведения тестов на стабильность. Ряд хирургов для получения более достоверной информации о стабильности вертлужного компонента рекомендуют удалять винты перед оценкой его механической устойчивости [8, 38]. Также некоторые из них предлагают производить непосредственный удар по краю имплантата и оценивать его смещение относительно костей таза [39].

Таким образом, опубликованные ранее подходы к отбору пациентов для выполнения модульной ревизии со временем претерпели ряд изменений. Прогресс в производстве новых пар трения,

Таблица 2

Характеристика методик визуализации перипротезного остеолита

Исследование	Метод визуализации	Чувствительность, %	Возможность рассчитать размер полости	Возможность рассчитать площадь покрытия компонентов эндопротеза	Возможность создания модели при помощи 3D-печати
Claus A.M. с соавт., 2003 [30]	Рентген	15–72	да	нет	нет
Leung S. с соавт., 2005 [31]	КТ	60–85	да	нет	нет
Stulberg S.D. с соавт., 2002 [32]					
Коваленко А.Н. с соавт., 2020 [34]	3D-реконструкция на основе КТ	60–85	да	да	да
Денисов А.О. с соавт., 2023 [35]					
Leung S. с соавт., 2005 [31]					
Stulberg S.D. с соавт., 2002 [32]					
Zhang Y.D. с соавт., 2018 [37]					

внедрение трехмерной визуализации и изменения в подходе оценки остеолита на предоперационном этапе, а также накопленные данные об исходах модульных ревизий расширяют показания к выполнению изолированной замены головки и вкладыша эндопротеза тазобедренного сустава.

В настоящий момент на основании данных отечественной и зарубежной литературы можно выделить следующие показания к модульной ревизии: выраженный износ полиэтиленового вкладыша с угрозой контакта между головкой эндопротеза и внутренней поверхностью вертлужного компонента; болевой синдром в области тазобедренного сустава и отсутствие признаков асептического расшатывания компонентов эндопротеза при наличии износа вкладыша и очагов остеолита; поздний вывих, обусловленный износом пары трения. Однако остается нерешенным вопрос об объеме ревизионного вмешательства у пациентов, имеющих обширные остеолитические дефекты вокруг стабильных компонентов эндопротеза, особенно вокруг вертлужного, а также у больных с выраженным износом, мальпозицией имплантатов при отсутствии вывихов в анамнезе.

Модульная ревизия: преимущества и недостатки

В ходе ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава замена модульных компонентов является достаточно малотравматичной операцией, которая позволяет сократить продолжительность вмешательства, снизить объем кровопотери. При этом модульная ревизия в сравнении с ревизией с заменой компонентов эндопротеза имеет меньший показатель болевого синдрома после операции и обеспечивает раннее восстановление пациента при хорошей выживаемости в среднесрочном наблюдении [40, 41].

К.Н. Koh с соавторами проанализировали 80 случаев ревизионного эндопротезирования по поводу износа вкладыша эндопротеза: из них 45 полных ревизий и 35 модульных при среднем сроке наблюдения 51 мес. Была выявлена статистически значимая разница в объеме интраоперационной кровопотери, времени операций и продолжительности нахождения больных в стационаре при отсутствии различий в частоте осложнений, таких как асептическое расшатывание, вывихи и перипротезная инфекция [8].

C. Restrepo с соавторами сравнили 31 случай ревизионного эндопротезирования по поводу износа и остеолита с заменой стабильного вертлужного компонента с 37 случаями ревизии с заменой только вкладыша. Авторы не нашли различий в исходах при среднем сроке наблюдения 2,8 года, хотя и было установлено, что продолжительность операции и кровопотеря были меньше

в группе замены модульных компонентов имплантатов [41]. R. Narkbunnam с соавторами в своей работе обнаружили отсутствие разницы в частоте осложнений между модульной ревизией и ревизией с удалением вертлужного компонента, но отметили, что выраженность послеоперационного болевого синдрома была ниже в группе замены модульных компонентов [42].

Известно, что удаление хорошо фиксированной чашки имплантата, окруженной зонами остеолита, может привести к значительной потере костной ткани и формированию обширного дефекта в зоне предполагаемой установки нового вертлужного компонента [40, 43]. В подобных ситуациях при выполнении ревизионного эндопротезирования может потребоваться использование костной пластики, аугментов, антипротрузионных колец, а в особо сложных случаях — индивидуальных имплантатов. Все вышеперечисленное зачастую влечет за собой технические трудности в установке нового вертлужного компонента, чего можно избежать, принимая решение о сохранении стабильной чашки [26, 43].

Следует отметить, что при всех своих преимуществах модульная ревизия также имеет ряд недостатков, связанных как с техническими и материальными аспектами операции, так и с послеоперационными исходами. При сохранении стабильной чашки во время операции отсутствует возможность исправить ее мальпозицию, что в дальнейшем может привести к вывихам в послеоперационном периоде [44, 45]. В нашей практике при размере чашки до 50 мм не всегда удается установить новый полиэтиленовый вкладыш достаточной толщины при использовании головки имплантата большего размера, что также может приводить к вывиху эндопротеза после операции. Также общепризнанно, что существуют технические трудности с доступом к зоне остеолитического дефекта при попытке выполнить костную пластику.

Исходя из этого, можно отметить, что изолированная замена модульных компонентов является привлекательным вариантом хирургического лечения пациентов с износом и перипротезным остеолитом, однако наличие ряда недостатков не позволяет с уверенностью утверждать, что данное вмешательство показано во всех случаях износа вкладыша при стабильных компонентах эндопротеза.

Результаты и осложнения модульной ревизии

В современной научной литературе сообщается о различных исходах модульной ревизии. S.A. Lie с соавторами сообщают о результатах 1649 ревизионных операций, сведения о которых были

получены из норвежского регистра эндопротезирования. Было установлено, что частота послеоперационных осложнений после изолированной замены вкладыша и головки эндопротеза была выше в сравнении с ревизиями, во время которых происходила замена вертлужного компонента, а основным осложнением после модульной ревизии являлся вывих головки эндопротеза, составивший 28% от всех осложнений [46]. L. Vadei с соавторами ретроспективно проанализировали регистр эндопротезирования тазобедренного сустава Новой Зеландии, оценивая результаты модульной ревизии. Десятилетняя выживаемость составила 75,3%, а средний срок до повторной операции — 1,3 года. Основными причинами ревизий стали рецидивирующий вывих (48,4%) и асептическое расшатывание вертлужного компонента (20,9%) [47].

S.M. Petis с соавторами оценили результаты 116 модульных ревизий по поводу износа и остеолита. Была выявлена выживаемость 91% на сроке 10 лет и 69% — на сроке 15 лет. Пяти (4%) пациентам была выполнена повторная операция по

поводу асептического расшатывания вертлужного компонента, однако самым частым осложнением являлся рецидивирующий вывих, произошедший у 19 (16%) пациентов [48]. Данные о результатах малых ревизий, опубликованные за последние двадцать лет, представлены в таблице 3.

После модульной ревизии тазобедренного сустава вывихи эндопротеза могут встречаться с частотой от 2 до 48%, асептическое расшатывание вертлужного компонента развивается у 4–21% пациентов, а повторные ревизионные вмешательства выполняются в 3–20% случаев. При этом выживаемость эндопротезов после замены модульных компонентов, по данным национальных регистров, составляет от 73 до 97% на сроках от 2,8 до 10 лет (табл. 3). Поэтому, несмотря на малые травматичность, кровопотерю и сокращенное время операции, а также возможность раннего восстановления пациента, С.Т. Talmo с соавторами рекомендуют при износе полиэтиленового вкладыша выполнять ревизионное эндопротезирование с заменой вертлужного и/или бедренного компонентов во всех случаях [54].

Таблица 3

Результаты и осложнения модульной ревизии

Исследование	Кол-во пациентов	Вывихи	Причина ревизионного вмешательства					Выживаемость, %
			Рецидивирующий вывих	Расшатывание вертлужного компонента	Расшатывание бедренного компонента	Другие причины	Всего	
Blom A.W. с соавт., 2005 [49]	38	9	3	–	–	–	3	92,1
Koh K.H. с соавт., 2011 [8]	35	1	1	1	–	–	2	94,3
Stamenkov R. с соавт., 2014 [50]	7	1	1	–	–	–	1	85,7
Park M.S. с соавт., 2015 [51]	45	5	5	7	–	–	12	71,8
Lim S.J. с соавт., 2014 [52]	36	1	–	1	–	–	1	97,2
Rivkin G. с соавт., 2015 [53]	36	1	1	1	1	1	4	88,9
Narkbunnam R. с соавт., 2017 [25]	43	–	–	3	–	1	4	90,7
Petis S.M. с соавт., 2019 [48]	116	19	19	5	–	–	24	79,0

Факторы риска возникновения осложнений после малой ревизии

В настоящее время в научной литературе нет четкого ответа на вопрос о причинах неудач после операции по замене модульных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава. Некоторые авторы пытаются выявить факторы риска развития осложнений после малых ревизий. Например, W. Chen с соавторами по результатам анализа исходов 104 малых ревизий выделили хроническую почечную недостаточность в качестве фактора риска развития асептического расшатывания после изолированной замены вкладыша [55]. R. Narkbunnam с соавторами, анализируя исходы

модульных ревизий и проводя количественную оценку остеолита, определили, что сумма баллов остеолита 5 и более является значимым фактором риска асептического расшатывания после модульной ревизии [25].

Следует отметить, что данные о расшатывании бедренного компонента и факторах, приводящих к подобной ситуации после модульной ревизии, в литературе практически не встречались. Однако ряд работ свидетельствуют о проблемах, связанных с сохранением стабильного бедренного компонента. Так, в своем метаанализе и системном обзоре, в который вошли 35 работ, содержащих данные о 3497 пациентах, которым была выполнена изо-

лированная ревизия вертлужного компонента с сохранением бедренного со средним сроком наблюдения 9,28 года. М. Poursalehian с соавторами установили, что риск повторного хирургического вмешательства по поводу асептического расшатывания бедренного компонента составил 1,7%. Также было установлено, что использование керамических головок и поперечно-связанного полиэтилена значимо снижало частоту осложнений [56]. Схожие данные были получены Н. Li с соавторами в ходе метаанализа и систематического обзора. Проанализировав 20 работ, в которых содержалась информация о 1484 пациентах, перенесших ревизионное эндопротезирование с заменой вертлужного и сохранением бедренного компонента, было установлено, что риск повторной ревизии по всем причинам составил 1,75%, а для асептического расшатывания бедренного компонента риск был равен 0,62%. Было выявлено, что значимым фактором для асептического расшатывания бедренного компонента являлся цементный тип фиксации [57]. Данные исследования необходимо учитывать при решении вопроса о выполнении модульной ревизии, поскольку они подчеркивают, что сохранение бедренного компонента является безопасной опцией с точки зрения асептического расшатывания при соблюдении определенных условий.

Помимо асептического расшатывания, вывих также является серьезным осложнением после изолированной замены модульных компонентов. Ряд авторов отмечают, что диаметр головки эндопротеза 28 мм и/или нарушение позиционирования компонентов эндопротеза являются значимыми факторами риска вывиха после модульной ревизии [17, 58]. Поэтому для предотвращения асептического расшатывания вертлужного компонента и вывихов эндопротеза еще в 1997 г. W.J. Maloney с соавторами предложили алгоритм для принятия решения о выборе объема ревизии и сохранении или удалении стабильного вертлужного компонента [26]. Авторы выделили шесть критериев, относящихся к вертлужным компонентам эндопротеза: наличие правильной позиции, интактный механизм фиксации вкладыша, вертлужный компонент не поврежден головкой в результате износа вкладыша, новый полиэтиленовый вкладыш обладает достаточной толщиной, модель вертлужного компонента имеет хорошую выживаемость по данным регистров, вертлужный компонент является модульным. На основе этих критериев авторы делили бесцементные вертлужные компоненты на три группы. Первая группа должна отвечать всем шести критериям, тогда в этой группе может быть выполнена модульная ревизия. Ко второй группе относятся стабильные вертлужные компоненты, лишь частично отвечающие

вышеперечисленным критериям. В связи с этим пациентам этой группы рекомендовано выполнение не модульной ревизии, а полной замены вертлужного компонента. К третьей группе относятся вертлужные компоненты с рентгенологическими признаками нестабильности, которые также подвергаются полной замене.

Несмотря на это, на сегодняшний день ряд исследований демонстрирует отличные результаты операций по замене модульных компонентов эндопротезов тазобедренного сустава у пациентов с поврежденным механизмом фиксации и установленным полиэтиленовым вкладышем при помощи костного цемента [52, 59]. К тому же использование поперечно-связанного полиэтилена позволяет применять вкладыши меньшей толщины, что позволяет устанавливать эндопротезы с головкой большего диаметра, что способствует профилактике вывихов в послеоперационном периоде [58].

Таким образом, новые данные о результатах цементной фиксации вкладыша и широкое использование в практике поперечно-связанного полиэтилена заставляют пересмотреть отношение к выполнению модульной ревизии, а создание шкал для прогнозирования осложнений способствует формированию дифференцированного подхода к лечению профильных пациентов.

Проблема выбора метода фиксации нового вкладыша

В настоящее время остается открытым вопрос выбора методики фиксации нового вкладыша в стабильный вертлужный компонент во время выполнения модульной ревизии. Существует два способа фиксации: установка с использованием оригинального фиксирующего механизма и фиксация при помощи костного цемента. Чтобы выполнить фиксацию при помощи оригинального механизма, необходимо наличие подходящего вкладыша и неповрежденной системы крепления. M.J. Archibeck с соавторами зарегистрировали лишь один случай повторной ревизии на сроке 2,5 года по поводу разобщения вкладыша с вертлужным компонентом в группе из 29 пациентов, которым был установлен новый вкладыш с использованием неповрежденного оригинального механизма фиксации при среднем сроке наблюдения 5,1 года [60]. W.G. Hamilton с соавторами, отследив результаты 180 замен полиэтиленового вкладыша с использованием оригинального механизма фиксации у пациентов с износом и остеолитом при среднем сроке наблюдения 6,7 года, обнаружили 25 случаев, потребовавших повторной операции, однако только в одном из них причиной явилось разобщение нового вкладыша с вертлужным компонентом [61]. Также ряд исследований,

оценивающих результаты и причины неудач после модульных ревизий, демонстрируют, что разобщение нового вкладыша с вертлужным компонентом по причине несостоятельности оригинального фиксирующего механизма не является основной причиной выполнения повторных ревизий [62, 63]. Так, R.G. Ricotti с соавторами в своем систематическом обзоре, в который вошли работы, содержащие данные о результатах изолированной замены модульных компонентов эндопротезов тазобедренного сустава с костной пластикой и неповрежденным механизмом фиксации, сообщили об общей частоте ревизий 6,6% [62]. Ни в одной работе нами не найдено данных о повторном ревизионном вмешательстве по поводу разобщения нового вкладыша с вертлужным компонентом, что говорит о возможности надежной фиксации при использовании оригинального механизма.

В ситуациях, когда имеется повреждение оригинального механизма фиксации или отсутствует подходящий вкладыш, возможна установка нового вкладыша при помощи костного цемента. В биомеханическом исследовании А.А. Hofmann с соавторами сравнили устойчивость к разобщению между зацементированными и фиксированными с помощью оригинального механизма вкладышами. Было установлено, что сила, необходимая для разобщения компонентов, была одинаковой в обеих группах, однако ротационная стабильность была выше в группе зацементированных вкладышей [64]. Также G.F. Naft с соавторами, анализируя технические параметры цементируемых конструкций, установили взаимосвязь между большей прочностью сочленений и наличием рельефа на внешней поверхности вкладыша и внутренней поверхности вертлужного компонента [65]. W.K.T. Liu с соавторами в своем исследовании сравнили отдаленные результаты двух групп пациентов, перенесших модульную ревизию с фиксацией нового вкладыша при помощи оригинального устройства и костного цемента. Частота ревизий при среднем сроке наблюдения 13 лет составила 11,1 и 12,0% соответственно, что свидетельствует о хорошей выживаемости модульной ревизии с цементированием нового вкладыша в сравнении с оригинальной методикой фиксации [28]. Также М.А. Malahias с соавторами, проанализировав работы, посвященные модульной ревизии с фиксацией вкладыша на цемент, сообщили об общей частоте осложнений 11,3% [29]. Ни в одном источнике не было зарегистрировано осложнения, связанного с разобщением зацементированного вкладыша с вертлужным компонентом.

Таким образом, сопоставимые результаты методов фиксации новых вкладышей говорят о возможности выполнения изолированной замены модульных компонентов при повреждении ори-

гинального фиксирующего устройства или отсутствии подходящего вкладыша, что расширяет круг пациентов, которым возможно выполнить модульную ревизию.

Результаты костной пластики в зонах остеолита

Многие авторы, помимо замены модульных компонентов, при износе и остеолите рекомендуют выполнять замещение образовавшихся остеолитических дефектов посредством костной пластики для восполнения запаса костной ткани и предотвращения дальнейшей ее потери [50, 66]. Необходимо отметить, что удаление вертлужного компонента значительно упрощает заполнение остеолитических дефектов вертлужной впадины в сравнении с их замещением при его сохранении, поскольку у хирурга имеется прямой доступ к зоне дефекта [40].

Существует достаточное количество методик, позволяющих заполнить очаг остеолитического поражения, не удаляя компоненты эндопротеза. Так, ряд авторов рекомендуют выполнять дебридмент и последующее замещение костного дефекта через сформированное окно в крыле подвздошной кости над верхней или задней областью вертлужной впадины в зависимости от локализации очага поражения [8, 67]. При расположении очага остеолита ретроацетабулярно описаны методы замещения остеолитических дефектов через отверстия для винтов. К тому же некоторые авторы рекомендуют при помощи боров для резки металла объединять близкорасположенные отверстия для винтов для более удобного доступа к области костных дефектов вокруг компонентов эндопротеза [17].

Для заполнения остеолитических дефектов хирурги используют различные виды материалов: аллогенная кость, фосфат кальция, сульфат кальция, костный цемент [40, 50, 66]. Выбор данных материалов обусловлен их способностью заполнять обширные костные дефекты, простотой в использовании и рентгеноконтрастностью. Однако в настоящее время нет данных о преимуществе определенного вида материала. Также следует отметить, что в исследованиях, оценивающих заполнение остеолитических дефектов на разных сроках после операции, нет данных о полном исчезновении соответствующих костных полостей. В своем исследовании R. Stamenkov с соавторами наблюдали за очагами остеолита, которые были заполнены костным аллотрансплантатом, у 6 пациентов в течение 4 лет после операции. Было отмечено отсутствие прогрессирования объема очагов остеолита, а коэффициент заполнения дефектов составил 44%, что было интерпретировано авторами как хороший результат [50].

Схожие результаты описали Н. Egawa с соавторами после анализа изменений очагов остеолита у 10 пациентов, которым была выполнена модульная ревизия совместно с замещением костных дефектов. В качестве материала для заполнения костных полостей использовался сульфат кальция. КТ выполнялась на следующий день после операции и далее в среднем один раз в год. На послеоперационных компьютерных томограммах коэффициент заполнения полости составлял в среднем 43%, а через год были отмечены признаки минерализации новой костной ткани, заполняющей 24% от первоначального очага остеолита [66].

N.A. Mall с соавторами, сравнив результаты костной аллопластики в группах с удалением и сохранением вертлужного компонента, обнаружили более низкий показатель заполнения остеолитических дефектов и дальнейшей остеоинтеграции в группе замены модульных компонентов. Коэффициент заполнения составил 43 и 17% соответственно, а при анализе КТ-исследований, выполненных в среднем через год, показатель остеоинтеграции составил 35,5 и 14,4% соответственно [40]. В то же время некоторые авторы отмечали уменьшение остеолитических очагов после изолированной замены модульных компонентов без выполнения костной пластики. По их мнению, это свидетельствует о значимости удаления источника частиц износа (дебриса) для предотвращения прогрессирования остеолита и потери костной ткани [26, 43].

В настоящий момент роль костной пластики при замещении остеолитических полостей во время изолированной замены модульных компонентов остается неясной. Несмотря на то, что в представленных работах достаточно полно обобщены данные о заполнении остеолитических полостей, остаются нерешенными вопросы, касающиеся влияния на результат костной пластики объема и локализации костных дефектов, наличие у костной полости кортикальных стенок. Также нет данных о сравнении результатов костной пластики различными замещающими материалами. Данный факт обуславливает необходимость дальнейшего исследования с более дифференцированным подходом к оценке исходов костной пластики.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Износ пары трения эндопротеза тазобедренного сустава, влекущий за собой такие проблемы, как болевой синдром, вывихи и асептическое расшатывание компонентов имплантата, в настоящий момент является нерешенной проблемой в ортопедии. Данные о консервативном лечении немногочисленны, а вопрос выбора метода хирургического лечения остается дискуссионным. На сегодняшний день возможны варианты вмешательства с сохранением или заменой стабильных компонентов эндопротеза. Малые травматичность, кровопотеря, сокращение времени операции и более быстрое восстановление делают модульную ревизию привлекательным методом хирургического лечения пациентов с износом и остеолитом вокруг стабильных вертлужного и бедренного компонентов. За последнее время показания к выполнению изолированной замены модульных компонентов эндопротеза стали значительно шире в связи с прогрессом в производстве новых пар трения, внедрением трехмерной визуализации, а также накопленными данными об исходах оперативного лечения у пациентов с использованием цементной фиксации нового вкладыша.

Однако послеоперационные осложнения, такие как вывихи и асептическое расшатывание компонентов эндопротеза, в некоторых случаях ставят под сомнение предпочтительность данного хирургического вмешательства, особенно у пациентов с обширными периацетабулярными остеолитическими дефектами или мальпозицией компонентов эндопротеза.

Для предотвращения развития осложнений и повторных ревизий после выполнения замены модульных компонентов разными хирургами проводился поиск факторов риска, связанных с пациентом, эндопротезом и хирургическим вмешательством. На сегодняшний день недостаточно данных относительно прогнозирования осложнений в зависимости от локализации и количественной оценки остеолитических поражений, степени фиксации и позиции вертлужного и бедренного компонентов, техники операции, установленных имплантатов, особенностей пациента.

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.

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.

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]

- Chen A.G., Sogbein O.A., McClure J.A., Reid J., Welk B., Lanting B.A. et al. Total Hip Arthroplasty in Patients Aged 40 to 60 Years Old: A Population-Based Study. *J Arthroplasty*. 2023;38(7S):S83-S88.e2. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.04.027>.
- Скороглазов А.В., Бут-Гусайм А.Б., Сиротин И.В., Мкртчян В.А. Сравнение функциональных результатов лечения у больных после артропластики тазобедренного сустава с применением твердых пар трения. *Российский медицинский журнал*. 2015;(5):31-34. <https://doi.org/10.17816/rmj38274>.
- Skoroglyadov A.V., But-Gusaim A.B., Sirotn I.V., Mkrtchyan V.A. The comparison of functional result of treatment of patients after arthroplasty of coxofemoral joint using hard friction pairs. *Russian Medicina*. 2015;(5):31-34. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/rmj38274>.
- Ахтямов И.Ф., Гурылева М.Э., Юсеф А.И., Зиятдинов Б.Г., Закиров Р.Х., Туренков С.В. Оценка возможных параллелей между показателями качества жизни и клинико-функциональным состоянием у больных после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2008;(1):71-74. Akhtyamov I.F., Guryleva M.E., Youssef A.I., Ziyatdinov B.G., Zakirov R.Kh., Turenkov S.V. Evaluation of potential parallels between indices of life quality and clinical functional condition of patients after hip replacement. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2008;(1):71-74. (In Russian).
- Sloan M., Premkumar A., Sheth N.P. Projected Volume of Primary Total Joint Arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(17):1455-1460. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01617>.
- Badarudeen S., Shu A.C., Ong K.L., Baykal D., Lau E., Malkani A.L. Complications after revision total hip arthroplasty in the Medicare population. *J Arthroplasty*. 2017;32(6):1954-1958.
- Kelmer G., Stone A.H., Turcotte J., King P.J. Reasons for Revision: Primary Total Hip Arthroplasty Mechanisms of Failure. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021;29(2):78-87. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00860>.
- 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. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27>. 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). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27>.
- Koh K.H., Moon Y.W., Lim S.J., Lee H.I., Shim J.W., Park Y.S. Complete acetabular cup revision versus isolated liner exchange for polyethylene wear and osteolysis without loosening in cementless total hip arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011;131(11):1591-1600. <https://doi.org/10.1007/s00402-011-1338-x>.
- Berlinberg E.J., Roof M.A., Meftah M., Long W.J., Schwarzkopf R. Outcomes of isolated head-liner exchange versus full acetabular component revision in aseptic revision total hip arthroplasty. *Hip Int*. 2023;33(4):716-726. <https://doi.org/10.1177/11207000221092127>.
- McKellop H.A., Campbell P., Park S.H., Schmalzried T.P., Grigoris P., Amstutz H.C. et al. The origin of submicron polyethylene wear debris in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(311):3-20.
- Тихилов Р.М., Шубняков М.И., Бояров А.А., Денисов А.О., Шубняков И.И. Влияние различных факторов на темпы износа полиэтиленового вкладыша в эндопротезах тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(1):18-28. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-18-28>. Tikhilov R.M., Shubnyakov M.I., Boyarov A.A., Denisov A.O., Shubnyakov I.I. Impact of Various Factors on the Polyethylene Wear Rate in Total Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(1):18-28. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-18-28>.
- Atrey A., Ward S.E., Khoshbin A., Hussain N., Bogoch E., Schemitsch E.H. et al. Ten-year follow-up study of three alternative bearing surfaces used in total hip arthroplasty in young patients: a prospective randomised controlled trial. *Bone Joint J*. 2017;99-B(12):1590-1595. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B12.BJJ-2017-0353.R1>.
- Тихилов Р.М., Шубняков М.И., Шубняков И.И., Сивков В.С., Малыгин Р.В., Цыбин А.В. и др. Двигательная активность пациентов молодого возраста после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;(1). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27390>. Tikhilov R.M., Shubnyakov M.I., Shubnyakov I.I., Sivkov V.S., Malygin R.V., Tsybin A.V. et al. Motor activity of young patients after total hip arthroplasty. *Modern Problems of Science and Education*. 2018;(1). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27390>.
- Canadian Institute for Health Information. Hip and knee replacements in Canada, 2016–2017: Canadian Joint Replacement Registry – Annual Report. Ottawa: CIHI; 2018.
- Heiner A.D., Galvin A.L., Fisher J., Callaghan J.J., Brown T.D. Scratching vulnerability of conventional vs highly cross-linked polyethylene liners because of large embedded third-body particles. *J Arthroplasty*. 2012;27(5):742-749. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2011.10.002>.

16. Dorr L.D., Wan Z., Shahrddar C., Sirianni L., Boutary M., Yun A. Clinical performance of a Durasul highly cross-linked polyethylene acetabular liner for total hip arthroplasty at five years. *J Bone Joint Surg Am.* 2005; 87(8):1816-1821. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.01915>.
17. Sheth N.P., Rozell J.C., Paprosky W.G. Evaluation and Treatment of Patients With Acetabular Osteolysis After Total Hip Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(6):e258-e267. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00685>.
18. Patel A.R., Sweeney P., Ochenjele G., Wixson R., Stulberg S.D., Puri L.M. Radiographically Silent Loosening of the Acetabular Component in Hip Arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2015;44(9):406-410.
19. Falez F., Papalia M., Favetti F., Panegrossi G., Casella F., Mazzotta G. Total hip arthroplasty instability in Italy. *Int Orthop.* 2016;41(3):635-644. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-3093-5>.
20. Parvizi J., Wade F.A., Rapuri V., Springer B.D., Berry D.J., Hozack W.J. Revision hip arthroplasty for late instability secondary to polyethylene wear. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:66-69. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000218751.14989.a6>.
21. Charnley J. Postoperative infection after total hip replacement with special reference to air contamination in the operating room. *Clin Orthop Relat Res.* 1972;87:167-187. <https://doi.org/10.1097/00003086-197209000-00020>.
22. Haynes J.A., Stambough J.B., Sassoon A.A., Johnson S.R., Clohisy J.C., Nunley R.M. Contemporary Surgical Indications and Referral Trends in Revision Total Hip Arthroplasty: A 10-Year Review. *J Arthroplasty.* 2016;31(3):622-625. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.09.026>.
23. Saleh K.J., Schwarz E.M. Osteolysis: Medical and Surgical Approaches. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(427):138-147. <https://doi.org/10.1097/01.BLO.0000142288.66246.4D>.
24. Jacobs J.J., Campbell P.A., Konttinen T.Y. Implant Wear Symposium 2007 Biologic Work Group. How has the biologic reaction to wear particles changed with newer bearing surfaces? *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16 Suppl 1:S49-55. <https://doi.org/10.5435/00124635-200800001-00011>.
25. Narkbunnam R., Amanatullah D.F., Electricwala A.J., Huddleston J.I., Maloney W.J., Goodman S.B. Radiographic scoring system for the evaluation of stability of cementless acetabular components in the presence of osteolysis. *Bone Joint J.* 2017;99-B(5):601-606. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B5.BJJ-2016-1110.R1>.
26. Maloney W.J., Herzurm P., Paprosky W., Rubash H.E., Engh C.A. Treatment of pelvic osteolysis associated with a stable acetabular component inserted without cement as part of a total hip replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(11):1628-1634. <https://doi.org/10.2106/00004623-199711000-00003>.
27. Lutz B., Faschingbauer M., Bieger R., Reichel H., Kappe T. Acetabular Osteolysis in Total Hip Replacement – When to Retain the Cup? *Z Orthop Unfall.* 2016;154(4):377-384. (In German). <https://doi.org/10.1055/s-0042-105212>.
28. Liu W.K.T., Cheung A., Fu H., Chan P.K., Chiu K.Y. Acetabular component liner exchange with highly crosslinked polyethylene for wear and osteolysis. *Bone Joint J.* 2024;106-B(5 Supple B):59-65. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.106B5.BJJ-2023-0821.R2>.
29. Malahias M.A., Ma Q.L., Jang S.J., Loucas M., Gu A., Gkias I. et al. Polyethylene liner cementation into a well-fixed metal acetabular shell for the management of periacetabular osteolysis: a systematic review. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2022;32(8):1459-1468. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03130-w>.
30. Claus A.M., Engh C.A. Jr., Sychterz C.J., Xenos J.S., Orishimo K.F., Engh C.A. Sr. Radiographic definition of pelvic osteolysis following total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(8):1519-1526. <https://doi.org/10.2106/00004623-200308000-00013>.
31. Leung S., Naudie D., Kitamura N., Walde T., Engh C.A. Computed tomography in the assessment of periacetabular osteolysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(3):592-597. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.02116>.
32. Stulberg S.D., Wixson R.L., Adams A.D., Hendrix R.W., Bernfield J.B. Monitoring pelvic osteolysis following total hip replacement surgery: an algorithm for surveillance. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A Suppl 2:116-122. <https://doi.org/10.2106/00004623-200200002-00016>.
33. Shon W.Y., Gupta S., Biswal S., Han S.H., Hong S.J., Moon J.G. Pelvic osteolysis relationship to radiographs and polyethylene wear. *J Arthroplasty.* 2009;24(5):743-750. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2008.02.012>.
34. Коваленко А.Н., Шубняков И.И., Джавадов А.А., Билык С.С., Черкасов М.А., Амбросенков А.В. и др. Роль трехмерной визуализации при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Гений ортопедии.* 2020;26(3):364-369. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-3-364-369>.
Kovalenko A.N., Shubniakov I.I., Dzhabadov A.A., Bilyk S.S., Cherkasov M.A., Ambrosenkov A.V. et al. The role of three-dimensional visualization in revision hip arthroplasty. *Genij Ortopedii.* 2020;26(3):364-369. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-3-364-369>.
35. Денисов А.О., Тихилов Р.М., Коваленко А.Н., Шубняков И.И., Билык С.С., Джавадов А.А. Целесообразность трехмерной визуализации при определении тяжести костных дефектов в области вертлужной впадины. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2023;(2)52:16-22. <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-2-16-22>.
Denisov A.O., Tikhilov R.M., Kovalenko A.N., Shubnyakov I.I., Bilyk S.S., Dzhabadov A.A. The feasibility of three-dimensional visualization in determining the severity of bone defects in the acetabulum. *Department of Traumatology and Orthopedics.* 2023;(2)52:16-22. (In Russian). <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-2-16-22>.
36. Xiao J.R., Huang W.D., Yang X.H., Yan W.J., Song D.W., Wei H.F. et al. En Bloc Resection of Primary Malignant Bone Tumor in the Cervical Spine Based on 3-Dimensional Printing Technology. *Orthop Surg.* 2016; 8(2):171-178. <https://doi.org/10.1111/os.12234>.
37. Zhang Y.D., Wu R.Y., Xie D.D., Zhang L., He Y., Zhang H. Effect of 3D printing technology on pelvic fractures: a meta-analysis. *Zhongguo Gu Shang.* 2018;31(5):465-471. (In Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0034.2018.05.013>.
38. Tan T.L., Le Duff M.J., Ebramzadeh E., Bhauria S.K., Amstutz H.C. Long-Term Outcomes of Liner Cementation into a Stable Retained Shell: A Concise Follow-up of a Previous Report. *J Bone Joint Surg Am.* 2015; 97(11):920-924. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.01045>.

39. Hall A., Eilers M., Hansen R., Robinson B.S., Maloney W.J., Paprosky W.G. et al. Advances in acetabular reconstruction in revision total hip arthroplasty: maximizing function and outcomes after treatment of periacetabular osteolysis around the well-fixed shell. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(18):1709-1718. <https://doi.org/10.2106/JBJS.9518ICL>.
40. Mall N.A., Nunley R.M., Smith K.E., Maloney W.J., Clohisy J.C., Barrack R.L. The fate of grafting acetabular defects during revision total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(12):3286-3294. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1529-6>.
41. Restrepo C., Ghanem E., Houssock C., Austin M., Parvizi J., Hozack W.J. Isolated polyethylene exchange versus acetabular revision for polyethylene wear. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(1):194-198. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0332-1>.
42. Narkbunnam R., Amanatullah D.F., Electricwala A.J., Huddleston J.I. 3rd, Maloney W.J., Goodman S.B. Outcome of 4 Surgical Treatments for Wear and Osteolysis of Cementless Acetabular Components. *J Arthroplasty.* 2017;32(9):2799-2805. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.04.028>.
43. Haidukewych G.J. Osteolysis in the well-fixed socket: cup retention or revision? *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(11 Suppl A):65-69. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.94B11.30616>.
44. Ding Y., Feng D., Liu Y., Gao J., Wang L., Li Y. et al. The prevalence and risk factors of dislocation after primary total hip arthroplasty. *Acta Orthop Belg.* 2022;88(3):467-474. <https://doi.org/10.52628/88.3.9760>.
45. Tezuka T., Heckmann N.D., Bodner R.J., Dorr L.D. Functional Safe Zone Is Superior to the Lewinnek Safe Zone for Total Hip Arthroplasty: Why the Lewinnek Safe Zone Is Not Always Predictive of Stability. *J Arthroplasty.* 2019;34(1):3-8. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.10.034>.
46. Lie S.A., Hallan G., Furnes O., Havelin L.I., Engesaeter L.B. Isolated acetabular liner exchange compared with complete acetabular component revision in revision of primary uncemented acetabular components: a study of 1649 revisions from the Norwegian Arthroplasty Register. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(5):591-594. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.89B5.18623>.
47. Vadei L., Kieser D.C., Frampton C., Hooper G. Survivorship of Total Hip Joint Replacements Following Isolated Liner Exchange for Wear. *J Arthroplasty.* 2017;32(11):3484-3487. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.05.055>.
48. Petis S.M., Kubista B., Hartzler R.U., Abdel M.P., Berry D.J. Polyethylene Liner and Femoral Head Exchange in Total Hip Arthroplasty: Factors Associated with Long-Term Success and Failure. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(5):421-428. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.00522>.
49. Blom A.W., Astle L., Loveridge J., Learmonth I.D. Revision of an acetabular liner has a high risk of dislocation. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(12):1636-1638. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B12.16349>.
50. Stamenkov R., Neale S.D., Kane T., Findlay D.M., Taylor D.J., Howie D.W. Cemented liner exchange with bone grafting halts the progression of periacetabular osteolysis. *J Arthroplasty.* 2014;29(4):822-826. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.08.014>.
51. Park M.S., Yoon S.J., Lee J.R. Outcomes of polyethylene liner cementation into a fixed metal acetabular shell with minimum follow-up of 7 years. *Hip Int.* 2015;25(1):61-66. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000191>.
52. Lim S.J., Lee K.H., Park S.H., Park Y.S. Medium-term results of cementation of a highly cross-linked polyethylene liner into a well-fixed acetabular shell in revision hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014;29(3):634-637. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.07.042>.
53. Rivkin G., Kandel L., Qutteineh B., Liebergall M., Mattan Y. Long Term Results of Liner Polyethylene Cementation Technique in Revision for Peri-acetabular Osteolysis. *J Arthroplasty.* 2015;30(6):1041-1043. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.01.041>.
54. Talmo C.T., Kwon Y.M., Freiberg A.A., Rubash H.E., Malchau H. Management of polyethylene wear associated with a well-fixed modular cementless shell during revision total hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2011;26(4):576-581. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.05.028>.
55. Chen W., Klemm C., Padmanabha A., Tirumala V., Xiong L., Kwon Y.M. Outcome and Risk Factors Associated with Failures of Isolated Bearing Exchange for Osteolysis in Well-Fixed Cementless Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2021;36(1):255-260. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.06.026>.
56. Poursalehian M., Zafarmandi S., Razzaghof M., Mortazavi S.M.J. The impact of retaining the femoral stem in revision total hip arthroplasty: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144(2):947-966. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05087-3>.
57. Li H., Zhuang T., Wu W., Gan W., Wu C., Peng S. et al. Survivorship of the retained femoral component after revision total hip arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Front Surg.* 2022;9:988915. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.988915>.
58. Sutter E.G., Akram F., Miller A., Paprosky W.G., Berger R.A., Gerlinger T.L. Outcomes of Isolated Head and Liner Exchange Using Large Femoral Heads and Modern Liners in Revision Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2020;35(4):1064-1068. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.11.015>.
59. Bedard N.A., Tetreault M.W., Hanssen A.D., Lewallen D.G., Trousdale R.T., Berry D.J. et al. Intermediate to Long-Term Follow-up of Cementing Liners into Well-Fixed Acetabular Components. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(16):1397-1404. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.01441>.
60. Archibeck M.J., Junick D.W., Cummins T., Carothers J., White R.E. Jr. Polyethylene exchange in a second-generation cementless acetabular component. *J Arthroplasty.* 2009;24(6 Suppl):69-72. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2009.05.004>.
61. Hamilton W.G., Hopper R.H. Jr., Engh C.A. Jr., Engh C.A. Survivorship of polyethylene liner exchanges performed for the treatment of wear and osteolysis among porous-coated cups. *J Arthroplasty.* 2010;25(6 Suppl):75-80. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.04.004>.
62. Ricotti R.G., Alexander-Malahias M., Ma Q.L., Jang S.J., Loucas R., Gkiatas I. et al. Isolated Liner Exchange and Bone Grafting for the Management of Periacetabular Osteolysis in Well-Fixed Cups with an Intact Locking Mechanism at Short-Term to Medium-Term Follow-Up: A Systematic Review. *HSS J.* 2024;20(4):567-576. <https://doi.org/10.1177/15563316231189736>.
63. Walmsley D.W., Waddell J.P., Schemitsch E.H. Isolated Head and Liner Exchange in Revision Hip Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25(4):288-296. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-15-00144>.

64. Hofmann A.A., Prince E.J., Drake F.T., Hunt K.J. Cementation of a polyethylene liner into a metal acetabular shell: a biomechanical study. *J Arthroplasty*. 2009;24(5): 775-782. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2008.05.027>.
65. Haft G.F., Heiner A.D., Dorr L.D., Brown T.D., Callaghan J.J. A biomechanical analysis of polyethylene liner cementation into a fixed metal acetabular shell. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(6):1100-1110. <https://doi.org/10.2106/00004623-200306000-00019>.
66. Egawa H., Ho H., Huynh C., Hopper R.H. Jr., Engh C.A. Jr., Engh C.A. A three-dimensional method for evaluating changes in acetabular osteolytic lesions in response to treatment. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(2):480-490. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1050-0>.
67. Engh C.A. Jr., Egawa H., Beykirch S.E., Hopper R.H. Jr., Engh C.A. The quality of osteolysis grafting with cementless acetabular component retention. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;465:150-154. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e3181576097>.

Сведения об авторах

✉ Специальный Денис Владимирович

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0000-0002-7597-2918>

e-mail: dr.specialnyyy@gmail.com

Стафеев Дмитрий Викторович — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0009-0001-4332-2574>

e-mail: stafeevd@gmail.com

Лях Алексей Романович

<https://orcid.org/0009-0002-0569-3945>

e-mail: Arliahk@rniito.ru

Иев Никита Владимирович

<https://orcid.org/0009-0007-0910-3451>

e-mail: ievnikos@mail.ru

Денисов Алексей Олегович — д-р мед. наук

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

e-mail: med-03@ya.ru

Тихилов Рашид Муртузалиевич — д-р мед. наук,
профессор, чл.-кор. РАН

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

e-mail: rtikhilov@gmail.com

Authors' information

✉ Denis V. Spetsialnyi

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

<https://orcid.org/0000-0002-7597-2918>

e-mail: dr.specialnyyy@gmail.com

Dmitry V. Stafeev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0001-4332-2574>

e-mail: stafeevd@gmail.com

Aleksey R. Lyakh

<https://orcid.org/0009-0002-0569-3945>

e-mail: Arliahk@rniito.ru

Nikita V. Iev

<https://orcid.org/0009-0007-0910-3451>

e-mail: ievnikos@mail.ru

Alexey O. Denisov — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: med-03@ya.ru

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Corresponding Member of the RAS

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

e-mail: rtikhilov@gmail.com