

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

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 – Э33020
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 (РНМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия)
Соломин Л.Н. — д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Томсен М. — д-р медицины, профессор (Клиника Миттельбаден, Баден-Баден, Германия)
Хоминец В.В. — д-р мед. наук, профессор (ВМедА им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия)
Хубэ Р. — д-р медицины, профессор (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.



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.) (Tsvyann 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.



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, фосфомицин5
- 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 аутотрансплантатов50
- 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
- Щудло 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

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, Fosfomycin	5
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	20
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	35
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	50
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 <i>Hallux Valgus</i> 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., Tamojev S.K., Bobrov D.S., Kuznetsov V.V., Rybinskaya A.L., Zagorodniy N.V. Classification of Midfoot Deformities in Charcot Neuroarthropathy	70

Silantjev V.N., Dzuba G.G., Katina M.M. Results of the Use of Modified Bipolar Radiofrequency Ablation in Patients with Proximal Plantar Fasciopathy	84
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	96
Bondì L., Ottonello C., Giuliani P., Bondì R., Giuliani L. Psychological Implications in Percutaneous <i>Hallux Valgus</i> Surgery	105
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.....	111
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 Review	139

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 после эндопротезирования крупных суставов — 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, оксазолидоны, 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 оксазолидонов 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).

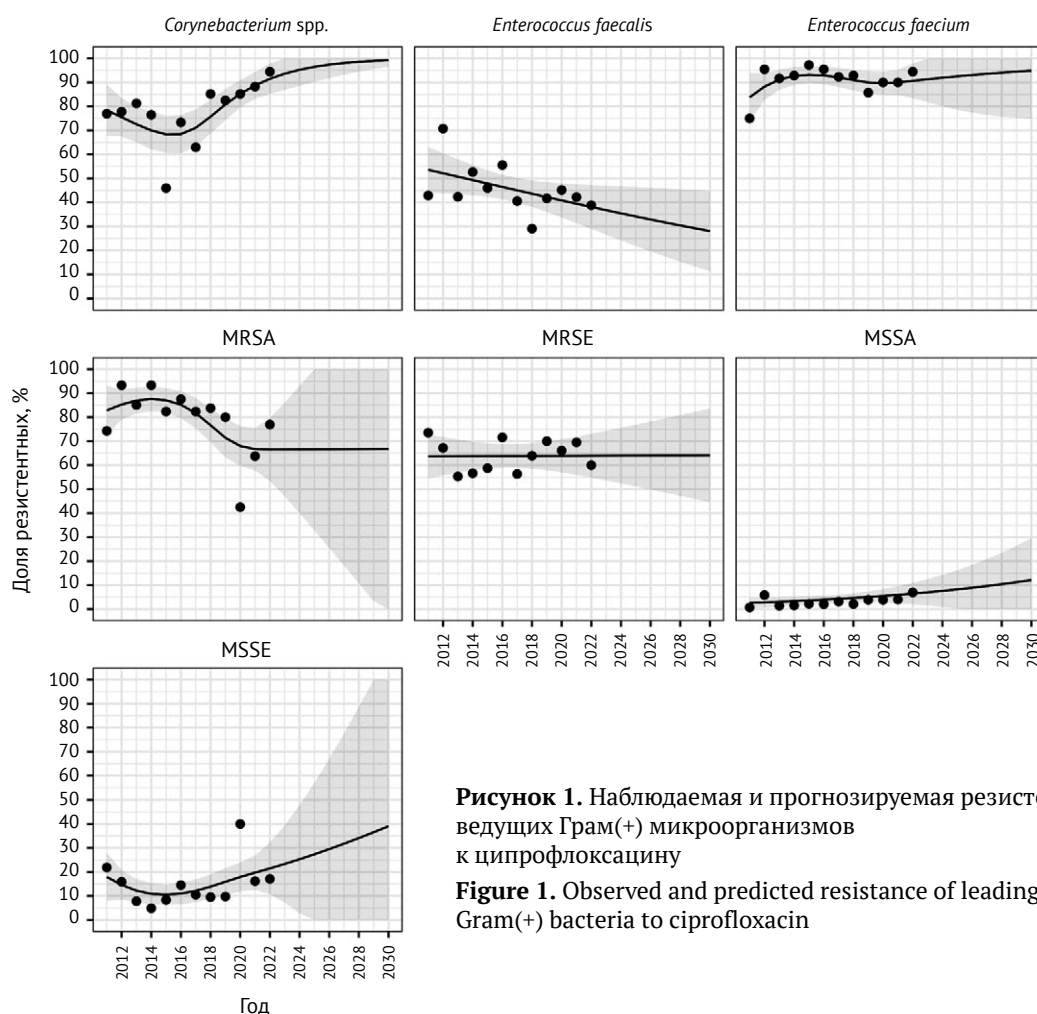


Рисунок 1. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к ципрофлоксацину

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

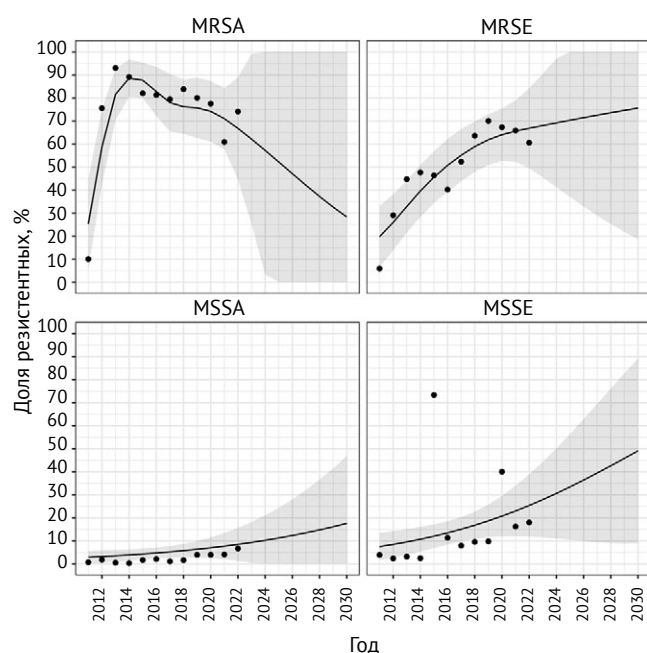


Рисунок 2. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к моксифлоксацину

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 три-метоприма (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

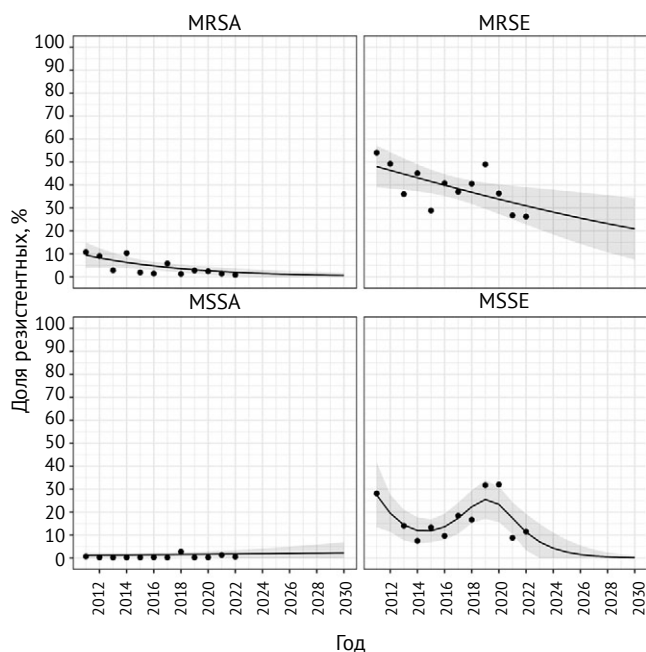


Рисунок 3. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к ко-тримоксазолу

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

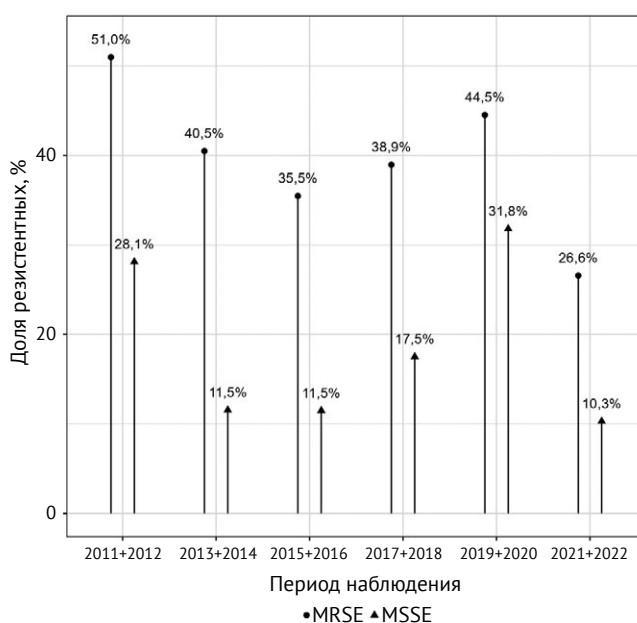


Рисунок 4. Доля резистентных к ко-тримоксазолу штаммов MSSE и MRSE

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.

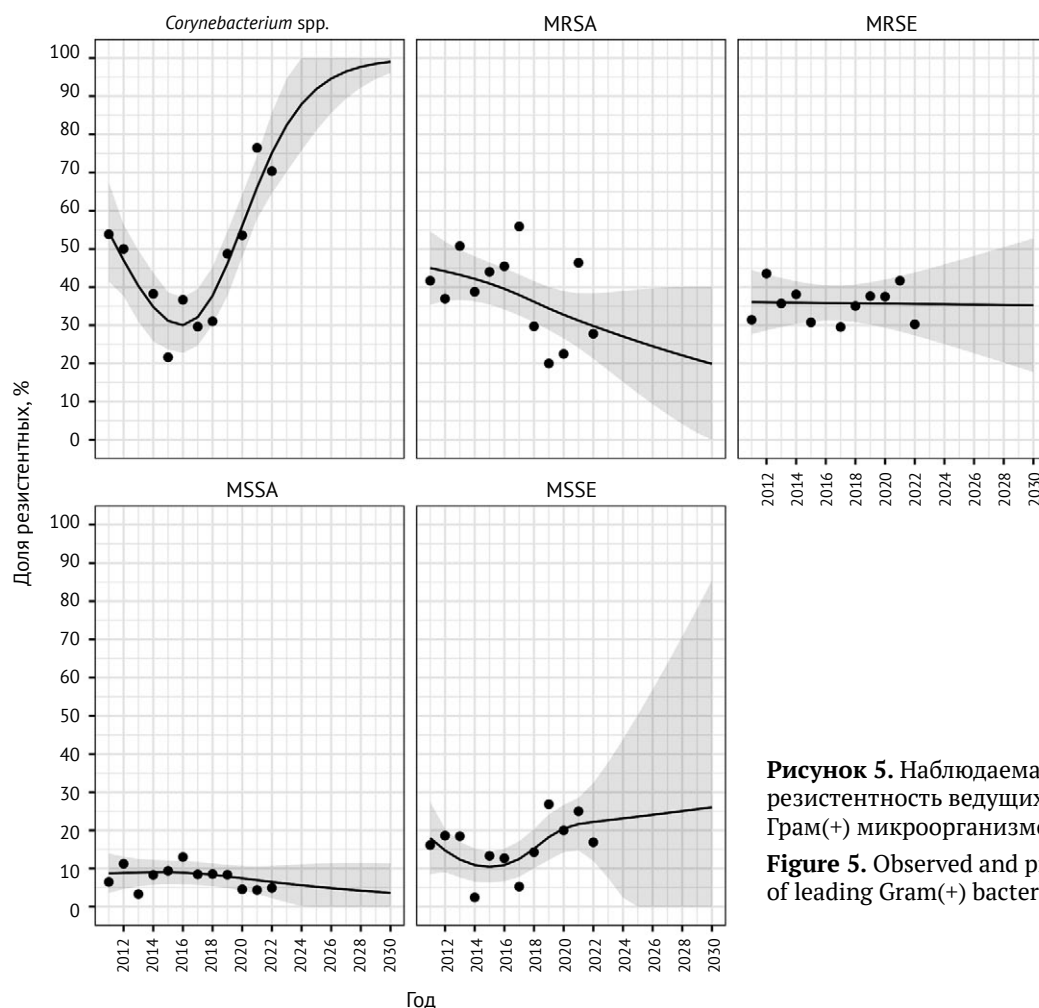


Рисунок 5. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к тетрациклину
Figure 5. Observed and predicted resistance of leading Gram(+) bacteria to tetracycline

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].

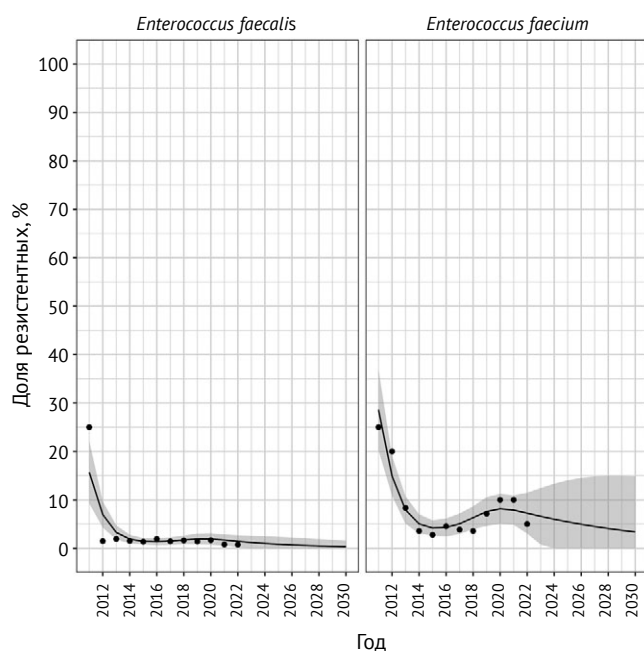


Рисунок 6. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к тигециклину

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).

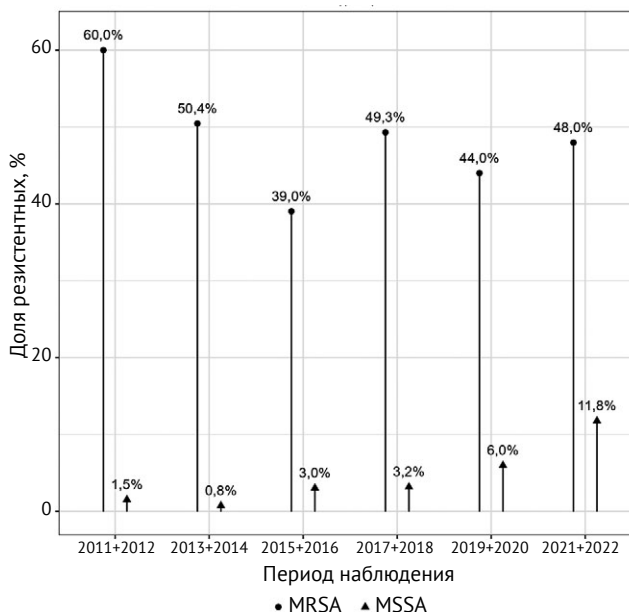


Рисунок 7. Доля резистентных к клиндамицину штаммов MSSA и MRSA

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].

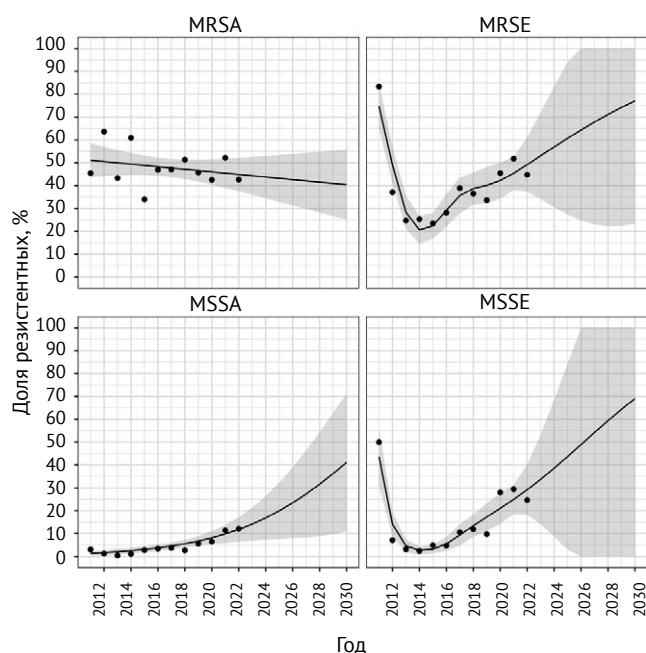


Рисунок 8. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к клиндамицину

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.

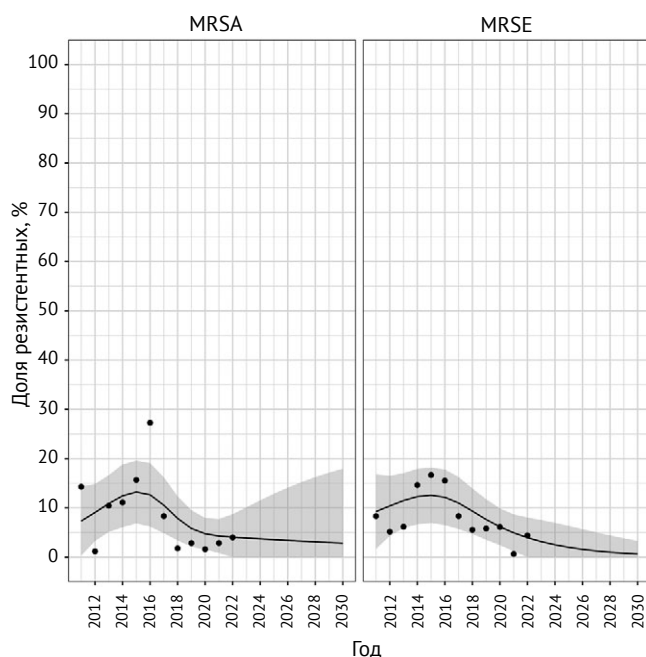


Рисунок 9. Наблюдаемая и прогнозируемая резистентность ведущих Грам(+) микроорганизмов к фосфомицину

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>.
Kasimova A.R., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetzky 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>.
5. 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>.
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>.
6. 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>.
7. 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.
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).
8. Bernard 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>.
9. 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>.
10. Perdigão 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>.
11. Касимова А.Р., Божкова С.А., Туфанова О.С., Гордина Е.М., Гвоздецкий А.Н., Рукина А.Н. и др. Выбор антибиотиков для лечения ортопедической инфекции, вызванной грамположительными возбудителями, по результатам 12-летнего наблюдения. Часть 1: пенициллины, цефалоспорины, гликопептиды, оксазолидиноны, фузидиевая кислота, рифампицин. *Травматология и ортопедия России.* 2025;31(2):5-17. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17680>.
Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tufanova O.S., Gordina E.M., Gvozdetzky 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>.

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., Rebollo-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

Научная статья

УДК [616.718.16-007.24+616.728.2]-089.844

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17701>

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

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 Tsvyanyan 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

ВВЕДЕНИЕ

Возмещение костного дефицита остается ключевым условием качественной реконструкции тазобедренного сустава (ТБС) при ревизионном эндопротезировании наравне с восстановлением центра ротации и обеспечением стабильной фиксации компонентов [1, 2]. За последние десятилетия в реконструктивной хирургии ТБС наметилась тенденция к использованию модульных ревизионных систем из различных пористых материалов с выраженными osteoconductive свойствами [3, 4].

Однако интерес к использованию различных костно-пластических материалов (КПМ) по-прежнему очень высокий. Использование массивных структурных аллотрансплантатов ограничено из-за риска резорбции и снижения долгосрочной стабильности, поскольку перестройка кости происходит лишь частично в реваскуляризированной краевой зоне [5]. Альтернативным способом возмещения костного дефицита в настоящее время остается импакционная костная пластика (ИКП) измельченной аллокостью. Многочисленные исследования показывают удовлетворительные результаты применения ИКП в комбинации с бесцементными высокопористыми вертлужными компонентами [6, 7], модульными ревизионными системами [8, 9, 10], кейджами [11], реконструктивными кольцами и индивидуальными конструкциями [12], при использовании которых опора конструкции происходит на нативную кость, а аллотрансплантат заполняет полость костного дефекта. Большая часть опыта использования технологии ИКП в эндопротезировании ТБС связана с применением вертлужного компонента (ВК) цементной фиксации [13, 14, 15, 16, 17].

Особенностью такой комбинации является возможность изменения с течением времени пространственного положения ВК, находящегося на основании из импактированной измельченной аллокости. Данная особенность является естественной закономерностью для этой технологии и, вероятно, связана с тем, что КПМ в результате циклических нагрузок подвержен дополнительному уплотнению и деформации [18]. Это принципиально отличает имплантацию ВК в нативную костную ткань вертлужной впадины, которая при циклических нагрузках не претерпевает значительных изменений. Несмотря на имеющиеся ограничения применения ИКП в виде риска резорбции импактированной костной ткани [19], меньшей первичной стабильности ВК цементной фиксации и его миграции [20, 21], привлекательной опцией по-прежнему остается возможность биологического замещения костных дефектов вертлужной впадины.

Цель исследования — оценить эффективность и уточнить показания для применения импакцион-

ной костной пластики дефектов вертлужной впадины при ревизионном и первично-сложном эндопротезировании тазобедренного сустава путем определения среднесрочных результатов выживаемости имплантированных вертлужных компонентов цементной фиксации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое ретроспективное наблюдательное исследование по оценке результатов применения импакционной костной пластики с использованием технологии X-Change со специализированным инструментарием (Stryker Howmedica, Ньюбери, Великобритания) при ревизионном и первичном сложном эндопротезировании ТБС у пациентов, прооперированных в период с сентября 2015 г. по февраль 2022 г. в ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Барнаул).

Критериями включения пациентов в исследование являлись:

- 1) ревизионное или первичное сложное эндопротезирование ТБС;
- 2) наличие ограниченных или комбинированных с сегментарным дефицитом дефектов вертлужной впадины, потребовавших реконструкции;
- 3) использование импакционной костной пластики в комбинации с цементируемым вертлужным компонентом.

Критерием исключения являлось применение альтернативных методик реконструкции дефектов вертлужной впадины с использованием бесцементных вертлужных компонентов с аугментами, реконструктивных кейджей, структурных аллотрансплантатов.

Исходно было отобрано 54 пациента, удовлетворяющих критериям включения. К моменту оценки среднесрочных результатов 6 пациентов не были доступны для контакта и проведения контрольного осмотра. Трое пациентов умерли за данный период от причин, не связанных с проведенным оперативным вмешательством, но доступные данные и рентгенограммы, сделанные в период наблюдения этих пациентов, были включены в исследование. Таким образом, данные 48 пациентов вошли в окончательный анализ выживаемости ВК цементной фиксации. Рентгенологические данные были проанализированы в 42 случаях (37 пациентов, которым выполнены ревизионные вмешательства, и 5 пациентов, перенесших первичное сложное эндопротезирование ТБС), анкеты для анализа клинических результатов заполнены у 44 пациентов.

Характеристика пациентов

В исследование было включено 23 (47,9%) женщины и 25 (52,1%) мужчин. Средний возраст на момент оперативного вмешательства составил 59,8 года

в диапазоне 35–78 лет; 21 пациент в возрасте до 60 лет, 27 — в возрасте 60 лет и более. Средний индекс массы тела (ИМТ) пациентов составлял $28,55 \pm 4,9$ кг/м² (диапазон 18,2–39,0). Двенадцать (25,0%) пациентов имели нормальный вес, 17 (35,4%) — избыточный вес, 14 (29,2%) — ожирение I ст., 5 (10,4%) — ожирение II ст. Средний период наблюдения составил 60 мес. (12–111).

Показания для применения ИКП определяли на основании предоперационного обследования при наличии ограниченного костного дефекта вертлужной впадины или комбинированного с сегментарным дефицитом с возможностью его аугментации различными металлоконструкциями и перевода в полностью ограниченный для удержания КПП.

Исходно в структуре выполненных оперативных вмешательств ревизионное эндопротезирование составило 47 случаев, из них в 30 случаях операция была выполнена по поводу асептического расшатывания, в двух случаях — по поводу остеолитизиса, в одном случае — по поводу массивного постэксплантационного дефекта вертлужной впадины после неудачной попытки реконструкции другими методами, в 13 случаях ИКП была выполнена на втором этапе лечения перипротезной инфекции (ППИ) и в одном случае — при одноэтапном лечении ППИ. В семи случаях костная пластика вертлужной впадины выполнена при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава: в одном случае — при массивной остеолитической кисте, в одном случае — при асептическом некрозе головки бедренной кости со вторичным дефектом вертлужной впадины, в одном случае — при двухэтапном лечении артрита на фоне перене-

сенного остеомиелита головки бедренной кости и в четырех случаях — при протрузионном коксартрозе. В 26 случаях ревизия тазового компонента сочеталась с заменой бедренного компонента, в 11 случаях ИКП была выполнена одновременно на тазовой и бедренной костях.

Техника хирургических вмешательств

Все операции выполнялись из переднебокового доступа тремя опытными хирургами с хирургическим стажем более 10 лет. В ходе оперативного вмешательства производилась оценка состояния вертлужной впадины, величины сегментарных дефектов при их наличии. В тех участках вертлужной впадины, где ограниченность дефекта нарушалась, устанавливалась металлическая реконструктивная сетка X-Change (Stryker Howmedica, Ньюбери, Великобритания) или индивидуальная 3D-сетка (Logeeks MS, Новосибирск, Россия), изготовленная методом селективного лазерного спекания титанового порошка, или аугмент из пористого тантала (Zimmer, Варшава, Индиана, США). Соотношение используемых конструкций для аугментации костного дефекта вертлужной впадины отражено в таблице 1. Костнопластический материал (чипсы размером около 10 мм³ из термически дезинфицированной аллокости из госпитального костного банка) изготавливался вручную с помощью кусачек Люера. Для имплантации использовались вертлужные компоненты цементной фиксации различных производителей размером от 40 до 58 мм. Активизацию пациентов производили на следующий день после выполненной операции с последующей дозированной нагрузкой на оперированную конечность в течение 6 нед.

Таблица 1

Способы аугментации различных костных дефектов при реконструкции вертлужной впадины

Способ аугментации	Количество случаев
Без конструкции	19
Реконструкция периферического дефекта сеткой Stryker	20
Реконструкция дефекта медиальной стенки сеткой Stryker	2
Реконструкция периферического и медиального дефекта сеткой Stryker	6
Реконструкция индивидуальной 3D-сеткой	3
Аугмент из пористого тантала	4

Методы оценки результатов

На момент проведения исследования пациентов приглашали на контрольный визит с рентгенограммами тазобедренного сустава в прямой и аксиальной проекциях, проводили клинический осмотр с оценкой функциональных результатов по модифицированной шкале Харриса (HHS) [22] и индексу остеоартрита Университетов Западного

Онтарио и МакМастера (индекс WOMAC) [23]. Пациенты, которые не смогли прибыть на очный осмотр, были опрошены по телефону, а их рентгенограммы были запрошены по почте с последующим анализом.

На основании предоперационных рентгенограмм, данных компьютерной томографии и интраоперационной картины дефекты вертлужной

впадины классифицировали по характеру ограниченности и степени тяжести согласно классификации AAOS (American Academy of Orthopaedic Surgeons) [24] и W. Paprosky [25] соответственно. Дефекты по классификации Paprosky в случаях ревизионного эндопротезирования распределились следующим образом: тип 3В встречался в 27 (57,4%) случаях, тип 2А — в 18 (38,3%), типы 2В и 2С — по одному (2,1%) случаю. Среди них неограниченные дефекты (I тип) встречались в двух (4,3%) случаях, в остальных наблюдениях это были ограниченные дефекты (II тип) — 11 (23,4%) случаев или комбинированные (III тип) с возможностью

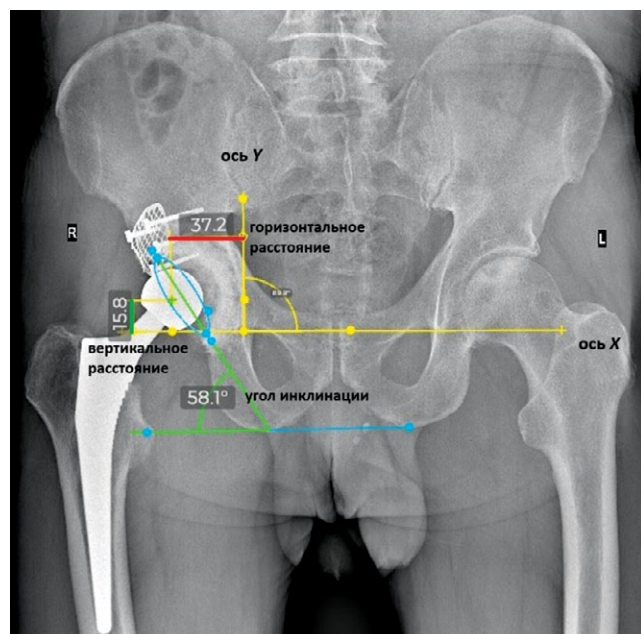
реконструкции и перевода их в полностью ограниченные — 34 (72,3%) случая. В случаях первичного сложного эндопротезирования встречались ограниченные дефекты (II тип) в 5 случаях, комбинированные (III тип) — в двух случаях (табл. 2).

При оценке выживаемости эндопротеза, в частности его вертлужного компонента, рентгенологические признаки расшатывания на момент завершения исследования в конечной точке или удаление вертлужного компонента в течение периода наблюдения после ревизионного вмешательства расценивались как неудовлетворительный результат.

Таблица 2

Соотношение костных дефектов согласно классификациям W. Paprosky и AAOS

W. Paprosky		AAOS	
Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
<i>Ревизионное эндопротезирование (n = 47)</i>			
Тип 2С	1	I тип	1
Тип 2В	1	III тип	1
Тип 2А	18	II тип	7
		III тип	11
Тип 3В	27	I тип	1
		II тип	4
		III тип	22
<i>Первичное сложное эндопротезирование (n = 7)</i>			
Нет		II тип	5
		III тип	2



Для оценки изменения положения центра ротации вертлужного компонента в динамике мы проводили линию через нижний край «фигуры слезы» обоих ТБС (ось X), вторую линию проводили перпендикулярно первой по наружному краю «фигуры слезы» оперированного сустава (ось Y) и измеряли горизонтальное и вертикальное расстояния до центра головки эндопротеза, восстанавливая перпендикуляр из центра головки на ось X и ось Y [26]. Мы также измеряли угол инклинации ВК относительно оси X и дополнительно его антеверсию (рис. 1).

Рисунок 1. Схема измерений миграции вертлужного компонента

Figure 1. Scheme of acetabular component displacement measurements

Величину смещения ВК определяли путем вычисления разницы между исходным положением центра ротации эндопротеза по осям X и Y и при завершении исследования. Аналогичным образом оценивали разницу в значениях инклинации и антеверсии. Калибровку рентгеновских изображений проводили в DICOM-файлах и выполняли измерения с помощью программного обеспечения BonaPlanner 2D с использованием функции «послеоперационный контроль».

Рентгенологическую оценку состояния костного аллотрансплантата производили с использованием критериев, описанных T.J. Sloof с соавторами [27]. Полная перестройка аллотрансплантата определялась как идентичная рентгенологическая плотность трансплантата и нативной кости с непрерывным трабекулярным рисунком по всей поверхности. Рентгенопрозрачные линии на границе кость-цемент регистрировались с использованием трех зон, описанных J.G. De Lee и J. Charnley [28]. Результат считался неудовлетворительным при наличии рентгенопрозрачных линий во всех трех зонах, разрушении сетки или миграции винтов, дислокации вертлужного компонента.

Статистический анализ

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таб-

лицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программы MedCalc. Совокупности количественных показателей описывались при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей [Q_1 – Q_3]. Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывался t-критерий Стьюдента с уровнем значимости $p < 0,05$. Для сравнения независимых совокупностей в случаях отсутствия признаков нормального распределения данных использовался U-критерий Манна–Уитни. Статистическая значимость различий количественных показателей, имеющих нормальное распределение, между группами оценивалась при помощи однофакторного дисперсионного анализа путем расчета критерия Фишера. Наличие или отсутствие связи между двумя категориальными переменными определяли с использованием кросс-таблицы и расчета критерия χ^2 Пирсона. Анализ выживаемости по Каплану–Майеру проводился с 95% доверительными интервалами (ДИ). Конечные точки были определены как асептическое расшатывание; наличие признаков асептического расшатывания и ревизия по любой причине (асептическое расшатывание, инфекция) — для общей выживаемости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За время наблюдения в 44 (91,7%) случаях ревизионных вмешательств не проводилось. В 4 (8,3%) случаях возникли осложнения, в 2 (4,2%) из которых потребовалось проведение оперативных вмешательств в связи с рецидивом инфекционного процесса; еще в 2 (4,2%) случаях были выявлены рентгенологические признаки асептического расшатывания, в связи с чем запланированы ревизионные вмешательства. Таким образом, общая выживаемость эндопротезов, в частности ВК, с асептическим расшатыванием или повторной операцией в качестве конечной точки составила 97,9% (95% ДИ: 97,86–97,94) за 60 мес.; 84,3% (95% ДИ: 84,15–84,43) за 90 мес. (рис. 2). Выживаемость с конечной точкой асептическое расшатывание составила 100% за 60 мес. и 90,9% (95% ДИ: 90,78–91,02) за 90 мес. (рис. 3).

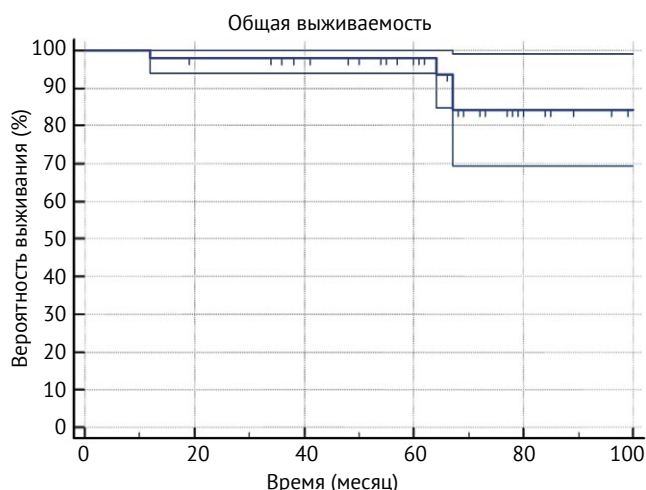


Рисунок 2. Кривая Каплана–Майера для общей выживаемости вертлужного компонента

Figure 2. Kaplan-Meier curve for overall cup survival

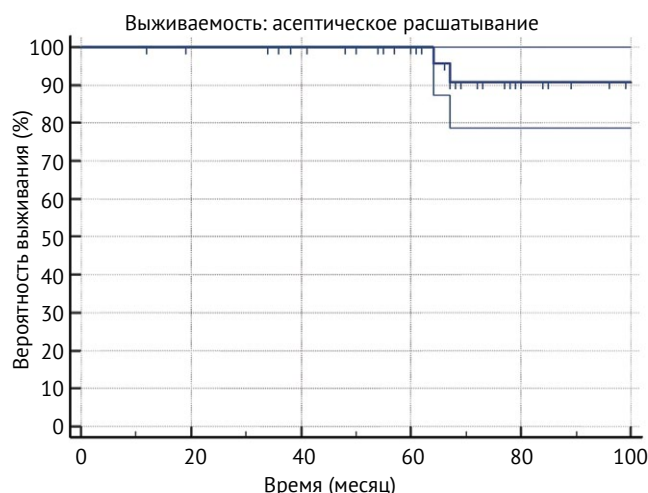


Рисунок 3. Кривая Каплана – Майера выживаемости вертлужного компонента при асептическом расшатывании в качестве конечной точки

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

Осложнения зафиксированы у 6 (11,11%) пациентов: в двух случаях отмечена интраоперационная перфорация стенки бедренного канала при удалении бедренного компонента эндопротеза; в одном случае развилась нейропатия седалищного нерва с последующим регрессом в течение 6 мес. на фоне консервативной терапии; в трех случаях произошел вывих бедренного компонента, в одном из которых в связи с рецидивами потребовались повторное оперативное вмешательство и установка системы двойной мобильности в ложе импактированной костной ткани после удаления вертлужного компонента с применением техники «цемент в цемент» еще до выписки пациента из стационара. Данный случай не вошел в неудовлетворительные результаты. Летальность в исследуемой группе пациентов не отмечена.

Анализ контрольных рентгенограмм проведен у 42 пациентов. Достоверные признаки расша-

тывания ВК эндопротеза были выявлены только у 4 (9,5%) пациентов: в двух (4,8%) случаях — дислокация чашки за пределы впадины; в одном (2,4%) случае — наличие рентгенопрозрачной линии на границе интерфейсов трансплантат-цемент в трех зонах; в одном (2,4%) случае — наличие рентгенопрозрачной линии в третьей зоне, которое было ассоциировано с высокой степенью миграции более 5 мм по одной из осей, с изменением антеверсии в пределах 10° в сочетании с низким показателем по шкале NNS — 37 балла. Рентгенопрозрачные линии выявлены в 7 (16,7 %) случаях: у 6 пациентов они определялись в одной из зон, преимущественно в третьей, и только в одном случае рентгено-прозрачная линия выявлена в двух зонах — во второй и третьей.

При оценке положения центра ротации, инклинации и антеверсии ВК на рентгенограммах в среднесрочной перспективе в 22 (52,4%) случаях выявлены одновременное изменение инклинации и краниальное смещение центра ротации. Изменение величины инклинации ВК в сторону увеличения отмечено в 24 (57,1%) случаях, т.е. инклинация ВК изменялась практически во всех случаях, когда присутствовало краниальное смещение центра ротации. Выявлена прямая корреляция между смещением центра ротации более 5 мм в любом направлении и увеличением инклинации более чем на 10° в 91,7% случаев ($p < 0,0001$). Анализ показал, что существенное (более 5 мм) смещение центра ротации происходило, как правило, в краниальном направлении: 8 (19,0%) случаев по оси Y и 3 (7,1%) случая по оси X. Виды миграции ВК в соотношении с классификацией костного дефекта и способом реконструкции представлены в таблице 3.

В группе пациентов без использования каких-либо ограничивающих имплантатов (13 случаев) смещение центра ротации составило 30,8%, миграция происходила в пределах 5 мм (рис. 4).

Таблица 3

Основные показатели миграции вертлужного компонента

№ пациента	Δ инклинации, град.			Смещение центра ротации, мм						Paprosky	AOOS	Способ реконструкции
				По оси X			По оси Y					
	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

Окончание таблицы 3

№ пациента	Δ инклинации, град.			Смещение центра ротации, мм						Paprosky	AOOS	Способ реконструкции
				По оси X			По оси Y					
	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
Всего	18	16	8	20	16	6	20	10	12			

* — пациенты с неудовлетворительным результатом, C — сетка на край вертлужной впадины, C2 — сетка на край и медиальную стенку вертлужной впадины, CM — сетка на медиальную стенку вертлужной впадины, 3D — индивидуально изготовленная 3D-сетка на край вертлужной впадины, A — аугмент, 0 — конструкции не использовались.

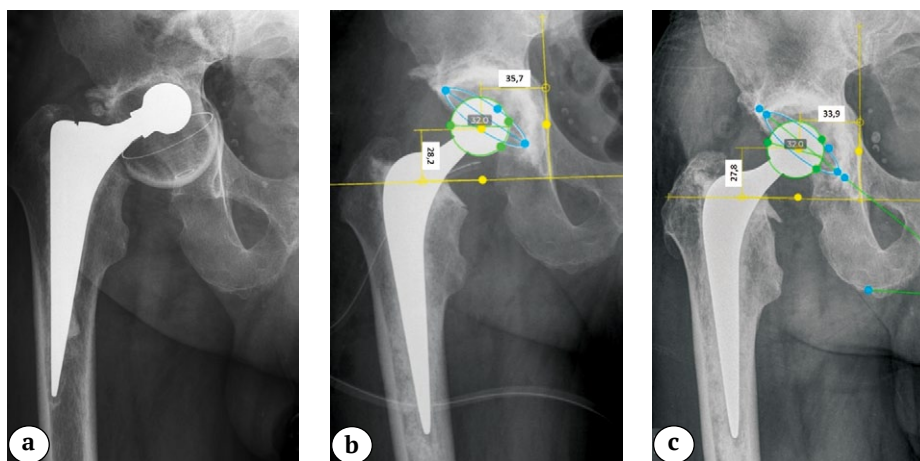


Рисунок 4. Клинический пример ИКП без использования ограничивающих конструкций:

а — асептическое расшатывание вертлужного компонента с формированием ограниченного дефекта II типа по AAOS, 2A степени по Paprosky, мальпозиция бедренного компонента; б — рентгенограмма правого тазобедренного сустава после ИКП дефектов тазовой и бедренной костей с использованием эндопротеза Stryker Exeter/Contemporary цементной фиксации; в — контрольный снимок через 68 мес. с отчетливыми признаками перестройки аллотрансплантата без миграции компонентов

Figure 4. Clinical example of IBG without augmentation:

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

Применение любого типа сетки для ограничения костного дефекта вертлужной впадины в 68,0% случаях было ассоциировано с изменением положения вертлужного компонента, т.е. смещением центра ротации или увеличением инклинации, или присутствовали оба вида смещения, из них в 44,0% случаев смещение центра ротации было существенным — более 5 мм по любой из осей. В то же время при использовании аугментов несущественное изменение положения ВК (смещение в пределах до 5 мм и менее 10° инклинации) произошло лишь в двух случаях из четырех.

Была получена прямая корреляция наличия миграции ВК в зависимости от типа, тяжести костного дефекта и использования ограничивающей дефект конструкции. Отмечено увеличение частоты миграции на любое расстояние при дефектах III типа по AAOS и 3B степени по Paprosky с использованием любого типа сетки на риме вертлужной впадины ($p = 0,006$).

Среднее изменение антеверсии в среднесрочном периоде по сравнению с послеоперационным значением составило $2,8^\circ$ [0,5; 4,5]. Однако учет данного параметра не проводили в связи с его проекционной вариабельностью в зависимости от пространственного положения таза при проведении рентгенологического исследования.

Нами не выявлено взаимосвязи смещения центра ротации ВК с диаметром использованной чашки ($p = 0,3457$), ИМТ ($p = 0,5726$) или возрастом ($p = 0,3457$). Корреляции между этими параметрами не определено.

При функциональной оценке результатов (по шкале HHS) в нашем наблюдении исходная оценка показала 44,0 [37,0; 55,0] балла, при последнем контрольном осмотре — 85,5 [70,5; 95,0]. Согласно опроснику WOMAC исходные показатели составили 47,0 [45,0; 52,0] балла, в финале исследования — 6,5 [2,0; 21,0] балла, что соответствует хорошему и отличному результатам.

ОБСУЖДЕНИЕ

Вопрос выбора хирургической техники в зависимости от размера и формы костного дефекта в ревизионной артропластике по-прежнему актуален [1]. Современные модульные ревизионные системы и аддитивные технологии закрывают большинство вопросов, связанных с реконструкцией вертлужной впадины. Тем не менее в отдельных ситуациях ИКП нередко является методом выбора [29]. Как и все методы реконструкции массивных дефектов в ревизионном эндопротезировании, ИКП связана с менее благоприятными долгосрочными результатами по сравнению с первичным эндопротезированием. Однако повторные ревизии после применения ИКП могут быть более успешными, поскольку во многих случаях остается больший костный запас, чем перед предыдущей ревизионной операцией, что особенно важно для пациентов, перенесших неоднократные ревизии, или молодых пациентов с перспективой неизбежных повторных операций в более старшем возрасте [30, 31, 32].

В нашем исследовании среднесрочные результаты показали достаточно высокую надежность импакционной костной пластики при реконструкции массивных дефектов. Общая выживаемость составила 97,9% на сроке 60 мес. и 84,3% — за 90 мес. Полученные результаты сопоставимы с данными других авторов, использовавших подобную тактику. М.А. Buttarо с соавторами сообщили о 90,8% выживаемости в своем исследовании при использовании ИКП, металлической сетки и цементной фиксации чашки у пациентов с неограниченными дефектами вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании ТБС со средним сроком наблюдения 36 мес. [33]. В.В. Schreurs с соавторами сообщили о 96% и 84% выживаемости чашки через 10 и 15 лет наблюдения соответственно у пациентов, перенесших ревизию вертлужной впадины с ИКП и компонентами цементной фиксации [34]. S. Rohe с соавторами при оценке среднесрочных результатов применения ИКП у 56 пациентов также показали высокую выживаемость в 88% через 7,8 года [12]. Однако в последнем исследовании авторы использовали ИКП в комбинации с различными конструкциями бесцементной фиксации.

Термин «импакционная костная пластика» имеет широкое значение в травматологии и ортопедии и, как правило, подразумевает любое уплотнение измельченного аллотрансплантата с возможностью комбинации с любыми имплантатами или без них [35]. Необходимо подчеркнуть, что в данном исследовании рассматриваются лишь случаи с применением технологии X-Change, когда цементная фиксация вертлужного компонента происходила непосредственно на уплотненную аллокость, которая, с позиции физики, ведет себя как грунт, со всеми характерными изменениями его свойств под влиянием циклических нагрузок [18]. Особенностью ИКП является то, что опора на трансплантат происходит через цементную мантию, где костному цементу также отводится более широкая роль дополнительного стабилизатора костно-пластического материала [36]. Успешность выполненной ИКП посредством X-Change технологии, как правило, сводится к балансу многочисленных факторов, включая такие, как качество аллокости, размер костных чипсов, хирургическая техника, применяемая для достижения импакции [37].

Анализ среднесрочных результатов в нашем исследовании во многом основан на описанных ранее биомеханических аспектах технологии ИКП, согласно которым пространственное изменение положения ВК цементной фиксации вместе с цементной мантией практически неизбежно и связано с процессами уплотнения КПМ в послеоперационном периоде под влиянием циклических нагрузок в результате ежедневной физиологической активности пациента [18, 38].

При выполнении измерений и интерпретации полученных данных в нашем исследовании мы столкнулись с определенными методологическими ограничениями. Описанный способ измерения смещения центра ротации имеет погрешность 3 мм [26]. По мнению С. Yang с соавторами, миграция до 2 мм уже может быть отнесена к развитию расшатывания [39]. С учетом этих данных результаты измерений смещения центра ротации были разделены на группы с интервалом в 5 мм.

Оценка положения центра ротации и изменения инклинации показала, что миграция ВК происходила в 24 (57,1%) случаях. Мы не получили статистически значимой взаимосвязи величины дефекта и степени миграции ВК. Однако отмечена закономерность, что наиболее часто (68%) миграция вертлужного компонента происходила в группе пациентов с использованием различных сеток для ограничения частичного сегментарного дефицита по риму вертлужной впадины, при этом в половине случаев миграция ВК была более 5 мм. В эту группу попали пациенты с ревизионным эндопротезированием с дефектами III типа по AAOS, характеризующиеся 3В степенью тяжести по Paprosky. Нужно отметить, что четыре пациента с неудачным исходом также относятся к данной группе. В тех случаях, когда не выполнялось никакой дополнительной реконструкции края вертлужной впадины, частота миграции составила чуть меньше трети случаев на минимальное расстояние не более 5 мм. Явления миграции ВК при использовании ИКП описывается большинством авторов как в ранних работах [40, 41], так и в современных исследованиях [18, 21, 39]. Совершенно очевидно, что в случае незначительных дефектов, при возможности частичной опоры на нативную кость, биомеханические условия более благоприятные в отличие от тех дефектов, где нагрузка полностью приходится на импактированный костный аллотрансплантат (при дефектах типа 3В по Paprosky с частичным сегментарным дефицитом).

Е. García-Rey с соавторами выявили различия в долгосрочных результатах в зависимости от типа дефекта и использования сетки на риме вертлужной впадины [19]. Уровень выживаемости через 15 лет составил $89,1 \pm 14,0\%$, когда сетка не требовалась; $84,9 \pm 12,0\%$, когда требовалась сетка только на медиальный дефект; $79,6 \pm 12,0\%$ — с сеткой на край вертлужной впадины и $53,9 \pm 22,0\%$ в случаях, когда требовались обе сетки (логранговый критерий, $p = 0,008$).

Вероятно, миграция во многом зависит от баланса биологических процессов перестройки трансплантата, его пластической деформации или уплотнения за счет межфрагментарного движения измельченного аллотрансплантата под влиянием циклических нагрузок, т.е. того, что наступит рань-

ше. М.У. Abu-Zeid с соавторами показали, что согласно классификациям Paprosky и AAOS, чем меньше размер был дефект вертлужной впадины, тем больше была вероятность достижения полной инкорпорации трансплантата ($p < 0,001$). Средняя толщина слоя трансплантата у пациентов с частичной инкорпорацией была выше, чем у пациентов с полной инкорпорацией: $15,5 \pm 3,8$ и $10,0 \pm 2,2$ мм соответственно ($p < 0,001$) [35].

При оценке миграции вертлужного компонента большинство авторов акцентирует внимание на изменении положения центра ротации эндопротеза. В нашем исследовании была выявлена также закономерность увеличения инклинации практически во всех случаях применения реконструктивной сетки ($p < 0,0001$). В отдельных случаях увеличение инклинации было единственным признаком миграции вертлужного компонента, в связи с чем данный параметр также можно рассматривать как самостоятельный критерий риска прогрессирования миграции вертлужного компонента. Биомеханику данных явлений описали А.Т. Phillips с соавторами [42].

Рентгенопрозрачные линии в нашем исследовании выявили в 7 (16,7%) случаях. В 6 случаях они были локализованы в пределах одной зоны. При этом показатели по шкале NHS в данной группе составили более 74 баллов, и мы не расценивали рентгенологические данные в этой категории как неудовлетворительный результат при расчете выживаемости. М.Д. Willson с соавторами также описывали наличие рентгенопрозрачных линий на границе протез-кость в клинически здоровом суставе [43]. Как было показано ранее, классические признаки асептического расшатывания на фоне непрерывного уплотнения КПМ под влиянием циклических нагрузок не всегда могут быть идентифицированы [18]. Поэтому миграция ВК, зафиксированная в нашей работе в 24 (57,1%) случаях, не всегда имела рентгенологические маркеры асептического расшатывания, а их наличие не всегда соответствовало клинической картине. Зачастую признаки расшатывания становились очевидными лишь в случае миграции ВК за пределы анатомической вертлужной впадины (3 случая) или разрушения конструкции и миграции винтов (1 случай). Кроме того, интерпретация рентгенологической картины зачастую была затруднена из-за наличия дополнительных теней от конструкций, наслаивающихся на КПМ или саму впадину эндопротеза. Поэтому в оценке результатов при использовании ИКП важным аспектом остается интерпретация рентгенологических показателей в совокупности с клиническими данными. В нашем исследовании функциональные результаты по шкале NHS определены как хорошие и отличные по опроснику WOMAC, медиана составила 85,5

(95% ДИ: 70,5–95,0) и 6,5 (95% ДИ: 2,0–21,0) баллов соответственно, что сопоставимо с результатами других авторов последних лет [16, 17, 35].

Особенностью данной работы явилось то, что 21 (50%) пациент из оставшихся доступными для контроля имели самые тяжелые для реконструкции дефекты 3В по Paprosky, ограниченная форма которых создавала наиболее оптимальные условия для удержания костнопластического материала. Это послужило фактором отбора пациентов при определении показаний для ИКП еще на дооперационном этапе. Сохранившийся контур компактной кости области вертлужной впадины создавал оптимальные условия для удержания КПМ. Как показали наши данные и данные систематического обзора М.А. Malahias с соавторами [44], при использовании различных сеток для аугментации при сегментарном дефиците миграция ВК была более частой или выраженной при массивных дефектах, что наводит на мысль об использовании альтернативных технологий, если для ограничения дефекта требуются массивные сетки или несколько конструкций.

Р. Cimatti с соавторами в своем метаанализе показали, что выживаемость различных типов имплантатов при использовании ИКП достаточно высока при среднем наблюдении в 9,2 года. Впадины цементной фиксации, бесцементные чашки и антипротрузионные устройства показали выживаемость в 98,45%, 97,91% и 97,51% соответственно [45]. Таким образом, на современном этапе с учетом наличия различных ревизионных систем и подходов к реконструкции костных дефектов можно выделить более узкие показания для ИКП. По нашему мнению, оптимальным применением ИКП в сочетании с ВК цементной фиксации будет при строго ограниченных дефектах типов 2А, 3В по Paprosky и типа II по AAOS с сохраненным римом и внешним контуром компактного костного вещества в области вертлужной впадины, не требующих реконструкции с применением сетки. Именно в таких случаях, на наш взгляд, установка металлических аугментов требует значительной обработки кости для имплантации и усугубления костного дефицита, а ИКП в данном случае будет оптимальным методом.

Ограничения исследования

Ограничением данного исследования является относительно небольшое количество случаев, оказавшихся доступными для окончательной оценки, а также отсутствие контрольной группы. Сравнение остается сложным из-за различной степени дефектов и используемых имплантатов для аугментации. Определенным ограничением также является включение в группу пациентов с первичным сложным эндопротезированием по признаку применения ИКП по технологии X-Change.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импакционная костная пластика является методом выбора для замещения ограниченных костных дефектов при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава, который имеет некоторые особенности интерпретации рентгенограмм в послеоперационном периоде. Определяемые в последующем миграция вертлужного компонента, смещение центра ротации более 5 мм по любой оси X/Y и увеличение его инклинации в пределах 10° соответствуют условной норме и обусловлены естественными биомеханическими процессами, происходящими в измельченной импактированной кости. Закономерность этих процессов подтверждается хорошими и отличными клини-

ческими результатами в конечной точке исследования: NHS — 85,5 [70,5; 95,0] балла, WOMAC — 6,5 [2,0; 21,0] балла. Выявленная сильная прямая корреляция ($p = 0,006$) миграции вертлужного компонента при дефектах III типа AAOS 3B степени по Paprosky с использованием любого типа сетки на риме вертлужной впадины не соответствует развитию асептического расшатывания вертлужного компонента. Это положение подтверждается тем, что среднесрочная общая выживаемость эндопротезов по Каплану – Майеру при ревизионном и первичном сложном эндопротезировании тазобедренного сустава при использовании импакционной костной пластики составила 97,9% за 60 мес. и 84,3% за 90 мес.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Гольник В.Н. — участие в лечении пациентов, интерпретация данных исследования, написание и редактирование текста рукописи.

Иванюк А.М. — участие в лечении пациентов, интерпретация данных исследования.

Джухаев Д.А. — участие в лечении пациентов, интерпретация данных исследования.

Золовкина А.Г. — статистическая обработка данных, редактирование рукописи.

Коренья Н.А. — сбор и обработка данных, редактирование рукописи.

Батрак Ю.М. — обработка и анализ данных, написание текста рукописи.

Пелеганчук В.А. — научное руководство, редактирование текста рукописи.

Павлов В.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить 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

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.

Korennyak 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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Денисов А.О. Классификации дефектов вертлужной впадины: дают ли они объективную картину сложности ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава? (критический обзор литературы и собственных наблюдений). *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(1):122-141. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-1-122-141>.

- 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. Удинцева М.Ю., Волокитина Е.А., Колотыгин Д.А., Кутепов С.М. Первичное и ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):797-810. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-797-810>.
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., Verdonchot 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. Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В., Кирилова И.А. Замещение дефектов вертлужной впадины и бедренной кости с использованием импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):102-109. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8008>.
Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Batrak Y.M., Pavlov V.V., Kirilova I.A. Reconstruction of Acetabular and Femoral Bone Defects With Impaction Bone Grafting in Revision Hip Arthroplasty: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):102-109. (In Russian). <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. Гольник В.Н., Федорова Н.В., Ларичкин А.Ю., Бойко С.В., Панченко А.А., Косинов А.М. и др. Замещение дефектов вертлужной впадины методом импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: биомеханические аспекты. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(4):101-113. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17564>.
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. Nilsdotter 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. Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Джухаев Д.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В. Импланционная костная пластика как метод выбора в замещении дефектов вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: серия клинических случаев. *Гений ортопедии.* 2024;30(2):245-254. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-2-245-254>.
30. 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>.
31. 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.
32. 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>.
33. 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>.
34. 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>.
35. Schreurs B.W., Bolder S.B., Gardeniers J.W., Verdonchot 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.
36. 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>.
37. 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>.
38. 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/3745>.
39. 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>.
40. 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>.
41. 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>.
42. 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 Suppl A):25-30. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0322.R1>.
43. 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>.
44. 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.
45. 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>.
46. 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>.

Сведения об авторах

✉ Гольник Вадим Николаевич

Адрес: Россия, 656045, г. Барнаул, ул. Ляпидевского, д. 1/3

<https://orcid.org/0000-0002-5047-2060>

e-mail: vgolnik@mail.ru

Иванюк Алексей Михайлович

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

e-mail: alexei.ivanuk@yandex.ru

Джухаев Денис Анатольевич

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

e-mail: dzhukhaev@mail.ru

Золовкина Анна Геннадьевна — канд. мед. наук

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

e-mail: zolovkinaag@gmail.com

Кореньяк Нина Александровна — канд. мед. наук

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

e-mail: ninakorenyak@mail.ru

Батрак Юрий Михайлович — канд. мед. наук

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

e-mail: 297501@mail.ru

Пелеганчук Владимир Алексеевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

e-mail: 297501@mail.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук, доцент

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

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Authors' information

✉ Vadim N. Golnik

Address: 1/3, st. Lyapidevsky, Barnaul, 656045, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5047-2060>

e-mail: vgolnik@mail.ru

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование коленного сустава является самой распространенной операцией при терминальной стадии гонартроза. Однако до 20% пациентов после ее проведения остаются неудовлетворены результатом, и, несмотря на полный курс реабилитации, некоторые из них нуждаются в ревизионной операции [1, 2].

Асептическое расшатывание компонентов эндопротеза (АРКЭ) является одной из распространенных причин (29,8%) выполнения ревизионного вмешательства. Асептическое расшатывание — это многофакторное явление, которое включает фактор имплантата, фактор хирургической техники и фактор самого пациента [3, 4]. Все перечисленные факторы являются достаточно обширными и часто взаимосвязаны друг с другом. Так, например, неправильное расположение компонентов эндопротеза (фактор хирургической техники) повышает риск возникновения увеличенной нагрузки и контактного напряжения на один из отделов коленного сустава. Это, в свою очередь, провоцирует несвоевременное образование частиц износа (фактор имплантата) с последующим остеолитом вокруг имплантата и развитием асептического расшатывания. Если к данному примеру добавить фактор пациента (повышенный ИМТ и/или остеопороз), то риск раннего АРКЭ многократно увеличивается.

Точное расположение и позиционирование компонентов является предметом активных научных дискуссий, особенно после внедрения в клиническую практику компьютерной навигации и роботизированной хирургии [5, 6]. На дан-

ный момент ортопедическое сообщество не пришло к единому мнению о допустимом диапазоне угловых значений послеоперационного выравнивания оси нижней конечности и фронтального расположения компонентов эндопротеза [7]. Более того, внедрение концепции фенотипов коленного сустава [8] усложнило текущий подход к выравниванию оси нижней конечности, поставив под сомнение универсальность золотого стандарта механического выравнивания для всех пациентов [9, 10].

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

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено ретроспективное исследование типа «случай-контроль». Исследование проводилось в соответствии с рекомендациями по отчетности о наблюдательных исследованиях (STROBE) [11].

Формирование групп пациентов

С 2010 по 2015 г. в ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» ревизионное эндопротезирование коленного сустава было выполнено 331 пациенту (331 коленный сустав). Для формирования группы исследования мы отобрали 193 (58%) пациентов, у которых ревизионная операция выполнялась по разным причинам, не связанным с инфекционным процессом. Блок-схема отбора пациентов в группу исследования представлена на рисунке 1.

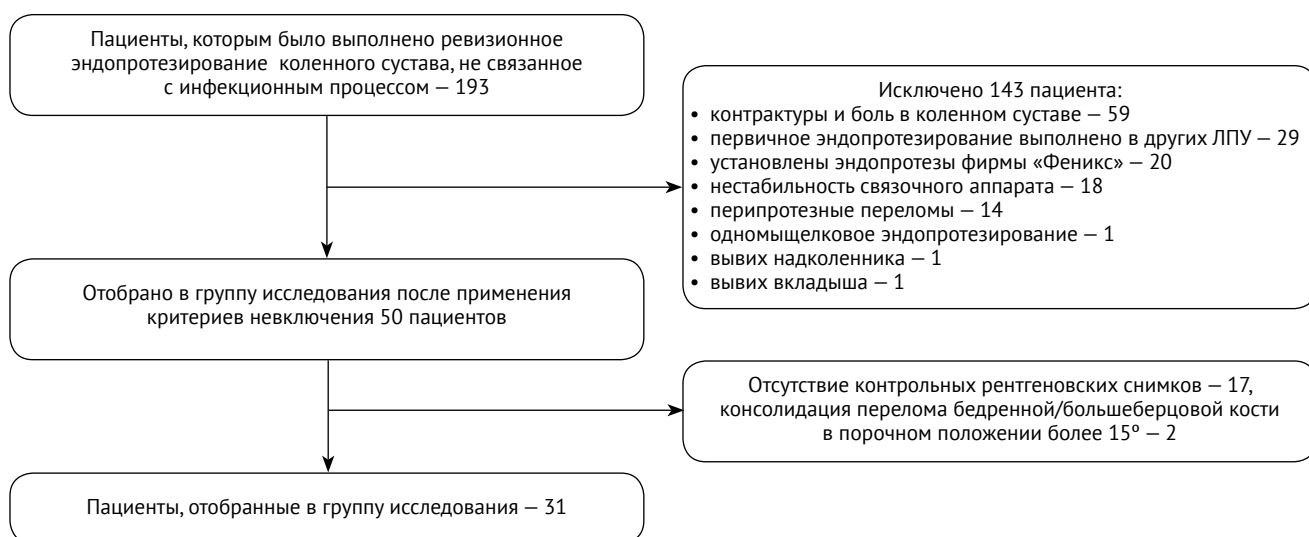


Рисунок 1. Блок-схема отбора пациентов

Figure 1. Flow-chart of patient selection

В группу сравнения вошли 55 пациентов, которым было выполнено первичное эндопротезирование коленного сустава в 2010–2015 гг. и у которых в сроки от 8 до 10 лет после операции отсутствовали рентгенологические и клинические признаки асептического расшатывания компонентов эндопротеза. Следует отметить, что как

в исследуемой, так и в группе сравнения выполнялось только трехкомпонентное (бедренный и модульный большеберцовый компоненты) первичное эндопротезирование коленного сустава, все эндопротезы были несвязанного типа. Перечень используемых в обеих группах эндопротезов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Эндопротезы, установленные пациентам обеих групп

Группа	Изготовитель эндопротеза					
	Aesculap Columbus	Wright MP	Zimmer NexGen	DePuy Sigma	Stryker Scorpio	Smith & Nephew Genesis II
Исследования (n = 31)	11	8	3	4	5	–
Сравнения (n = 55)	20	6	7	8	5	9

Методы оценки

Исходные данные о пациентах обеих групп (пол, возраст, ИМТ, сторона операции) брали из историй болезни.

В период госпитализации пациенты до операции и перед выпиской из стационара проходили рентгенологическое обследование согласно стандартному протоколу, которое включало прицельную и панорамную рентгенографию коленного сустава. Установка нижних конечностей при выполнении рентгеновского исследования соответствовала современным требованиям к качеству выполнения снимков [12]. Если при выписке из стационара пациент не мог установить конечность в правильную позицию (ввиду сохранения остаточного болевого синдрома), то рентгенографическое исследование повторяли на контрольном осмотре через 6 мес.

Все измерения на рентгеновских снимках проводились в цифровом виде с использованием инструментов программного обеспечения K-PACS. Измерение проводилось в разное время одним исследователем, полученные данные проверялись дважды. Измерение включало оценку оси нижней конечности, определение фенотипа коленных суставов и оценку наличия признаков расшатывания компонентов эндопротеза.

Референтные углы:

- анатомический латеральный дистальный феморальный угол (аЛДФУ), образованный пересечением анатомической оси бедренной кости с линией, соединяющей наиболее выступающие точки мыщелков бедренной кости;

- механический латеральный дистальный феморальный угол (мЛДФУ), образованный пересечением механической оси бедренной кости с линией, соединяющей наиболее выступающие точки мыщелков бедренной кости;

- анатомический медиальный проксимальный тибиаальный угол (аМПТУ), образованный пересечением анатомической оси большеберцовой кости с линией, проходящей по верхнему уровню плато большеберцовой кости;

– механический медиальный проксимальный тибиаальный угол (мМПТУ), образованный пересечением механической оси большеберцовой кости с линией, проходящей по верхнему уровню плато большеберцовой кости (табл. 2).

Оценка оси нижней конечности выполнялась при помощи измерения анатомического феморо-тибиаального угла (аФТУ), образованного пересечением анатомической оси бедренной кости с анатомической осью большеберцовой кости, и бедренно-коленно-лодыжечного угла (БКЛУ), который образован пересечением механической оси бедренной кости и механической оси большеберцовой кости. В данном исследовании варусной деформации было присвоено отрицательное значение, а вальгусной деформации — положительное (табл. 2).

Таблица 2

Значение референтных углов и критерии угловой оценки оси нижней конечности, град.

Угол	Варус	Норма	Вальгус
аЛДФУ	> 83	от 79 до 83	< 79
мЛДФУ	> 90	от 85 до 90	> 85
аМПТУ/мМПТУ	< 85	от 85 до 90	> 90
БКЛУ	< -3	от -3 до 3	> 3
аФТУ	< 2	от 2 до 7	> 7

Определение фенотипа коленного сустава выполнялось с использованием классификации СРАК (Coronal Plane Alignment of the Knee) фронтальной оценки оси нижней конечности, которая учитывает арифметический бедренно-коленно-лодыжечный угол (аБКЛУ) и наклон линии сустава [8].

Арифметический БКЛУ рассчитывается как разница мМПТУ и мЛДФУ, а наклон линии сустава равен сумме мМПТУ и мЛДФУ (рис. 2).

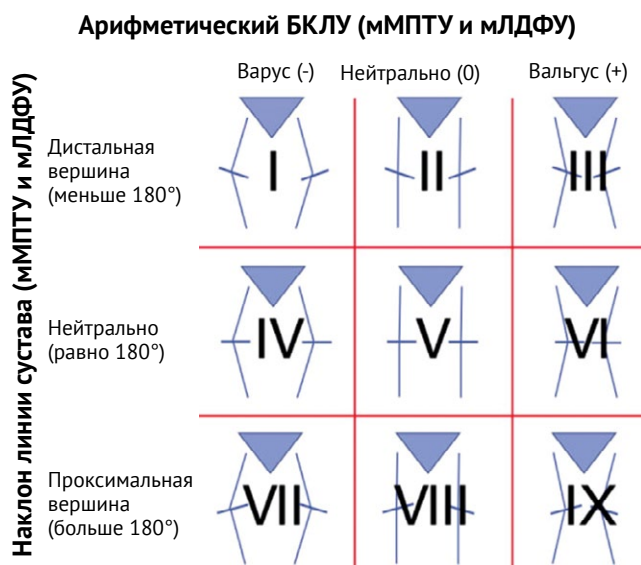


Рисунок 2. Классификации СРАК фронтальной оценки оси нижней конечности [8]

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

Оценка признаков расшатывания компонентов эндопротеза осуществлялась по трем критериям:

- наличие прогрессивных рентгенопрозрачных линий, измеренных по методу KSRESS (Knee Society Roentgenographic Evaluation Scoring System) [13];
- механический коллапс одного из компонентов эндопротеза;
- механический коллапс двух компонентов эндопротеза.

Необходимо отметить, что у некоторых пациентов отсутствовали панорамные рентгенограммы (отсутствие снимков в архиве, плохое качество): у одних — дооперационные, у других — послеоперационные. Поэтому измерение углов мЛДФУ и БКЛУ у всех пациентов было невозможно выполнить. Однако для сохранения важных данных измерений было решено таких пациентов не исключать из исследования (табл. 3).

Статистический анализ

Проверка непрерывных данных критерием Смирнова не выявила в сравниваемых группах нормально распределенных значений, поэтому основными описательными статистиками были ранговые статистики — медиана (Me), первый и третий квартили [Q_1 ; Q_3], дополнительно рассчитывались среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (SD), минимальное и максимальное значения (min-max). Для сравнения применялся непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Категориальные данные (пол, сторона установки протеза, возраст, классификации фронтальных осей нижних конечностей и фенотипов) описывались количеством и частотой пациентов в каждой категории, между группами сравнение проводилось с использованием точного критерия Фишера. Ошибки множественных сравнений в категориях у достигнутых уровней значимости p корректировались методом Бенджамини–Хохберга. Использовались только двусторонние критерии сравнения.

Выявление предикторов расшатывания компонентов протеза проводили путем построения моделей логистических регрессий. С помощью однофакторных моделей определяли отдельные предикторы, ассоциированные с расшатыванием. Из совокупности ковариат с достигнутым уровнем значимости $p < 0,3$ в однофакторных моделях методами прямого и обратного шага строили оптимальную по информационному критерию Акаике модель многофакторной логистической регрессии. Модели прямого и обратного шага совпали. Для многофакторной модели логистической регрессии ROC-анализом определяли наилучший по индексу Юдена (суммарной чувствительности и специфичности) порог классификации, строили таблицу соответствия (сопряженности), по которой рассчитывали прогностические показатели: чувствительность, специфичность, частоту случаев метода, фактическую частоту случаев. Тестом Хосмера – Лемешова исследовали согласованность прогностических частот откалиброванной модели с фактическими частотами негативных событий.

Таблица 3

Количество пациентов с наличием рентгенологических снимков

Вид рентгенологического исследования	Группа исследования (n = 31)		Группа сравнения (n = 55)	
	До операции	После операции	До операции	После операции
Панорамная рентгенография	30	19	53	45
Прицельная рентгенография	31	31	55	55

Статистические гипотезы отвергали при критическом уровне значимости $p = 0,05$, то есть различия и предикторы считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Все статистические расчеты выполнялись в программе R-Studio (версия 2022.07.2+576 «Spotted Wakerobin», США) на языке R (версия 4.1.3, Австрия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходные данные пациентов

Статистических различий в исходных данных, взятых из истории болезни, между группами не выявлено. Однако в группе сравнения преобладали пациенты ($n = 29$) в возрасте 36–59 лет (52,7%), а в исследуемой группе — пациенты ($n = 19$) в возрасте 60–74 лет (61,3%) (табл. 4).

Результаты дооперационного рентгенологического обследования

В обеих группах ось нижних конечностей до операции чаще встречалась в варусном коридоре по результатам измерения аФТУ и БКЛУ, затем — в нейтральном и вальгусном. Исходная варусная деформация, измеренная по БКЛУ, встречалась чаще в группе сравнения ($p < 0,001$). В исследуемой группе вальгусная деформация наблюдалась чаще, однако без значительной статистической разницы (табл. 5).

В исследуемой группе варусная деформация встречалась реже, чем в группе сравнения, но была более выраженной. Однако статистически значимых различий по этому признаку выявлено не было (табл. 6).

Таблица 4

Сравнение исходных характеристик пациентов обеих групп

Исходные данные	Группа исследования ($n = 31$)	Группа сравнения ($n = 55$)	p
Пол: женский мужской	28 (90,3%) 3 (9,7%)	47 (85,5%) 8 (14,5%)	0,739*
Сторона: левая правая	12 (38,7%) 19 (61,3%)	32 (58,2%) 23 (41,8%)	0,116*
Возраст, лет			Общее сравнение: 0,023 , p (коррекция 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)
ИМТ, кг/м 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**

* — точный критерий Фишера, ** — U-критерий Манна–Уитни. Здесь и далее полужирным шрифтом отмечены статистически значимые отличия.

Таблица 5

Дооперационная ось нижних конечностей в обеих группах по данным измерения аФТУ и БКЛУ

Дооперационные углы	Ось нижней конечности	Группа исследования ($n = 31/30$)	Группа сравнения ($n = 55/53$)	Точный критерий Фишера, p (коррекция p)
аФТУ	Варусная	20 (64,5%)	50 (90,9%)	0,004 (0,012)
	Нейтральная	6 (19,4%)	4 (7,3%)	0,158 (0,158)
	Вальгусная	5 (16,1%)	1 (1,8%)	0,021 (0,032)
БКЛУ	Варусная	21 (70,0%)	52 (98,1%)	< 0,001 (< 0,001)
	Нейтральная	6 (20,0%)	1 (1,9%)	0,008 (0,012)
	Вальгусная	3 (10,0%)	0 (0,0%)	0,044 (0,044)

Таблица 6

Дооперационные значения деформации по аФТУ и БКЛУ, град.

Дооперационные углы	Группа исследования (n = 31*/30**)	Группа сравнения (n = 55*/53**)	Критерий Манна–Уитни, p
аФТУ			
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
БКЛУ			
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

* – измерение по аФТУ; ** – измерение по БКЛУ.

При измерении дооперационных референтных углов в обеих группах статистически значимых различий не выявлено. Большинство референтных углов в обеих группах относилось к нейтральному положению (130), затем к варусному (114) и вальгусному (11).

Результаты послеоперационного рентгенологического обследования

По результатам измерения аФТУ, в группе сравнения нейтральная ось встречалась чаще, чем в группе исследования ($p < 0,001$). По результатам измерения БКЛУ, нейтральная ось также встречалась чаще в группе сравнения по сравнению с исследуемой, но статистически значимых различий не выявлено. Вальгусная деформация, выявленная при измерении БКЛУ, наблюдалась только в исследуемой группе и имела статистически значимое различие с группой сравнения ($p < 0,001$) (табл. 7).

В обеих группах после операции выявлено исправление оси нижней конечности в нейтральную сторону по сравнению с дооперационными данными, но остаточная варусная деформация преобладала в исследуемой группе, хотя статистически значимых различий выявлено не было (табл. 8).

При измерении послеоперационных референтных углов в обеих группах статистически значимых различий не выявлено. Большинство референтных углов в обеих группах относилось к варусному положению (104), затем к нейтральному (102) и вальгусному (30). Сравнение с дооперационными данными референтных углов показало уравнивание варусного положения и нейтрального, а также увеличение количества случаев вальгусного положения, преимущественно за счет изменений тиббиального компонента.

Таблица 7

Послеоперационная ось нижних конечностей в обеих группах по данным измерения аФТУ и БКЛУ

Послеоперационные углы	Ось нижней конечности	Группа исследования (n = 31*/19**)	Группа сравнения (n = 55*/45**)	Точный критерий Фишера, p (коррекция p)
аФТУ	Варусная	14 (45,2%)	10 (18,2%)	0,012 (0,012)
	Нейтральная	9 (29,0%)	43 (78,2%)	< 0,001 (< 0,001)
	Вальгусная	8 (25,8%)	2 (3,6%)	0,004 (0,005)
БКЛУ	Варусная	6 (31,6%)	21 (46,7%)	0,406 (0,406)
	Нейтральная	6 (31,6%)	24 (53,3%)	0,170 (0,255)
	Вальгусная	7 (36,8%)	0 (0,0%)	< 0,001 (< 0,001)

* – измерение по аФТУ; ** – измерение по БКЛУ.

Таблица 8

Послеоперационные значения деформации по аФТУ и БКЛУ, град.

Послеоперационные углы	Группа исследования $n = 31^*/19^{**}$	Группа сравнения $n = 55^*/45^{**}$	U-критерий Манна–Уитни, p
аФТУ			
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
БКЛУ			
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

* — измерение по аФТУ; ** — измерение по БКЛУ.

Послеоперационное соотношение установки компонентов по анатомическим референтным углам в обеих группах не имело статистически значимых различий. Самая частая комбинация установки компонентов эндопротеза в обеих группах была следующей: бедренный компонент установлен в варусном положении, а тибиальный — в нейтральном. На втором месте по частоте встречаемости в исследуемой группе была комбинация: бедренный компонент установлен в варусном положении, а тибиальный — в вальгусном. В группе сравнения на втором месте находилась комбинация, при которой и бедренный, и тибиальный

компоненты были установлены в нейтральном положении.

Послеоперационное соотношение установки компонентов по механическим референтным углам имело статистически значимые различия для комбинации, при которой бедренный компонент был установлен в нейтральном положении, а тибиальный — в вальгусном. Такая комбинация чаще встречалась в исследуемой группе ($p = 0,007$, $p = 0,040$). Самая частая комбинация установки компонентов эндопротеза в обеих группах — бедренный компонент в варусном положении, а тибиальный — в нейтральном (табл. 9).

Таблица 9

Послеоперационная комбинация установки компонентов по механическим референтным углам

Соотношение комбинаций мЛДФУ/мМПТУ	Группа исследования ($n = 19$)	Группа сравнения ($n = 45$)	Точный критерий Фишера, общее сравнение: 0,007 , p (коррекция p)
Вальгус/вальгус	1 (5%)	0 (0%)	0,286 (0,343)
Варус/вальгус	4 (21%)	8 (18%)	0,729 (0,729)
Варус/норма	6 (32%)	25 (56%)	0,164 (0,327)
Норма/вальгус	6 (32%)	2 (4%)	0,007 (0,040)
Норма/варус	1 (5%)	0 (0%)	0,286 (0,343)
Норма/норма	1 (5%)	10 (22%)	0,155 (0,327)

Определение фенотипа

До операции в обеих группах большинство суставов относилось к I типу, статистически значимых различий не выявлено. После операции в группе исследования чаще всего встречались I (17%), V (17%), VII (17%) и IX (17%) типы, а в группе сравнения — IV (11%), V (32%) и VII (34%) типы.

На дооперационном графике распределения фенотипов коленного сустава видна плотность расположения оси конечности в варусном коридоре (рис. 3).

В послеоперационном графике распределения фенотипов коленного сустава уже такой плотности не наблюдается (рис. 4).

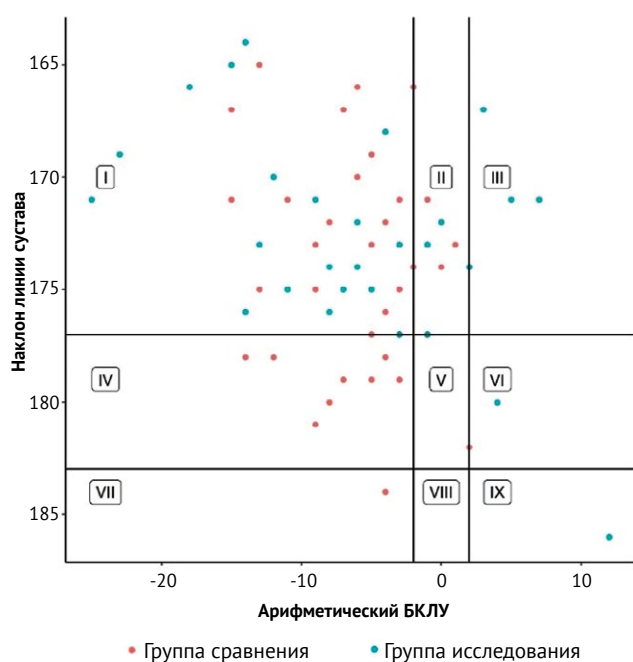


Рисунок 3. Распределение коленных суставов пациентов по фенотипам до операции

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

Рентгенологические признаки расшатывания компонентов

Варианты рентгенологических признаков расшатывания компонентов эндопротеза в зависимости от их комбинации, измеренной при помощи анатомических референтных углов, представлены в таблице 10.

Самым частым признаком расшатывания был механический коллапс одного из компонентов (3 случая, 41,94%), который встречался во всех комбинациях. На втором месте — прогрессирование рентгенопрозрачных линий без признаков коллапса компонентов (11 случаев, 35,48%), на третьем — коллапс обоих компонентов (7 случаев, 22,58%). Все рентгенологические признаки расшатывания

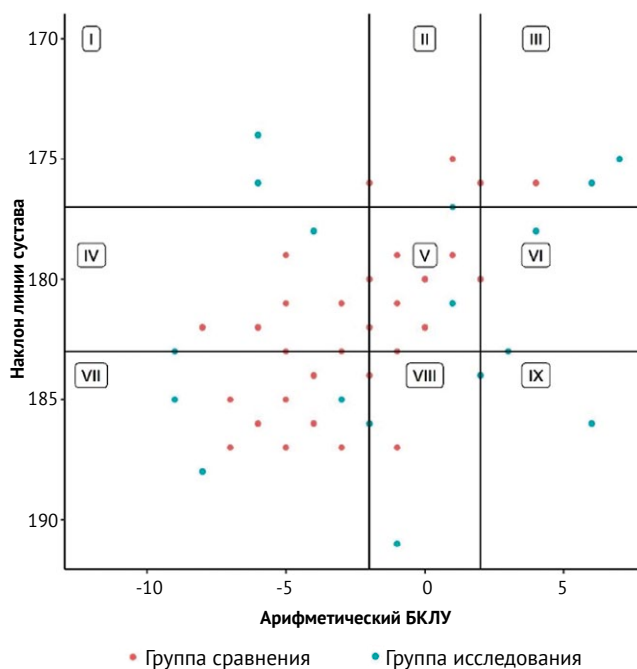


Рисунок 4. Распределение коленных суставов по фенотипам после операции

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

встречались при комбинациях, когда бедренный компонент был установлен в варусном положении, а тибиа́льный компонент — либо в нейтральном, либо в вальгусном.

Данные о сроке, на котором были выявлены признаки расшатывания компонентов эндопротеза, в зависимости от имеющейся комбинации установки компонентов, измеренных при помощи референтных углов аЛДФУ/аМПТУ, представлены в таблице 11.

Во всех имеющихся комбинациях установки компонентов признаки расшатывания компонентов выявлены в течение 5 лет. Большинство случаев ($n = 25$, 81%) АРКЭ наблюдалось в первые 3 года.

Таблица 10

Варианты рентгенологических признаков расшатывания компонентов эндопротеза в зависимости от имеющейся комбинации установки компонентов

Комбинация установки по референтным углам аЛДФУ/аМПТУ	Рентгенологические признаки расшатывания		
	Рентгенопрозрачные линии	Смещение одного компонента	Смещение обоих компонентов
Вальгус/вальгус ($n = 1$)	—	1	—
Вальгус/норма ($n = 1$)	—	1	—
Варус/вальгус ($n = 8$)	4	2	2
Варус/норма ($n = 13$)	2	6	5
Норма/вальгус ($n = 5$)	4	1	—
Норма/варус ($n = 1$)	—	1	—
Норма/норма ($n = 2$)	1	1	—

Таблица 11

**Сроки выявления признаков расшатывания компонентов эндопротеза
в зависимости от комбинации их установки**

Комбинации установки по референтным углам АДФУ/аМПТУ	Количество случаев расшатывания компонентов в зависимости от срока, лет				
	1	2	3	4	5
Вальгус/вальгус ($n = 1$)	1	–	–	–	–
Вальгус/норма ($n = 1$)	1	–	–	–	–
Варус/вальгус ($n = 8$)	3	4	1	–	–
Варус/норма ($n = 13$)	3	4	2	3	1
Норма/вальгус ($n = 5$)	1	1	2	1	–
Норма/варус ($n = 1$)	–	1	–	–	–
Норма/норма ($n = 2$)	1	–	–	–	1

**Модель прогноза асептического
расшатывания компонентов**

Для определения предикторов расшатывания компонентов эндопротеза коленного сустава использован метод логистической регрессии для однофакторных и многофакторных моделей (табл. 12).

При построении однофакторных моделей логистической регрессии выявлены отдельные значимые предикторы асептического расшатывания компонентов эндопротеза коленного сустава. Так, из таблицы видно, что тяжелая дооперационная варусная деформация, измеренная при помощи БКЛУ и аФТУ, ассоциируется с повышением шансов расшатывания компонентов эндопротеза с 9,6 до 23,1 раза соответственно. В послеоперационных измерениях оси нижней конечности при помощи аФТУ выход за пределы нормы в варусную или вальгусную сторону на $0,5^\circ$ увеличивает риск расшатывания в 8,7 (3,32–25,10) раза,

возраст пациентов старше 60 лет — в 2,92 раза, ИМТ больше 27,50 — в 2,60 раза.

Выполненный ROC-анализ позволил провести исследование предсказательной способности многофакторной модели и определить наилучший индекс Юдена с показателями чувствительности 64,5% и специфичности 85,5% для порогового значения вероятности неудачного протезирования, равного 55,1%. Таким образом, используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели с вероятностью расшатывания компонентов более 55,1% прогнозировали расшатывание компонентов эндопротеза (рис. 5).

Уровень значимости теста Хосмера–Лемешова ($p = 0,785$, степени свободы (df) = 4, статистика χ^2 Пирсона = 1,731) допускает согласованность прогностических частот откалиброванной многофакторной модели с фактическими частотами развития расшатывания.

Таблица 12

**Модели логистической регрессии асептического расшатывания компонентов эндопротеза
($n = 86$, из них 31 (36%) случай расшатывания)**

Ковариаты/предикторы	Однофакторная модель		Многофакторная модель	
	ОШ [95% ДИ]	p	ОШ [95% ДИ]	p
Дооперационная ось нижней конечности, измеренная при помощи аФТУ, имеющая значение меньше $-6,5^\circ$	23,14 [5,72; 158,23]	< 0,001		
Дооперационная ось нижней конечности, измеренная при помощи БКЛУ, имеющая значение меньше $-9,5^\circ$	9,60 [3,11; 34,36]	< 0,001		
Возраст пациента более 60,5 года	2,92 [1,18; 7,60]	0,023		
ИМТ больше 27,5	2,60 [0,75; 12,18]	0,165	3,47 [0,84; 18,67]	0,108
Послеоперационная ось нижней конечности, измеренная при помощи аФТУ, имеющая значение больше или меньше нормы на $0,5^\circ$	8,76 [3,32; 25,10]	< 0,001	9,58 [3,53; 28,69]	< 0,001
Тиббиальный компонент, установленный в вальгусном положении	2,83 [1,10; 7,43]	0,032		

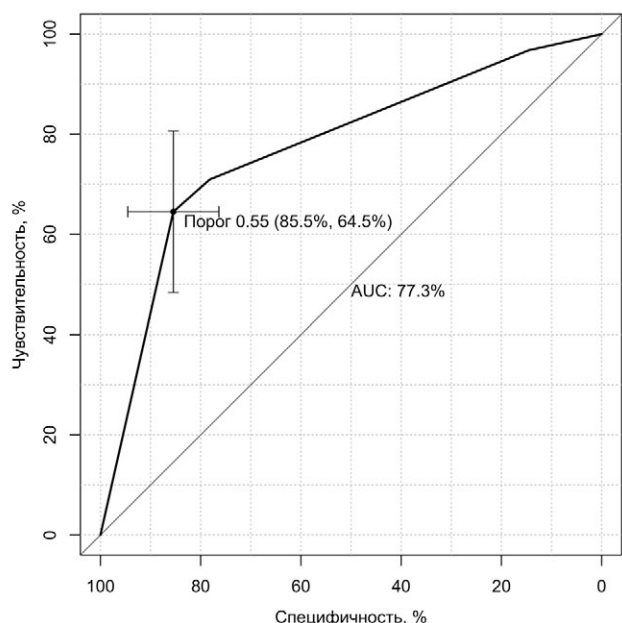


Рисунок 5. ROC-кривая (пороговое значение 55,1%) многофакторной модели развития расшатывания компонентов эндопротеза

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

Формула многофакторной модели прогнозирования асептического расшатывания компонентов эндопротеза имеет следующий вид:

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

где P — вероятность асептического расшатывания компонентов, $\exp()$ — функция экспоненты. Значения коэффициентов многофакторной модели приведены в таблице 13.

ОБСУЖДЕНИЕ

На первый взгляд, такие данные, как возраст пациента и тяжесть варусной деформации, не имеют прямой корреляции. Но с каждым годом стадия артроза прогрессирует, а пациент затягивает обра-

щение в ЛПУ из-за страха оперативного лечения. В связи с этим очевидно, что чем старше пациент, тем у него более выражена деформация нижней конечности.

Эти факты отражены в полученных результатах: в исследуемой группе преобладали пациенты более старшего возраста (61% в возрасте 60–74 лет), чем в группе сравнения (52% в возрасте 36–59 лет). Чем тяжелее варусная деформация, тем сложнее ее исправить и при этом не допустить неточностей в позиционировании компонентов эндопротеза, поэтому в исследуемой группе тяжесть варусной деформации была выше, чем в группе сравнения. Доказательством того, что возраст пациента и тяжесть варусной деформации являются предикторами АРКЭ коленного сустава, содержится в однофакторной модели логистической регрессии, в которой тяжесть деформации увеличивает риск расшатывания в 23 раза, а возраст пациента старше 60 лет — в 3 раза.

В послеоперационном периоде в группе сравнения нейтральное положение оси нижней конечности встречалось чаще, чем в группе исследования ($p < 0,001$), а послеоперационная вальгусная деформация выявлена только в группе исследования ($p < 0,001$). Более выраженная остаточная варусная деформация после операции отмечена в исследуемой группе. Эти результаты говорят о предрасположенности к расшатыванию компонентов у пациентов с большим отклонением от нейтрального положения в сторону варуса, а отклонение от нейтрального положения в сторону вальгуса — еще более неприемлемое отклонение. Схожие данные получены в многофакторной модели логистической регрессии, так как в послеоперационных измерениях оси нижней конечности при помощи аФТУ выход за пределы нормы в варусную или вальгусную сторону на $0,5^\circ$ увеличивает риск расшатывания в 8,7 (3,32–25,10) раза (см. табл. 12). К схожим выводам пришли Y.H. Kim с соавторами, исследовав 3048 рентгенограмм коленного сустава у пациентов со средней выжива-

Таблица 13

Коэффициенты и переменные модели многофакторной логистической регрессии асептического расшатывания компонентов эндопротеза

Коэффициенты и переменные	Описание	Допустимые значения в формуле
B	Постоянный коэффициент	-2,657833
A_1	Постоянный коэффициент	2,259605
X_1	Послеоперационная ось нижней конечности, измеренная при помощи аФТУ	0 — величина более $1,5^\circ$ и менее $7,5^\circ$; 1 — величина от $1,5^\circ$ и менее или от $7,5^\circ$ и более
A_2	Постоянный коэффициент	1,243753
X_2	ИМТ	0 — величина менее 27,5; 1 — величина от 27,5 и более

емостью эндопротеза 15 лет. Авторы пришли к выводу, что ось нижней конечности, измеренная при помощи аФТУ, превышающая 3° в варусную сторону, увеличивает риск развития расшатывания компонентов эндопротеза [14]. С другой стороны, выход оси нижней конечности за пределы 3° в варусную сторону, но уже измеренной при помощи БКЛУ, также увеличивает риск (10%) развития расшатывания компонентов эндопротеза — к такому выводу пришли B.S. Lee с соавторами [15].

Результаты нашего исследования показали, что чаще всего в обеих группах бедренный компонент был установлен в варусном положении, а тибиальный — в нейтральном. Это, по всей видимости, происходит потому, что хирурги игнорировали или не имели возможности измерить предоперационный угол α , и на резекторном блоке для дистального опиления бедренной кости «на автомате» закладывали 5° , что было недостаточно для выведения бедренного компонента в нейтральное положение во фронтальной плоскости. Такая комбинация в группе сравнения встречалась более чем в 50% случаев, поэтому предрасположенность к расшатыванию данной ситуации маловероятна, а в исследуемой группе расшатывание компонентов при этой комбинации произошло, по всей видимости, по смежной причине. Но имелись статистически значимые различия между группами в комбинациях установки компонентов, измеренных при помощи механических референтных углов, где чаще всего происходило расшатывание компонентов при комбинации, когда бедренный компонент был установлен в нейтральном положении, а тибиальный — в вальгусном (см. табл. 9). Это в очередной раз подчеркивает плохие прогнозы выживаемости эндопротеза при изменении исходной варусной деформации на вальгусную за счет установки тибияльного компонента в вальгусное положение. В то же время расположение тибияльного компонента в варусном положении (мПТУ 85°) при сохранении общей нейтральной оси нижней конечности показало 10-летнюю выживаемость эндопротеза с хорошими клиническими результатами у 66 пациентов в исследовании F.A. Miralles-Muñoz с соавторами [16].

Классификация фронтальной оценки оси нижней конечности СПАК создавалась, чтобы определить, какой фенотип коленного сустава получит большую пользу от кинематического выравнивания. Однако мы решили использовать эту классификацию для выявления закономерностей развития АРКЭ. Статистических различий между группами по фенотипу суставов выявлено не было. Если учитывать, что в обеих группах до операции большее количество суставов относилось к варусному фенотипу, то можно предположить отсутствие предрасположенности к расшатыванию

компонентов, если фенотип меняется в пределах одного осевого коридора. Что касается удовлетворенности пациентов результатами операции, то сохранение дооперационного варусного фенотипического коридора демонстрирует хороший результат, так как пациенты группы сравнения были прооперированы минимум 8 лет назад и за весь период не предъявляли жалоб.

Самый частый рентгенологический признак расшатывания компонентов — коллапс одного компонента (41,94%) — занял первое место, поскольку не всегда вовремя удается определить прогрессирование рентгенопрозрачных линий. Это связано с тем, что пациенты часто не соблюдают послеоперационный протокол наблюдения и приходят на первый поликлинический прием уже с клиническими и рентгенологическими признаками расшатывания одного из компонентов. Также существуют определенные сложности при выявлении рентгенопрозрачных линий, так как пациенты приходят без жалоб на боль в коленном суставе с рентгенологическими снимками, выполненными в поликлиниках по месту жительства, где нередко нарушена правильность выполнения рентгенограмм во фронтальной и сагиттальной проекциях, а также недостаточно хорошее качество самой пленки. Учитывая, что набор пациентов, которым была выполнена ревизионная операция по поводу асептического расшатывания компонентов, был произведен с 2010 по 2015 г., а данные (рентгенологические) о первичном эндопротезировании у этих пациентов в архивах начинаются только с 2008 г., то самый большой срок выхода из строя компонентов не превысил 5 лет.

Выведенная формула многофакторной модели, включающая невосстановленную нейтральную послеоперационную ось нижней конечности и ИМТ, также логически понятна. Механическое выравнивание оси нижней конечности при эндопротезировании коленного сустава подразумевает обязательное достижение нейтрального положения оси за счет выполнения релиза мягких тканей, при выполнении горизонтального (параллельного полу) дистального опиления бедренной кости и проксимального опиления большеберцовой кости. То есть хирургическое вмешательство, направленное на исправление оси нижней конечности, выполняется на мягких тканях (релиз), а костные опиления выполняются стандартно всем пациентам. Таким образом, имеющееся отклонение от нейтрального положения оси нижней конечности при выполнении механического выравнивания провоцирует неправильное распределение нагрузки на компоненты эндопротеза с последующим ранним выходом из строя последних. Но в то же время современные требования к выравниванию оси нижней конечности для исправления ее деформации

выполняются главным образом за счет опилов дистального отдела бедренной и проксимального отдела большеберцовой костей с индивидуальной ротацией бедренного компонента [10, 17]. При таких видах выравнивания допустима так называемая безопасная недокоррекция нейтрального положения оси.

Самый непредсказуемый результат, который мы получили в своем исследовании, — это увеличение риска расшатывания компонентов эндопротеза в 8 раз при выходе на $0,5^\circ$ в любую сторону при измерении аФТУ. Ведь $0,5^\circ$ — это очень малое отклонение, которое интраоперационно достаточно сложно заметить при мануальном выполнении эндопротезирования коленного сустава с использованием контрольной металлической оси. Здесь, по всей видимости, на первый план выходит использование роботизированной техники эндопротезирования, поскольку она обеспечивает высокую точность выполнения всех запланированных костных опилов, что, в свою очередь, гарантирует точное расположение компонентов эндопротеза. Однако следует отметить, что для выводов о преимуществах робот-ассистированной техники необходимы долгосрочные результаты исследований.

Ограничения исследования

В данном исследовании участвовало небольшое количество пациентов, однако это не помешало выявить предикторы раннего АРКЭ при первичном эндопротезировании коленного сустава благодаря статистическому построению моделей логистических регрессий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Гуражев М.Б. — написание и редактирование текста рукописи, поиск и анализ литературы.

Лукинов В.Л. — статистическая обработка и анализ данных, редактирование текста рукописи.

Баитов В.С. — сбор и анализ данных, статистическая обработка данных.

Гофер А.С. — поиск и анализ литературы, редактирование текста рукописи.

Иванов Е.А. — поиск и анализ литературы, редактирование текста рукописи

Павлов В.В. — концепция и дизайн исследования, научное руководство.

Корыткин А.А. — научное руководство, редактирование текста рукописи

Пронских А.А. — дизайн исследования, редактирование 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.

Нельзя полностью исключить неточности в рентгенологическом измерении углов оси нижних конечностей и референтных углов установки компонентов эндопротеза. Это могло повлиять на статистический расчет однофакторных и, следовательно, многофакторных моделей определения предикторов АРКЭ.

Оперативное лечение выполнялось разными хирургическими бригадами, использовались эндопротезы разных фирм, хоть и с одинаковой степенью связанности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов пожилого возраста с избыточным весом и варусной деформацией нижней конечности выше средней тяжести необходимо выполнять персонализированное, более избирательное предоперационное планирование для профилактики раннего асептического расшатывания компонентов эндопротеза. При выявлении у пациентов в послеоперационном периоде остаточной деформации и установленного в вальгусное положение тибального компонента следует усилить послеоперационный контроль и выполнять контрольные рентгеновские снимки каждые 6 мес. При выявлении прогрессирования рентгенопрозрачных линий и наличии болевого синдрома следует сразу выполнять повторную операцию, тем самым увеличивая шансы на выполнение «консервативной» ревизии. Принципы «консервативной» ревизии состоят в отказе от ревизионных конструкций эндопротеза и сведении к минимуму агрессивных воздействий на интактные прилежащие мягкие ткани и костные структуры.

DISCLAIMERS

Author contribution

Гуражев М.Б. — drafting and editing the manuscript, literature search and review.

Лукинов В.Л. — statistical data processing, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Баитов В.С. — data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing.

Гофер А.С. — literature search and review, editing the manuscript.

Иванов Е.А. — literature search and review, editing the manuscript.

Павлов В.В. — study concept and design, scientific guidance.

Корыткин А.А. — scientific guidance, editing the manuscript.

Пронских А.А. — 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.

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]

1. 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>.
2. 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>.
3. 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>.
4. Мурылев В.Ю., Усубалиев Б.Т., Музыченков А.В., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Корешкова Д.А. Остеопороз и асептическое расшатывание компонентов эндопротеза после эндопротезирования суставов. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2022;41(4):67-73. <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2022-4-67-73>. Murylev V.Y., Usubaliev 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/10.17238/2226-2016-2022-4-67-73>.
5. 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>.
6. 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>.
7. 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>.
8. 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>.
9. 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>.
10. Matassi F., Pettinari F., Frascò 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>.
11. 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>.
12. 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>.
13. Ewald F.C. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(248):9-12.
14. 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>.
15. 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>.
16. 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>.
17. 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>.

Сведения об авторах✉ *Гуражев Михаил Борисович*Адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, д. 8<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: Tashtagol@inbox.ru

Лукинов Виталий Леонидович — канд. физ.-мат. наук<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

e-mail: vitaliy.lukinov@gmail.com

Баитов Владислав Сергеевич — канд. мед. наук<https://orcid.org/0000-0002-9427-7072>

e-mail: VBaitov@list.ru

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

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

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

e-mail: Ivanov.evgeniy90@bk.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Пронских Александр Андреевич — д-р мед. наук<https://orcid.org/0000-0003-1197-556X>

e-mail: proal_88@mail.ru

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

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 культи 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 культи; N+S — несвободный трансплантат с сохранением культи. 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 МСКТ (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 культи 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 культи 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

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: nikshcherbatov@mail.ru

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

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава является одним из наиболее распространенных хирургических вмешательств в современной ортопедии, направленных на коррекцию передне медиальной нестабильности коленного сустава [1, 2, 3, 4]. Несмотря на значительный прогресс в методологии и реконструктивной хирургии ПКС, техниках операций и применяющихся пластических материалах, актуальной остается проблема достижения наилучших клиничко-функциональных результатов, прогнозируемых в долгосрочной перспективе [5, 6]. Традиционная методика аутопластики с применением свободного сухожильного трансплантата группы hamstring (detached hamstring tendon — DHT) зачастую сопряжена с недостаточной степенью биологической интеграции трансплантата, выраженным расширением костных тоннелей и вариабельностью клинических результатов, которые не всегда удовлетворяют пациентов и хирургов [7, 8].

В последние годы значительный интерес исследователей вызывают инновационные подходы, предполагающие сохранение культы ПКС (методика Single Antero-Medial Bundle Biological Augmentation — SAMBBA) и использование не-свободного аутооттрансплантата (non-detached hamstring tendon — NDHT), сохраняющие анатомические точки прикрепления сухожилий [9, 10, 11, 12]. Данные подходы должны способствовать улучшению кровоснабжения, ускорению процессов неолигаментизации и оптимизации интеграции трансплантата, о чем свидетельствуют данные ранних доклинических и клинических наблюдений, проведенных в рамках независимых исследований [13, 14, 15, 16]. Тем не менее на сегодняшний день остается недостаточным количество сравнительных исследований, позволяющих объективно оценить долгосрочные результаты и возможные ограничения указанных хирургических методик.

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

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено проспективное одноцентровое неослепленное рандомизированное клиническое исследование в параллельных группах. Дизайн был разработан в соответствии с рекомендациями CONSORT 2010 (CONsolidated Standards of Reporting Trials). Исследование проводили на базе травматолого-ортопедического отделения № 2 Клиник СамГМУ в период с 2023 по 2024 г. В рамках иссле-

дования была проведена оценка результатов лечения 121 пациента с повреждением ПКС.

Критерии включения: возраст 18 лет и старше; повреждение ПКС любой давности, подтвержденное клиническим осмотром и результатами МРТ-исследования; сохраненная культя ПКС, верифицированная по данным МРТ.

Критерии не включения: сопутствующее повреждение связочных структур коленного сустава (задней крестообразной, медиальной и латеральной коллатеральной связок) с наличием нестабильности; остеоартроз коленного сустава III–IV стадии по Kellgren–Lawrence; избыточная масса тела пациента ($ИМТ \geq 35 \text{ кг/м}^2$); трофические нарушения и/или гнойно-воспалительные процессы в области исследуемого коленного сустава.

Критериями исключения из исследования были: отсутствие культы ПКС при артроскопии, низкая комплаентность пациента во время исследования и несоблюдение предписанных рекомендаций.

Все пациенты на первичном приеме врача травматолога-ортопеда были заранее ознакомлены с вариантами лечения, проинформированы о потенциальных рисках и возможных исходах операции.

Пациенты

Изначально в исследование был включен 121 пациент, однако 9 пациентов (7,4%) были исключены: 8 (6,6%) — в связи с отсутствием культы ПКС, выявленным интраоперационно, 1 (0,8%) — из-за низкой комплаентности и несоблюдения рекомендаций в процессе послеоперационной реабилитации. В результате окончательный анализ был проведен на выборке из 112 пациентов (92,6% от исходного числа). Посредством послойной стратифицированной рандомизации пациенты были распределены на четыре группы по 28 человек. В каждой группе в качестве оперативного лечения применяли различные способы реконструкции ПКС.

Пациентам первой группы (D) хирургическое вмешательство осуществляли по стандартной методике с использованием дубликатуры свободного аутооттрансплантата (DHT) из сухожилий ST (*semitendinosus* — полусухожильная) и G (*gracilis* — тонкая) мышц и удалением остатка культы ПКС.

Во второй группе (N) при реконструкции ПКС у аутооттрансплантата ST и G оставляли большеберцовое место прикрепления сухожилий (NDHT), но также как и в первой группе проводили удаление культы ПКС.

У пациентов третьей группы (D+S) аутооттрансплантат формировали свободным (DHT) и дополнительно использовали технику SAMBBA, которая подразумевает сохранение остатка (культы) передне медиального пучка ПКС с усилением его аутооттрансплантатом.

Пациентам четвертой группы (N+S) ауто-трансплантат оставляли несвободным (NDHT) и также дополнительно применяли технику SAMBBA.

Из 112 пациентов было 72 (64,3%) мужчины и 40 (35,7%) женщин. Средний возраст пациентов составил $30,5 \pm 9,3$ года, варьируя в диапазоне от 18 до 45 лет. Повреждение ПКС левого коленного сустава

было отмечено у 52 (46,4%) пациентов, правого — у 60 (53,6%) пациентов (соотношение левый/правый — 1:1,15). Средний срок от момента травмы до оперативного вмешательства составил $6,0 \pm 1,4$ мес. (табл. 1).

Статистически значимых различий по возрасту, полу и сроку с момента травмы между группами не было выявлено ($p > 0,05$).

Таблица 1

Стратифицированная рандомизация пациентов по группам

Группа	Число пациентов	Пол (м/ж)	Возраст, лет (M \pm SD)	Сторона повреждения (прав./лев.)	Срок от травмы до операции, мес. (M \pm SD)
D	28	18/10	$28,0 \pm 9,2$	16/12	$6,1 \pm 1,4$
N	28	17/11	$31,0 \pm 8,9$	15/13	$5,9 \pm 1,6$
D+S	28	18/10	$29,0 \pm 9,5$	16/12	$6,2 \pm 1,5$
N+S	28	19/9	$32,0 \pm 8,7$	16/12	$6,0 \pm 1,3$

По данным ANOVA-теста различия между группами по полу статистически незначимы ($p = 0,9597$), по возрасту — на грани значимости ($p = 0,0547$), по стороне повреждения ($p = 0,9912$) и сроку от травмы до операции ($p = 0,3019$) статистически незначимы.

Техника операции

Артроскопическую реконструкцию ПКС выполняли под спинальной анестезией из стандартных доступов. Первым этапом проводили диагностическую артроскопию, в ходе которой осуществляли осмотр культи ПКС и внутрисуставных структур. Далее выполняли необходимые лечебные мероприятия, такие как артролиз, дебридмент и резекция поврежденного(-ых) мениска(-ов). На следующих этапах формировали костные каналы с ориентацией на анатомические точки прикрепления нативной ПКС. Точку для внутренней апертуры бедренного тоннеля определяли с ориентацией на линию Blumensaatt и латеральный

межмышцелковый гребень («гребень резидента») при помощи офсетного направителя, входящего в стандартный набор инструментария для выполнения реконструкции ПКС. Фиксацию бедренной части ауто-трансплантата осуществляли накостной пуговицей ULTRABUTTON Adjustable Fixation Device (Smith & Nephew); в большеберцовом канале ауто-трансплантат фиксировали биодеградируемым интерферентным винтом BIOSURE REGENSORB (Smith & Nephew). Артроскопическая картина сохраненной культи ПКС и проведенного ауто-трансплантата представлена на рисунке 1. Послеоперационный протокол у пациентов всех четырех групп был идентичным.

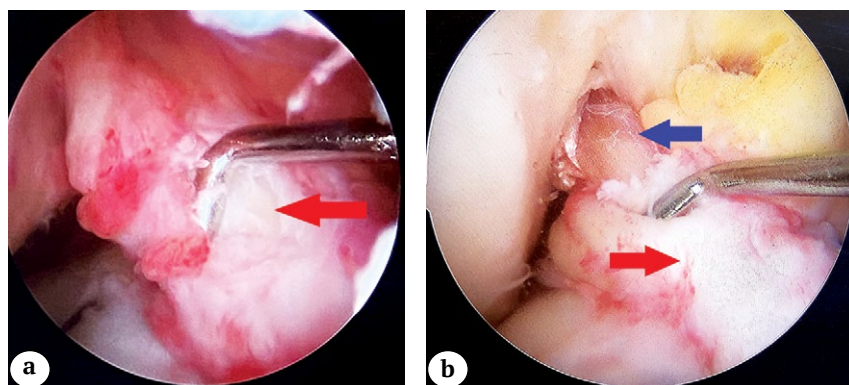


Рисунок 1. Артроскопическая картина:

a — культя ПКС (указана красной стрелкой);

b — фиксированный ауто-трансплантат (указан синей стрелкой) с культей ПКС

Figure 1. Arthroscopic view:

a — ACL remnant (indicated by the red arrow);

b — fixed autograft (indicated by the blue arrow) with preserved ACL remnant

Методы оценки

Оценку результатов проводили через 6 и 12 мес. на основе как клинических, так и инструментальных методов. Для анализа функционального состояния коленного сустава использовали валидированные

клинические шкалы — Lysholm, IKDC Subjective Knee Evaluation Form и KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score) [17, 18, 19]. Опросники пациенты заполняли на следующих сроках: до операции, через 6 и 12 мес. после операции.

Инструментальную оценку интеграции трансплантата и костных изменений в области трансплантата проводили по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ) и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

На сроках 6 и 12 мес. после операции выполняли МРТ для расчета показателя SNQ (Signal-to-Noise Quotient) по стандартной формуле:

$$\text{SNQ} = (\text{SI трансплантата} - \text{SI задней крестообразной связки}) / \text{SD фоновой области},$$

где SI — интенсивность сигнала, SD — стандартное отклонение сигнала в фоновой области (в мышечной ткани бедра). Также на МРТ особое внимание уделяли корректности расположения костных тоннелей и динамике ремоделирования трансплантата (рис. 2).

Кроме того, выполняли МСКТ для количественной оценки расширения костных каналов бедренной и большеберцовой локализаций, выраженной в процентах по сравнению с исходным диаметром сверления.



Рисунок 2. МРТ-изображения через 6 мес. после реконструкции ПКС:
а — расположение бедренного тоннеля (PDE_TSE_SPIR режим);
б — расположение большеберцового тоннеля (STIR_longTE режим);
с — внутрисуставная часть ауто трансплантата ПКС (STIR_longTE режим)

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)

Статистический анализ

Для анализа динамики показателей во времени (6 и 12 мес.) использовали двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated Measures ANOVA), позволяющий учитывать как межгрупповые различия, так и внутригрупповые изменения во времени. Межгрупповые различия по совокупности клинико-инструментальных показателей анализировали с использованием MANOVA и последующим применением PCA. Перед проведением дисперсионного анализа (ANOVA, MANOVA) проверяли количественные показатели на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро–Уилка. В случае выявления отклонений от нормальности для отдельных переменных дополнительно применяли непараметрические методы (Краскела–Уоллиса). Для описания структуры выборки использовали медиану (Me) и межквартильный размах [Q_1 ; Q_3]. Апостериорный анализ мощности (post-hoc power analysis) проведен с расчетом на основе выборки

4 групп по 28 человек, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и величине эффекта $f = 0,40$, мощность исследования составила 0,94, что соответствует высокому уровню достоверности.

Анализ данных был выполнен в IBM SPSS Statistics версии 25.0, графики построены в GraphPad Prism 9.0. При $p < 0,05$ различия считались статистически значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На протяжении всего периода наблюдения отмечалось улучшение клинических и инструментальных показателей во всех четырех группах, однако степень восстановления существенно варьировала в зависимости от применяемого способа реконструкции ПКС.

На основании проведенного анализа установлены достоверные различия между группами по всем перечисленным показателям как через 6 (табл. 2), так и через 12 мес. наблюдения (табл. 3).

Таблица 2

**Сравнительная динамика клинических и инструментальных показателей
в группах исследования на сроке 6 мес. после реконструкции ПКС, Ме [Q₁; Q₃], (min-max)**

Показатели	Результаты			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, баллы	79 [77; 80], (71–89)	82 [80; 84], (75–88)	83 [80; 85], (77–89)	88 [86; 90], (82–92)
IKDC, баллы	74 [71; 77], (64–89)	78 [75; 81], (68–88)	83 [82; 86], (78–87)	89 [88; 91], (84–93)
KOOS, баллы	74 [68; 78], (66–79)	81 [74; 84], (72–85)	74 [72; 83], (71–85)	83 [80; 89], (78–92)
Индекс SNQ	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)
Расширение костных тоннелей, %	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)

$p < 0,05$ по данным ANOVA-теста.

Таблица 3

**Сравнительная динамика клинических и инструментальных показателей
в группах исследования на сроке 12 мес. после реконструкции ПКС, Ме [Q₁; Q₃], (min-max)**

Показатели	Результаты			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, баллы	86 [83; 88], (79–92)	90 [87; 93], (84–96)	91 [89; 93], (85–96)	96 [95; 98], (94–100)
IKDC, баллы	81 [77; 85], (72–91)	85 [81; 88], (75–94)	89 [87; 92], (81–97)	94 [91; 96], (89–100)
KOOS, баллы	78 [75; 82], (68–88)	84 [81; 89], (74–94)	91 [89; 93], (82–98)	96 [94; 98], (88–100)
Индекс SNQ	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)
Расширение костных тоннелей, %	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)

$p < 0,05$ по данным ANOVA-теста.

Через 6 мес. наиболее высокие функциональные показатели (Lysholm, IKDC, KOOS) и лучшие инструментальные результаты (минимальный индекс SNQ и расширение костных тоннелей) отмечены у пациентов группы N+S. Минимальные значения — в группе D. К 12 мес. преимущество группы N+S сохраняется по всем клиническим и морфологическим критериям: максимально высокие значения шкал Lysholm, IKDC, KOOS и минимальные SNQ и PKT. Наихудшие результаты — в группе D. Наибольшие значения функциональных шкал и наименьшие значения SNQ и расширения тоннелей были зафиксированы в группе несвободного трансплантата с сохранением культи (N+S). Минимальные результаты наблюдались в группе D (свободный трансплантат без сохранения культи), что подтверждено статистически значимыми различиями ($p < 0,05$) при попарном сравнении с группами N, D+S и N+S.

Полученная двумерная проекция на плоскости первых двух главных компонент, объясняющих основную долю дисперсии в данных (PC1: 75,6%, PC2: 9,3%), позволила визуализировать пространственное распределение клинических групп в мультипараметрическом контексте.

На PCA-проекции MANOVA наблюдали четкое расслоение точек, соответствующих пациентам из различных групп, особенно выраженное у пациентов группы N+S (несвободный трансплантат + сохранение культи), которые формировали отдельный кластер, удаленный от остальных (рис. 3). Это указывало на высокую степень обособленности данной группы по совокупности клинических признаков (Lysholm, KOOS, индекс SNQ) как через 6, так и через 12 мес. после операции. Группы D и D+S демонстрировали частичное перекрытие, тогда как группа N расположена между ними и группой N+S, отражая промежуточные значения.

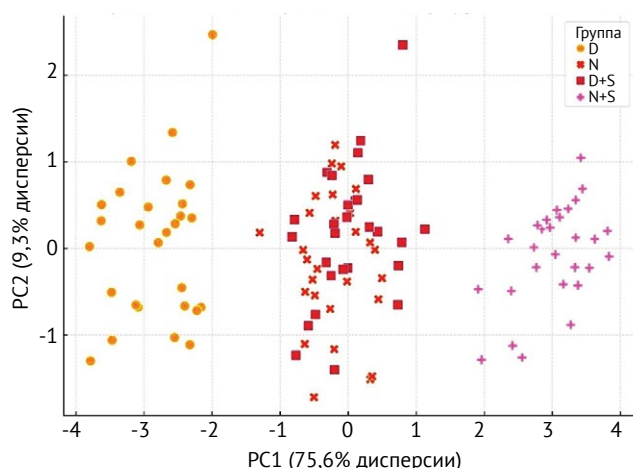


Рисунок 3. PCA-проекция MANOVA: кластеризация групп по совокупности клиническо-инструментальных показателей

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

Наблюдавшаяся в PCA-кластере пространственная дифференциация между группами подтверждала, что клинические особенности, такие как скорость восстановления функции коленного сустава, субъективная оценка качества жизни и степень интеграции трансплантата, имели закономерное распределение в зависимости от использованной методики. Это подчеркнуло практическую значимость мультивариантного анализа для прогностической стратификации пациентов и персонализации хирургической тактики.

PCA-проекция демонстрирует, что модифицированные хирургические способы (особенно в группе N+S) приводят к качественно отличающимся траекториям восстановления, что дополнительно верифицировано статистически значимыми различиями по данным MANOVA ($p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Оперативное восстановление ПКС продолжает рассматриваться как предпочтительный метод лечения антеромедиальной нестабильности коленного сустава [20, 21, 22]. Однако, несмотря на широкую распространенность традиционной методики с использованием свободных аутоотрансплантатов, в последние годы активно развивается направление, ориентированное на биологическое сохранение анатомических структур, включая остаток культи ПКС и тиббиальное прикрепление сухожилий [23, 24, 25]. Это связано с необходимостью приближения результатов к анатомическим и функциональным характеристикам интактной связки при одновременном снижении частоты осложнений и улучшении инкорпорации трансплантата в тканевые структуры [26, 27, 28, 29].

По данным литературы, несвободные трансплантаты, сохраняющие естественное место прикрепления сухожилий (NDHT), демонстрируют более благоприятные показатели по сравнению со свободными (DHT). Так, N. Vari с соавторами продемонстрировали, что использование несвободного трансплантата способствует более надежному восстановлению стабильности коленного сустава, по сравнению с классическими методами, и меньшую частоту повторных разрывов при сопоставимых функциональных исходах [30]. Исследование A. Grassi с соавторами, основанное на магнитно-резонансной визуализации, выявило выраженные преимущества NDHT в аспекте тканевой лигаментизации трансплантата: в группе NDHT авторы наблюдали более низкие значения SNQ, меньшую отечность трансплантата и меньшее расширение каналов через 4 и 18 мес. после операции [31]. Согласно данным A. Ruffilli с соавторами, сохраненное место естественного прикрепления сухожилий способствует ускоренной лигаментизации и формированию структурной непрерывности трансплантата, улучшая заживление и ранний функциональный результат [32].

Наряду с этим методика SAMBBA, предполагающая сохранение культи ПКС, позволяет не только улучшить биомеханику трансплантата, но и способствует более эффективной интеграции за счет сохранения сосудистого и синовиального покрытия. Исследования Y. Zhang с соавторами и B.I. Lee с соавторами показали, что сохранение культи ПКС способствует снижению расширения костных тоннелей и снижению интенсивности сигнала трансплантата на МРТ, интерпретируемое как признак его морфофункционального созревания в поздние сроки наблюдения [33, 34]. Работа G.Y. Ahn с соавторами также показала, что добавление биологического усиления в виде сохраненной культи улучшает клинические и инструментальные результаты [35].

Результаты настоящего исследования согласуются с приведенными данными литературы. У пациентов группы N+S, где применялось сочетание несвободного трансплантата с сохранением культи ПКС, были получены наилучшие результаты по всем клиническим шкалам (Lysholm, IKDC, KOOS) и инструментальным показателям (SNQ, расширение костных каналов) как через 6, так и через 12 мес. после операции. Это подтверждает эффективность использования биологически щадящих техник в сравнении с традиционной методикой реконструкции ПКС свободным трансплантатом.

Выполненный многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) с визуализацией результатов с помощью анализа главных компонент (PCA) показал, что пациенты группы N+S формируют обособленный кластер, четко отличающийся от

других групп. Основными признаками, по которым достигается это разделение, являются высокие значения функциональных шкал (Lysholm, KOOS), а также наименьшие значения индекса SNQ и минимальное расширение костных тоннелей. Эти особенности отражают наиболее благоприятную клиническую и морфологическую динамику восстановления пациентов, которым проводилась реконструкция с сохранением тиббиального прикреплении и культы ПКС.

Ограничения исследования

Несмотря на полученные достоверные результаты, исследование имеет ряд ограничений. Работа выполнена в рамках одноцентрового наблюдения, что может снижать внешнюю валидность и ограничивать возможность экстраполяции данных на другие клинические популяции. Дизайн исследования предусматривал рандомизацию, однако отсутствие ослепления может способствовать потенциальной предвзятости при интерпретации субъективных шкал. Также необходимо учитывать, что длительность периода наблюдения составила только 12 мес., что ограничивает

оценку отдаленных клинических и морфологических исходов. Наконец, несмотря на стратифицированное распределение пациентов по группам, возможное влияние сопутствующих факторов (например, уровень физической активности, приверженность реабилитации) не было учтено в полном объеме.

В дальнейшем проведение многоцентровых слепых рандомизированных исследований с расширенным сроком наблюдения позволит подтвердить и дополнить представленные результаты.

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 представленных результатов требуется проведение широкомасштабных рандомизированных исследований с пролонгированным периодом наблюдения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Котельников Г.П. — научное руководство, редактирование текста рукописи.

Щербатов Н.Д. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Кудашев Д.С. — редактирование текста рукописи.

Зуев-Ратников С.Д. — концепция и дизайн исследования.

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 биоэтическим комитетом ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, № 269 от 13.09.2023 г.

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

DISCLAIMERS

Author contribution

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

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

Kudashhev 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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Сапрыкин А.С., Гвоздев М.А., Рябинин М.В., Орлов Ю.Н. Историческое развитие реконструкции передней крестообразной связки. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(6):205. <https://doi.org/10.17513/spno.30440>.
2. 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>.
3. Заяц В.В., Дулаев А.К., Дыдыкин А.В., Ульянов И.Н., Коломоитцев А.В., Ковтун А.В. Анализ эффективности технологий артроскопической пластики передней крестообразной связки коленного сустава. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2017;176(2):77-82. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2017-176-2-77-82>.
4. Zayats V.V., Dulaev A.K., Dydykin A.V., Ul'ianchenko I.N., Kolomoitseva 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>.
5. Гончаров Е.Н., Коваль О.А., Дубров В.Э., Безуглов Э.Н., Алехин А.А., Гончаров Н.Г. Среднесрочные результаты одномоментного восстановления передней крестообразной и антеролатеральной связок коленного сустава у спортсменов. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):62-71. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71>.
6. 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>.
7. Михайлов И.Н., Пусева М.Э., Тишков Н.В., Монастырев В.В., Пономаренко Н.С., Бальжинимайев Д.Б. Современные способы тендопластики передней крестообразной связки (обзор литературы). *Acta Biomedica Scientifica*. 2017;2(6):64-68. https://doi.org/10.12737/article_5a0a864c6e0163.65998795.
8. 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.
9. Zdanowicz U., Ciszowska-Łyson B., Paśnik M., Drwiga 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>.
10. 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>.
11. Пупынин Д.Ю., Лычагин А.В., Грицюк А.А. Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик лечения разрывов передней крестообразной связки. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):337-344. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344>.
12. 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>.
13. 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>.
14. 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>.
15. Sonnery-Cottet B., Freychet B., Murphy C.G., Pupin B.H., Thauinat 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>.
16. Заяц В.В. Несвободные трансплантаты в реконструктивной хирургии передней крестообразной связки коленного сустава. *Ученые записки Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова*. 2020;27(1):57-67. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2020-27-1-57-67>.
17. 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>.
18. 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.
19. 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).
20. 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>.
21. 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>.
22. 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>.
23. 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>.

18. Higgins L.D., Taylor M.K., Park D., Ghodadra N., Marchant M., Pietrobon R. et al. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine*. 2007;74(6):594-599. <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. Заяц В.В., Дулаев А.К., Дыдыкин А.В., Ульянченко И.Н. Клиническая эффективность анатомической пластики передней крестообразной связки коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2021;27(1):48-54. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-48-54>.
21. 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>.
22. Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А. Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):136-148. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.
23. 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>.
24. 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>.
25. 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>.
26. 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>.
27. 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>.
28. 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>.
29. 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>.
30. 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>.
31. 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>.
32. 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>.
33. Grassi A., Casali M., Macchiarella 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>.
34. 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. *Musculoskeletal Surg*. 2015;99(2):87-92. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0346-3>.
35. 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>.
36. 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>.
37. 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>.

Сведения об авторах

✉ Щербатов Никита Дмитриевич
Адрес: Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89
<https://orcid.org/0009-0007-7202-7471>
e-mail.ru: niksherbatov@mail.ru

Котельников Геннадий Петрович — д-р мед. наук,
профессор, академик РАН

<https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>
e-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru

Кудашев Дмитрий Сергеевич — д-р мед. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-8002-7294>
e-mail: dmitrykudashew@mail.ru

Зуев-Ратников Сергей Дмитриевич — канд. мед. наук,
доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6471-123X>
e-mail: stenocardia@mail.ru

Authors' information

✉ Nikita D. Shcherbatov
Address: 89, Chapaevskaya 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

Научная статья

УДК 617.587-007.56-089.227.81

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17726>

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

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. Dzhanlidze 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*; 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

ВВЕДЕНИЕ

Малоинвазивная корригирующая остеотомия (MICA — minimally invasive Chevron and Akin osteotomy) при вальгусной деформации первого пальца стопы является высокотехнологичным вмешательством, отдельные этапы которого могут быть длительными и требуют интраоперационного флюороскопического контроля. Широкое распространение данной методики обусловлено тем, что ее рентгенологические и клинические результаты сопоставимы, а в ряде случаев превосходят результаты открытых операций [1, 2, 3, 4].

Однако техническая сложность малоинвазивной коррекции *hallux valgus* (HV) увеличивает время, необходимое хирургам для освоения методики и ее эффективного применения [5]. В связи с этим для упрощения работы регулярно появляются новые инструменты (патент RU 229923 U1) [6]. Одним из наиболее продолжительных этапов MICA является проведение направляющих спиц для дальнейшей установки фиксирующих винтов. Кроме этого, данная манипуляция требует многократного выполнения интраоперационных рентгенограмм, что приводит к повышенной лучевой нагрузке на пациента и хирурга.

Для упрощения данного этапа операции, а также для уменьшения негативного воздействия рентгеновского излучения на пациента и персонал за счет сокращения длительности работы электронно-оптического преобразователя (ЭОП) в 2024 г. нами было разработано устройство-направитель для спиц. Конструкция этого инструмента позволяет латерализовать головку первой плюсневой кости после остеотомии и провести направляющую спицу для фиксирующего винта в заданном направлении (патент RU 281344 C1). Использование направителя может позволить сократить длительность технически сложного этапа малоинвазивной коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы.

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

Дизайн исследования

Тип исследования — нерандомизированное проспективное сравнительное.

В исследование были включены 42 женщины (42 стопы) с вальгусной деформацией первого пальца стопы, получавшие лечение в Санкт-Петербургской клинической больнице РАН или в Санкт-Петербургском НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе.

Критерии включения: наличие вальгусной деформации первого пальца стопы I, II или III степени по Lewis с соавторами (2021) [7], возраст старше 18 и младше 80 лет.

Критерии не включения: наличие сопутствующих заболеваний в стадии декомпенсации или хронических заболеваний в фазе обострения, наличие онкологических заболеваний, терапия глюкокортикостероидами.

После предварительного обследования пациенток госпитализировали для выполнения плановой корригирующей остеотомии. До операции по данным рентгенограмм стоп у всех пациенток хирург измерял интерметатарзальный угол (IMA — intermetatarsal angle), а также угол вальгусного отклонения первого пальца (HVA — *hallux valgus angle*). Помимо этого, производилась оценка выраженности болевого синдрома с помощью визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) и функционального статуса путем заполнения индивидуальной анкеты на основе шкалы AOFAS (American Orthopaedic Foot and Ankle Society — Американское общество ортопедии стопы и голеностопного сустава).

Всем пациентам в течение 2024 г. было проведено корригирующее оперативное вмешательство на переднем отделе стопы — малоинвазивная шевронная остеотомия и остеотомия Akin (MICA). Все операции были выполнены одним хирургом, имеющим более 7 лет опыта подобных вмешательств. В половине операций использовался оригинальный направитель для проведения направляющих спиц, в остальных случаях установка спиц выполнялась методом «свободной руки». На основании этого различия в технике вмешательства все пациентки были поделены на две равные по численности (в каждой группе прооперировано по 21 стопе) и сопоставимые по базовым параметрам группы. Общая характеристика пациенток представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика пациентов групп исследования

Параметр	Группа «Направитель», n = 21	Группа «Свободная рука», n = 21	p	Все пациенты, n = 42
Возраст, лет, 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)
Степень НВ, n (%): I II III	1 (5) 14 (67) 6 (28)	0 17 (81) 4 (19)	0,484	1 (2) 31 (74) 10 (24)
Стопа, n (%): правая левая	9 (43) 12 (57)	8 (38) 13 (62)	0,753	17 (40) 25 (60)
IMA до операции, град., 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)
HVA до операции, град., 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)

Техника операции

Все операции выполнялись под проводниковой анестезией. В положении пациента на спине производилась обработка операционного поля растворами антисептиков и отграничение стерильным бельем. Разрез кожи размером 3–4 мм сразу до кости осуществлялся по внутренней поверхности переднего отдела стопы в проекции дистальной четверти диафиза первой плюсневой кости. Остеотомия выполнялась буром 2,2–2,9 мм на расстоянии примерно 2,0–2,5 см от рентгенологической проекции суставной щели первого плюснефалангового сустава. После выполнения распила головку первой плюсневой кости смещали латерально. Далее в зависимости от техники вмешательства для проведения первой направляющей спицы использовался оригинальный направитель, либо спица устанавливалась методом «свободной руки» под контролем интраоперационной флюороскопии. Устройство направителя, а также способ его применения описаны в нашей более ранней работе [8].

После проведения первой спицы в точке ее прохождения через кожу выполняли надрезы по 2 мм для уменьшения травматизации тканей. Канюлированным сверлом 2,7 мм по направляющей спице формировали канал для канюлированного фиксирующего винта. С помощью канюлированной отвертки вводили винт 3,5 мм для фиксации фрагментов первой плюсневой кости. Вторую спицу проводили методом «свободной руки» параллельно уже установленному винту. После проведения второго фиксирующего винта по описанной выше методике обе спицы удаляли.

Стабильность фиксации фрагментов первой плюсневой кости проверяли клинически и рентгенологически. Далее буром производили резекцию излишков костной ткани медиальной части проксимального и, при необходимости, дистального фрагментов первой плюсневой кости. По показаниям коррекция оси первой плюсневой кости дополнялась остеотомией проксимальной фаланги первого пальца по Akin и/или латеральным релизом. Указанные манипуляции выполнялись также малоинвазивно. Остеотомия Akin производилась буром 2,2 мм с последующей фиксацией канюлированным винтом 3,0 мм. Операция завершалась промыванием ран растворами антисептиков и ушиванием после контроля гемостаза.

Методы оценки

После завершения хирургического вмешательства регистрировали его длительность, время работы ЭОП, а также дозу рентгеновского излучения, которая определялась по датчикам ЭОП. Применялись следующие мобильные рентгеновские системы: Philips BV Pulsera C-дуга (Philips Medical Systems Nederland B.V., Нидерланды) и C-дуга GE OEC Fluorostar (GE OEC Medical Systems GmbH, Германия). Также отдельно отмечали выполнение в ходе операции остеотомии Akin и латерального релиза. На контрольных рентгенограммах измеряли IMA и HVA.

Послеоперационный период

В послеоперационном периоде оценка болевого синдрома по ВАШ производилась на сроках 2, 4 и 8 нед., 6 мес. и 1 год. На сроке 1 год после корриги-

рующего вмешательства пациентки заново заполняли анкету AOFAS для оценки функционального статуса.

Статистическая обработка

Систематизация данных производилась в табличном редакторе Excel (Microsoft, США). Статистическая обработка выполнена в программе SPSS Statistics v. 27.0.1 (IBM, США). Количественные переменные анализировались на соответствие закону нормального распределения с помощью критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. В случае нормального распределения значений переменной в качестве меры центральной тенденции использовалось среднее значение (M) со стандартным отклонением (SD). Для сравнительного анализа применялся t-критерий Стьюдента для независимых выборок с поправкой Уэлча, так как согласно тесту Ливиня дисперсии сравниваемых совокупностей были неравны. В качестве меры эффекта указывалась разница средних значений с 95% доверительным интервалом (95% ДИ). При распределении значений количественных переменных, отличном от нормального, применялись непараметрические методы

статистической обработки. В качестве меры центральной тенденции использовалась медиана (Me) с указанием межквартильного размаха [Q_1 ; Q_3], минимальных и максимальных значений (min-max). Сравнительный анализ проводился с помощью критерия Манна – Уитни для независимых выборок и критерия Фридмана для связанных переменных. Апостериорные попарные сравнения выполнялись с учетом поправки Бонферрони к уровню значимости.

Анализ качественных переменных производился путем формирования таблиц сопряженности. Для обнаружения статистически значимых различий в частотах событий применялись критерий χ^2 Пирсона, точный критерий Фишера, точный критерий Фишера – Фримана – Холтона (для многопольных таблиц сопряженности). Все относительные величины представлены в процентах. Для настоящего исследования был выбран уровень значимости $\alpha = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описательные статистики, а также результаты сравнительного анализа изученных параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение интраоперационных показателей в группах исследования

Параметр	Группа «Направитель», $n = 21$	Группа «Свободная рука», $n = 21$	p	Все пациенты, $n = 42$
Длительность операции, мин., 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)
Время работы ЭОП, сек., M \pm SD	45,7 \pm 9,1	112,0 \pm 30,1	< 0,001	78,8 \pm 40,1
Доза облучения, мГр, M \pm SD	0,30 \pm 0,06	0,79 \pm 0,20	< 0,001	0,54 \pm 0,29

В группе пациентов, где направитель не применялся, статистически значимо больше были длительность операции, время работы ЭОП и доза рентгеновского облучения (для всех параметров $p < 0,001$). Время работы ЭОП в группе с использованием направителя в среднем было на 66,3 сек. меньше (95% ДИ 52,1–80,5 сек.). Доза облучения в среднем также была на 0,49 мГр меньше (95% ДИ 0,39–0,58 мГр) у пациенток, у которых направляющая спица проводилась с использованием оригинального инструмента.

Между группами не было выявлено статистически значимых различий в частоте выполнения остеотомии Akin — 3 (14%) в группе «Направитель» против 6 (29%) в группе «Свободная рука» ($p = 0,454$), а также латерального релиза — 10 (48%) против 15 (71%) соответственно ($p = 0,116$).

В послеоперационном периоде по данным контрольных рентгенограмм была произведена оценка степени коррекции вальгусной деформации первого пальца и измерены IMA и HVA. Статистически значимой разницы по этим показателям между группами получено не было. Полученные значения и результаты их сравнительного анализа представлены в таблице 3.

Анализ показал, что после операции IMA и HVA стали статистически значимо меньше в каждой из групп исследования ($p < 0,001$ для обоих показателей).

Результаты оценки выраженности болевого синдрома на различных сроках наблюдения, а также баллы, отражающие функциональный исход через год после хирургического вмешательства, приведены в таблице 4.

Таблица 3

Значения углов по данным послеоперационных рентгенограмм, град.

Параметр	Группа «Направитель», n = 21	Группа «Свободная рука», n = 21	p	Все пациенты, n = 42
IMA после операции, Ме [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)
HVA после операции, Ме [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)

Таблица 4

Динамика выраженности болевого синдрома и функциональный статус через год после операции, баллы, Ме [Q₁; Q₃], (min-max)

Шкала	Группа «Направитель», n = 21	Группа «Свободная рука», n = 21	p	Все пациенты, n = 42
ВАШ	До операции	7,00 [6,50; 8,00] (5,00–9,00)	0,015	6,00 [6,00; 7,00] (5,00–9,00)
	2 недели	4,00 [3,50; 5,00] (2,00–5,00)	0,005	5,00 [4,00; 6,50] (3,00–9,00)
	4 недели	3,00 [2,00; 3,00] (1,00–4,00)	0,040	3,00 [3,00; 5,00] (1,00–6,00)
	8 недель	1,00 [0,50; 2,00] (0,00–2,00)	0,007	2,00 [1,00; 3,00] (0,00–5,00)
	6 месяцев	0,00 [0,00; 1,00] (0,00–1,00)	0,038	1,00 [0,00; 1,50] (0,00–2,00)
	1 год	0,00 [0,00; 0,00] (0,00–1,00)	0,435	0,00 [0,00; 1,00] (0,00–2,00)
AOFAS	До операции	52,00 [34,00; 68,50] (29,00–80,00)	0,263	52,00 [42,00; 72,00] (29,00–75,00)
	1 год	95,00 [88,00; 97,50] (82,00–100,00)	0,855	95,00 [88,00; 95,00] (80,00–100,00)

Полужирным шрифтом выделены значения $p < 0,05$.

Статистический анализ изменений баллов по ВАШ в динамике показал, что снижение интенсивности болевого синдрома в группах было статистически значимым ($p < 0,001$ для каждой группы). Одинаковые значения этого параметра в группах были отмечены только на сроке 1 год. Анализ межквартильных размахов позволил сделать вывод о том, что на других сроках послеоперационного наблюдения в группе «Направитель» боль была статистически значимо менее выраженной, несмотря на то что до операции у пациенток этой группы были получены более высокие баллы по ВАШ.

Стоит отметить, что при попарном сравнении значений баллов по ВАШ на различных сроках наблюдения наиболее заметное снижение интенсивности боли происходило в интервале между 4-й

и 8-й нед. наблюдения у пациенток обеих групп. Однако эти изменения не достигали уровня статистической значимости ($p = 0,158$ для группы «Направитель» и $p = 0,314$ для группы «Свободная рука»). Различия в функциональных показателях при оценке по шкале AOFAS до и после операции были статистически значимыми ($p < 0,001$) для обеих групп.

За время наблюдения не было зафиксировано ни одного случая осложнений.

ОБСУЖДЕНИЕ

При подготовке настоящего исследования мы обратили внимание на малую изученность влияния хирургической техники и применяющегося инструмента на длительность оперативного вмешательства и экспозицию рентгеновского излучения

на пациента и хирурга. В связи с этим наша работа не только направлена на оценку эффективности применения оригинального направителя во время операции, но и позволяет дополнить имеющиеся немногочисленные научные данные.

Группы исследования были сопоставимы по частоте выполнения остеотомии основной фаланги первого пальца и латерального релиза ($p = 0,454$ и $p = 0,116$ соответственно). Это позволяет говорить о том, что на длительность оперативного вмешательства, время работы ЭОП и дозу облучения эти два фактора влияния не оказывали. Однако необходимо отметить, что пациенты, которым вмешательство выполнялось без применения направителя, находились на операционном столе дольше ($p < 0,001$), чем пациенты, прооперированные с использованием направителя.

Сокращение длительности операции и дозы рентгеновского облучения за счет применения направителя, на наш взгляд, не только упрощает работу опытного хирурга, но и облегчает процесс обучения молодых ортопедов. Согласно мнению А. Тоерфер и М. Страссле, для MICA, в отличие от открытых техник, характерна пологая кривая обучения. На основании собственного опыта авторы утверждают, что хирург, выполнивший достаточное количество открытых корригирующих вмешательств, быстро достигает высокой эффективности своей хирургической техники. В то же время в случае малоинвазивных операций прогресс в обучении менее заметен. В этом исследовании авторы также приводят значения длительности хирургического вмешательства с использованием техники MICA и общую дозу облучения. Согласно их данным, операция в среднем длилась 46,8 мин. (SD 12,1; диапазон 31,0–90,0 мин.), а средняя лучевая нагрузка составила 0,82 мГр (SD 0,51; диапазон 0,27–1,06 мГр). У опытных хирургов средняя продолжительность операции была 35,1 мин., а средняя доза облучения — 0,67 мГр [9]. Необходимо отметить, что оба последних значения превышают полученные нами значения у пациентов группы «Направитель».

Схожие показатели средней дозы облучения были получены в 2021 г. R. Hromádka с соавторами в ходе исследования. Авторы проанализировали 93 операции у 76 пациентов. Согласно полученным данным, средняя лучевая нагрузка составила 0,58 мГр [10]. Значение средней длительности оперативного вмешательства авторы не привели.

Угловые показатели, изученные в рамках нашего исследования, отражающие степень коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы, выраженно не отличались от значений, приводимых в научной литературе. X. Geng с соавторами по результатам выполненной 36 пациентам малоинвазивной коррекции *hallux valgus* получили сле-

дующие значения: дооперационные IMA и HVA были равны $14,0 \pm 3,2^\circ$ и $22,3 \pm 6,1^\circ$ соответственно, а после вмешательства — $3,7 \pm 1,0^\circ$ и $7,0 \pm 1,8^\circ$ соответственно [6]. Эти значения сопоставимы с полученными нами.

Многие авторы в своих работах приводят ранние и среднесрочные показатели эффективности коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы [11, 12, 13, 14]. V.V. Balesar с соавторами отслежили динамику изменения угловых значений в сравнении с исходными показателями. У 42 пациентов до операции медиана IMA была равна 28° [22–30°], а HVA — 11° [10–14°]. На сроке 6 нед. соответствующие значения составили 9° [7–13°] и 5° [4–7°]. Через год оба показателя несколько выросли — 11° [7–15°] и 6° [4–8°] соответственно [11].

Аналогичные значения приводят T.L. Lewis с соавторами. В их исследовании, результаты которого основаны на анализе 50 исходов малоинвазивной коррекции *hallux valgus*, на сроке 12 мес. после операции IMA составил $7,9^\circ$ при дооперационном значении $32,7^\circ$, а HVA — $4,2^\circ$ при исходном $14,0^\circ$ [12].

В рамках нашего исследования не оценивалась динамика изменения IMA и HVA с течением времени, однако можно отметить, что степень коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы была удовлетворительной. С учетом собственного клинического опыта и данных литературы можно ожидать увеличение угловых показателей с течением времени. Анализ динамики этих показателей будет проводиться в рамках наших дальнейших исследований.

Анализ динамики интенсивности болевого синдрома является одним из частных показателей удовлетворенности пациента операцией. Зарубежными авторами отмечается снижение среднего балла по ВАШ с $5,2 \pm 2,4$ до операции до $2,4 \pm 1,9$ через неделю после операции ($p < 0,001$; $n = 93$). На среднем сроке 1 год после операции показатель интенсивности боли уменьшался до $1,6 \pm 2,1$ ($p < 0,001$, $n = 93$) [14].

Другие хирурги сообщают о большей интенсивности предоперационного болевого синдрома. В работах G.A. Nunes с соавторами и K.A.M. de Carvalho с соавторами приводятся почти одинаковые средние значения ВАШ до выполнения корригирующего вмешательства: 8,1 балла и $8,2 \pm 1,5$ балла соответственно. В обоих исследованиях к сроку около 2 лет после операции боль уменьшилась до 1,3 балла и $1,2 \pm 2,2$ балла соответственно [15, 16].

В нашей работе значения ВАШ до и после операции были сопоставимы с теми, которые приводят упомянутые выше авторы. Сравнение балльных показателей позволило сделать вывод о том,

что у пациентов, которым операция была выполнена с применением оригинального направителя, боль была статистически значимо менее выражена в послеоперационном периоде на всех сроках наблюдения, кроме конечного (1 год). Это может быть связано с тем, что использование специального инструмента позволило несколько снизить интраоперационное воздействие на мягкие ткани и кость за счет уменьшения количества неудачных попыток проведения направляющей спицы.

Аналогичная ситуация наблюдалась с функциональными показателями. Динамика изменения баллов по шкале AOFAS будет изучена в наших будущих работах, но можно отметить, что на сроке 1 год статистически значимой разницы между группами исследования обнаружено не было. При этом как дооперационные значения, так и среднесрочные послеоперационные показатели почти не отличались от тех, что приводятся в литературе [15, 16, 17, 18]. В работе G.F. Ferreira с соавторами отмечено улучшение средних показателей AOFAS с $57,0 \pm 8,6$ до $93,9 \pm 8,7$ на сроке 2 года после кор-

рекции [17]. А по данным T.J. Holme с соавторами, функциональные показатели улучшились с 48 до 93 баллов по шкале AOFAS [18].

Несмотря на отсутствие статистически значимых различий в выраженности болевого синдрома и функциональных показателей в баллах по шкале AOFAS на конечном сроке наблюдения, мы полагаем, что меньшая выраженность боли в послеоперационном периоде способствует более быстрой реабилитации и большей удовлетворенности пациента хирургическим лечением в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение оригинального направителя при выполнении малоинвазивных корригирующих остеотомий при вальгусной деформации первого пальца стопы позволило сократить длительность оперативного вмешательства и лучевую нагрузку на пациента и хирурга. Также у пациентов, которым операция выполнялась с использованием данного инструмента, был отмечен менее интенсивный болевой синдром в первые полгода после операции.

DISCLAIMERS

Author contribution

Belen'kiy I.G. — study concept and design, acquisition, data 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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Беленький И.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста рукописи.

Сергеев Г.Д. — концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание и редактирование текста рукописи.

Олейник А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных.

Сергеева М.А. — поиск и анализ литературы, написание и редактирование текста рукописи.

Майоров Б.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. 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. Олейник А.В., Бельский И.Г., Сергеев Г.Д., Кочиш А.Ю., Разумова К.В., Биназаров А.Е. и др. Оригинальный направитель для малоинвазивной дистальной остеотомии первой плюсневой кости при лечении вальгусной деформации первого пальца стопы. *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(3):65–72. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8427>. 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>.

Сведения об авторах

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

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

Олейник Алексей Владиславович
<https://orcid.org/0000-0003-2748-0588>
e-mail: oleynik77@gmail.com

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

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

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

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, перелом-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

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, Vasiliy 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 of 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 of the talonavicular, naviculocuneiform and tarsometatarsal joints. 2 — deformation (subluxation, dislocation, fracture-dislocation) of the naviculocuneiform joint, with involvement of the lateral column in 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 of 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

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет является одним из самых распространенных неинфекционных заболеваний, темпы ежегодного прироста которого носят эпидемический характер. Согласно данным Международной диабетической Федерации (IDF), на 2021 г. в мире зарегистрировано 537 млн человек, страдающих сахарным диабетом, а к 2045 г. прогнозируется увеличение их числа до 783,2 млн [1]. Вместе с ростом заболеваемости увеличивается и количество осложнений сахарного диабета, которые поражают различные органы и системы. Одним из таких осложнений является нейроостеоартропатия Шарко (НОАП). Ее частота колеблется от 0,56% в организациях первичного звена до 10–12% в специализированных медицинских подразделениях [2]. НОАП представляет собой неинфекционную артропатию, поражающую кости и суставы стопы и голеностопного сустава и приводящую к деструкции и нарушению архитектоники костно-суставного аппарата стопы [3].

Самой частой локализацией НОАП является средний отдел стопы, поражение которого встречается в 50–70% случаев, причем частота вовлечения предплюсне-плюсневых суставов составляет 40% поражений, а поражение ладьевидно-клиновидных, таранно-ладьевидного и пяточно-кубовидного суставов встречается в 30% случаев. Кроме того, было отмечено, что образование плантарных язвенных дефектов чаще всего происходит при деформации именно среднего отдела стопы [4, 5, 6, 7].

При прогрессировании НОАП и продолжающейся осевой нагрузке на стопу формируются выраженные деформации, которые могут приводить к нарушению опороспособности конечности. Консервативное лечение, включающее в себя разгрузку и иммобилизацию конечности, не всегда может остановить дальнейшее прогрессирование деформации. Кроме того, по данным последнего систематического обзора, артропатия поздно диагностируется в 53,2% случаев, и среднее время задержки диагноза составляет 86,9 дней, поэтому пациенты обращаются за медицинской помощью на стадии выраженных деформаций, при которых консервативное лечение неэффективно, а риск язвообразования и ампутации конечности крайне высок [5, 8, 9]. Очевидно, что выбор тактики лечения должен определяться в первую очередь характером деформаций стопы. В связи с этим встает вопрос об ориентированной на практическое применение классификации поражений среднего отдела стопы при НОАП.

Разработка классификаций НОАП началась за рубежом в 1966 г., и к настоящему времени насчитывается 9 систем, которые подробно разобраны в обзоре В.Б. Бреговского с соавторами [10]. В большинстве из этих классификаций тем или иным об-

разом были стратифицированы виды деформаций и костных деструкций, но они не были увязаны с хирургической тактикой. В двух классификациях определенные типы поражения связывались с неблагоприятным прогнозом для конечности в целом и после оперативной реконструкции стопы: по L.J. Sanders и R.G. Frykberg это 3–4-й типы поражения, а по M. Pinzur и A. Schiff — поражения таранно-пяточного сустава и варусная деформация стопы [4, 11].

В отечественной литературе к проблеме классификации обращались две группы авторов. В работе В.Н. Оболенского с соавторами для характеристики состояния стопы было предложено использовать комбинацию классификаций: НОАП по Sanders и Frykberg, рентгенологическую по Eichenholtz, классификацию ран Wagner и вида деформации (вальгусная, варусная, эквинусная деформации и деформация по типу «стопы-качалки») [12, 13]. На основании своей системы авторы обосновали тактику хирургического лечения при артропатии, осложненной гнойно-некротическим процессом. Недостатком этой классификации является ее сложность, а также то, что возможные деформации среднего отдела стопы не ограничиваются представленными вариантами, а являются более сложными и многоплоскостными.

Вторая отечественная классификация деформаций стоп при синдроме диабетической стопы была опубликована М.В. Паршиковым с соавторами [14]. Они предложили выделить в структуре всеобъемлющей классификации вторичных деформаций поражения заднего и среднего отделов стопы при НОАП. Согласно их концепции, патология заднего отдела стопы делится на три степени в зависимости от угла отклонения пяточного бугра, а патология среднего отдела также разделена на три степени в зависимости от наличия выступающего костного фрагмента или формирования деформации в виде «стопы-качалки». Так же, как и предшествующие зарубежные системы, эта классификация является описательной и не дает инструмента для индивидуализации ортопедической реконструкции.

Анализируя данные литературы, мы выявили некоторые общие недостатки в опубликованных классификациях. Во-первых, это смещенные выборки (пациенты гнойно-хирургических и ортопедических отделений стационаров). Очевидно, что госпитализируются наиболее тяжелые пациенты с выраженными деформациями, которые явились закономерным итогом более легких деформаций, выявленных на амбулаторном этапе. Между тем изучение «амбулаторных» случаев позволило бы учесть разнообразие патологии, а также проследить закономерности развития деформаций, что, в свою очередь, может иметь значение для

определения способа ортопедической фиксации и хирургической тактики. Во-вторых, это немногочисленность обследованных групп пациентов или их рентгенограмм. В совокупности со смещением выборок этот недостаток приводит к недооценке частоты разных деформаций и к высокой вероятности пропуска более редких их вариантов. В-третьих, ни одна классификация не учитывает закономерности формирования конкретного типа деформаций стопы, роли сил внешнего воздействия и усилий, оказываемых мышцами и сухожилиями, в формировании определенных деформаций. Наконец, опубликованные классификации носят описательный характер и не взаимосвязаны с определением хирургической тактики.

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

Дизайн исследования

Тип исследования — многоцентровое, ретроспективное.

Проведен ретроспективный анализ рентгенограмм стоп у пациентов с диабетической НОАП среднего отдела стопы (или обеих стоп при билатеральной артропатии).

В исследование не были включены пациенты, перенесшие ранее малые ампутации и реконструктивные вмешательства на костях стопы, так как это меняло биомеханику стопы и характер прогрессирования деформаций.

Так как предметом исследования была только рентгенологическая картина, при оценке первичной рентгенограммы не учитывались такие характеристики пациентов, как тип сахарного диабета и длительность его течения, пол и возраст, состояние артериального кровотока. Также не учитывали целостность кожных покровов, наличие язвенных дефектов или глубокого гнойного процесса на фоне сформированной ранее деформации.

Для анализа отбирались рентгенограммы стоп, выполненные в прямой и боковой проекциях. Рентгенограммы стопы под нагрузкой не оценивали, так как они могут иллюстрировать деформацию стопы при нагрузке, точки избыточного давления, но не дают большей информативности о характере уже дислоцированных костей. Мы оценивали соотношение костей в суставах стопы, объем деструкции, направление смещения костных структур стопы. Анализ деформаций произво-

дился с учетом функциональной анатомии стопы и направлений смещения костных структур при незащищенном перекате под воздействием мышц и связочного аппарата стопы [15].

Стационарными учреждениями (Центр хирургии стопы и диабетической стопы ГКБ им. С.С. Юдина (Москва), Центр гнойной хирургии филиала № 1 ГКБ им. В.П. Демикова (Москва), НМИЦ им. В.А. Алмазова) (Санкт-Петербург) были представлены 233 рентгенограммы. Амбулаторными кабинетами «Диабетическая стопа» Регионального эндокринологического центра (Санкт-Петербург) и Эндокринологического диспансера ДЗМ (Москва) были отобраны 203 рентгенограммы. Таким образом, анализу подверглись 436 рентгенограмм у 416 пациентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходя из анализа рентгенограмм, было выделено девять основных вариантов характерных смещений костей среднего отдела стопы, во многом отличавшихся от описанных в литературе классификаций. Нумерация проводилась от 1 до 5, начиная от заднего отдела стопы к переднему. Кроме основной нумерации, два варианта (1 и 4) были разделены на подгруппы в зависимости от особенностей поражения в пределах одного варианта. Ниже представлено описание характера смещения при каждом варианте.

Вариант 1 — деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне сустава Шопара. В пределах этого варианта были выделены подварианты.

Вариант 1А — поражение ладьевидной кости и головки таранной кости с сохранением анатомии латеральной колонны. Для этого подварианта характерны:

- наличие дефекта головки таранной и/или ладьевидной костей;
- сохранение интактной латеральной колонны;
- визуальное отсутствие выраженной деформации стопы.

Вариант 1Б — одновременное поражение таранно-ладьевидного и пяточно-кубовидного суставов (вывих или подвывих ладьевидной и кубовидной костей к тылу). Для этого подварианта характерны:

- смещение костей среднего отдела стопы (ладьевидной и кубовидной) в тыльную сторону относительно костей заднего отдела стопы (таранной и пяточной);
- сохранение интактного предплюсне-плюсневых суставов (сустава Лисфранка);
- эквинусная установка пяточной и таранной костей без нарушения взаимоотношений в подтаранном суставе.

Вариант 1В — одновременное поражение таранно-ладьевидного и предплюсне-плюсневых

го суставов (вывих или подвывих ладьевидной и кубовидной костей к тылу). Для данного типа характерны:

- смещение ладьевидной кости совместно с костями среднего и переднего отделов стопы в тыльную сторону;
- дислокация кубовидной кости плантарно в кубовидно-плюсневом суставе;
- эквинусная установка заднего отдела стопы (таранной, пяточной и кубовидной костей).

Вариант 1Г — тотальное смещение ладьевидной кости с вывихом в таранно-ладьевидном и ладьевидно-клиновидных суставах. Для данного типа характерны:

- вывих ладьевидной кости плантарно и/или медиально;
- вывих медиальной клиновидной кости в тыльную сторону;
- смещение плюсневых костей в тыльную сторону и латерально;
- смещение кубовидной кости в плюсне-кубовидном суставе плантарно;
- дислокация промежуточной и латеральной клиновидных костей либо в плантарную сторону вместе с кубовидной костью, либо в тыльную сторону вместе с плюсневыми костями;
- супинационная установка плюсневых костей;
- эквинусная установка заднего отдела стопы.

Вариант 2 — деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне ладьевидно-клиновидного сустава с возможным поражением латеральной колонны в кубовидно-плюсневом суставе, с развитием деформации и уплощением медиальной колонны. Для данного типа характерны:

- деструкция в ладьевидно-клиновидном суставе с сохранением анатомических соотношений костей в суставе Шопара;
- возможно поражение латеральной колонны стопы в предплюсне-плюсневом суставе;
- эквинусная установка заднего отдела стопы.

Вариант 3 — деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне сустава Лисфранка. Для данного варианта характерны:

- подвывих в суставе Лисфранка плюсневых костей с их вальгусной установкой и отведением;

- пролабирование стопы с ее плантарной установкой;

- возможны явления деструкции в суставе Лисфранка;

- формирование (или усугубление уже имеющейся) вальгусной установки стопы;

- возможная (в зависимости от степени тяжести деструкции) дислокация кубовидной кости плантарно в плюсне-кубовидном суставе.

Вариант 4 — изолированная деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне медиальной колонны с вовлечением медиального плюсне-клиновидного сустава. Внутри данного варианта можно выделить два подварианта.

Вариант 4А — изолированное поражение (подвывих или вывих) первого плюсне-клиновидного сустава при отсутствии видимой деформации в зоне поражения. Для такого варианта поражения характерна элевация головки первой плюсневой кости.

Вариант 4Б — вывих в медиальном ладьевидно-клиновидном и медиальном плюсне-клиновидном суставе со смещением медиальной клиновидной кости относительно остальных костей стопы с возможным развитием язвенного дефекта в зоне дислоцированной кости.

Вариант 5 — варусная деформация стопы с переломом оснований плюсневых костей, возможным сминанием костей медиальной колонны. Для него характерны следующие особенности:

- изначально поло-варусная деформация стопы, которая в условиях артропатии может приводить к переломам оснований плюсневых костей в зоне пиковых нагрузок; это приводит к усугублению приведения и супинации переднего отдела, на более поздних стадиях с вовлечением в процесс деструкции костей медиальной колонны;
- формирование язвенных дефектов по наружному краю подошвенной поверхности стопы.

Варианты деформации и частота их встречаемости в стационарных и амбулаторных учреждениях представлены в таблице 1.

Схематичное изображение вариантов поражений представлено на рисунке 1. Варианты патологии представлены только в прямой проекции для лучшей визуализации поражений.

Таблица 1

Доля каждого варианта среди всех обследованных пациентов

Вариант деформации	Тип смещения	Стационар, n (%)	Амбулаторно, n (%)	Всего, n (%)
1А	Поражение ладьевидной кости и головки таранной кости с сохранением анатомии латеральной колонны	27 (6,10)	41 (9,50)	68 (15,60)
1Б	Одновременное поражение таранно-ладьевидного и пяточно-кубовидного суставов	1 (0,23)	0	1 (0,23)
1В	Одновременное поражение таранно-ладьевидного и кубовидно-плюсневых суставов	5 (1,15)	0	5 (1,15)

Окончание таблицы 1

Вариант деформации	Тип смещения	Стационар, n (%)	Амбулаторно, n (%)	Всего, n (%)
1Г	Тотальное смещение ладьевидной кости с вывихом в таранно-ладьевидном и ладьевидно-клиновидных суставах	93 (21,34)	59 (13,56)	152 (34,86)
2	Деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне ладьевидно-клиновидного сустава с возможным поражением латеральной колонны в кубовидно-плюсневом суставе	14 (3,21)	15 (3,44)	29 (6,65)
3	Деформация (подвывих, вывих, переломовывих) на уровне сустава Лисфранка	75 (17,20)	32 (7,30)	107 (24,54)
4А	Изолированное поражение (подвывих или вывих) первого клино-плюсневых сустава	6 (1,40)	28 (6,40)	34 (7,80)
4Б	Вывих в медиальном ладьевидно-клиновидном и медиальном клино-плюсневом суставе со смещением медиальной клиновидной кости	7 (1,60)	8 (1,80)	15 (3,44)
5	Варусная деформация стопы с переломом оснований плюсневых костей с возможным сминанием костей медиальной колонны	5 (1,10)	20 (4,60)	25 (5,73)
Итого		233 (53,40)	203 (46,60)	436 (100,00)

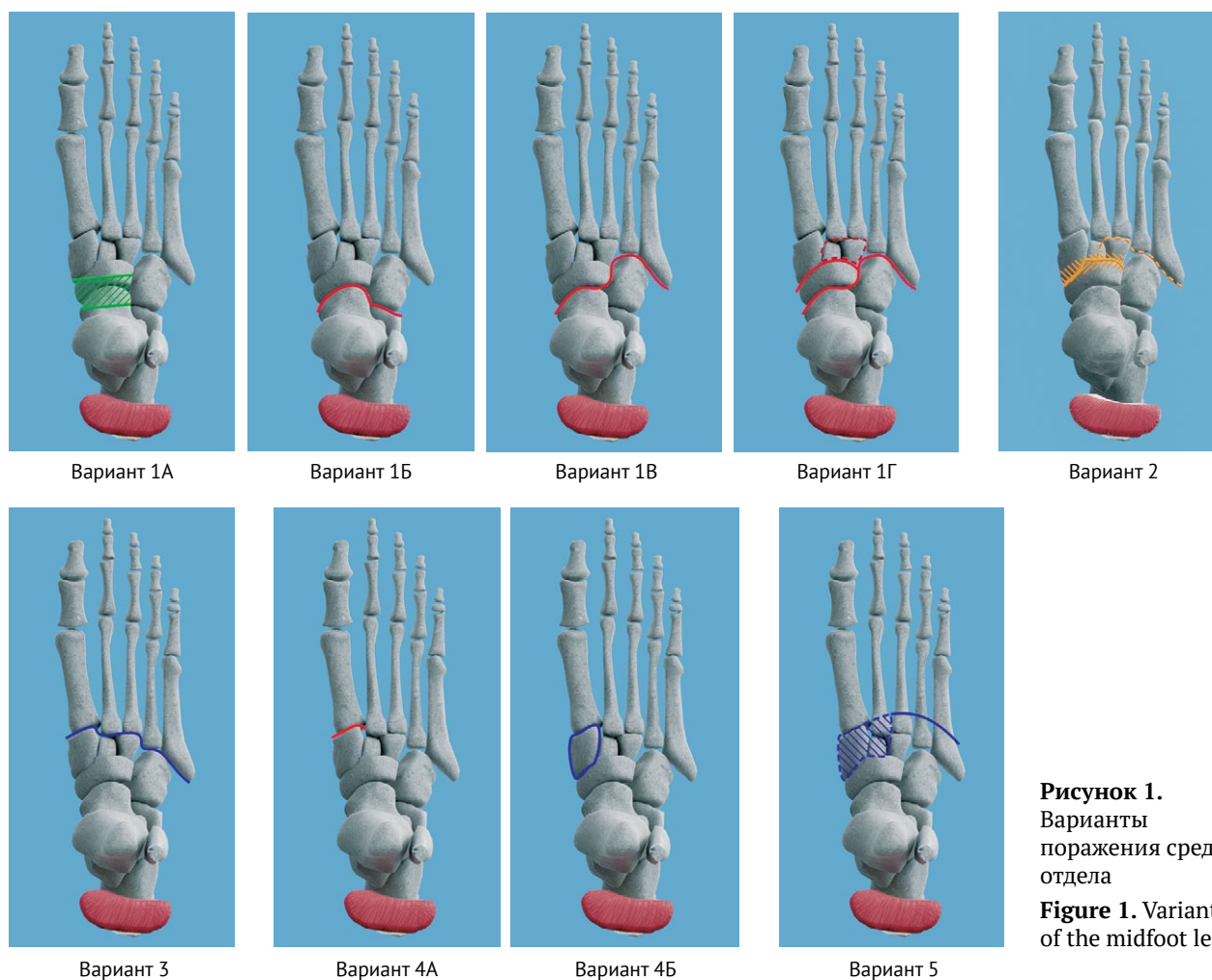
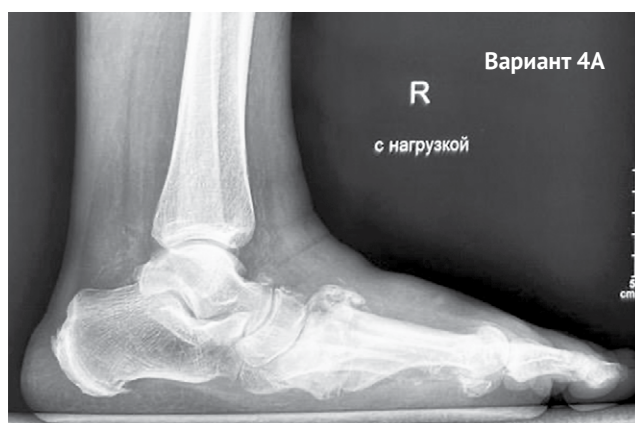


Рисунок 1.
Варианты поражения среднего отдела
Figure 1. Variants of the midfoot lesions

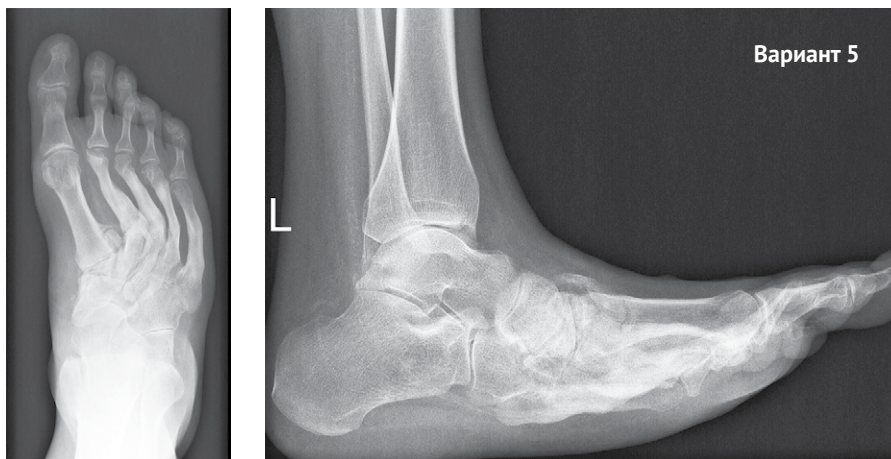
Варианты деформаций проиллюстрированы рентгенограммами (рис. 2).



Рисунок 2. Варианты деформаций
Figure 2. Deformity variants



Вариант 4Б



Принимая во внимание особенности поражения среднего отдела стопы при остеоартропатии Шарко и сопоставляя их с рентгенологической картиной, мы разработали дифференцированный подход к хирургической тактике. При определении показаний к оперативному вмешательству мы не привязывались к измерению углов при различных типах деформаций и смещений, а руководствовались стадией по классификации Eichenholtz, наличием или отсутствием язвенных дефектов и инфекционных осложнений, определением стабильности деформации, возможности ее прогрессирования, а также жалобами пациентов на наличие хромоты и болевого синдрома.

Учитывая сохранение анатомических взаимоотношений в суставах латеральной колонны, при варианте 1А проводили восстановление длины медиальной колонны с пластикой костных дефектов костными трансплантатами. У пациентов с поражениями, соответствующими варианту 1Б, выполняли артродез сустава Шопара. При варианте 1В выполняли артродез таранно-ладьевидного и предплюсне-плюсневых суставов. При варианте 1Г выполняли артродез таранно-ладьевидного, ладьевидно-клиновидного и латерального отделов предплюсне-плюсневых суставов. При варианте 2 выполняли артродез ладьевидно-клиновидного сустава. В случае тыльного вывиха 4–5-й плюсневых костей выполняли артродез латеральных отделов предплюсне-плюсневых суставов. У пациентов с вариантом поражения 3 выполняли артродез сустава Лисфранка. При изолированных поражениях первого клино-плюсневых сустава (вариант 4А) выполняли артродез 1-го медиального клино-плюсневых суставов. У пациентов с поражениями костей, соответствующими варианту 4Б, выполняли артродез ладьевидно-клиновидного и 1-го медиального клино-плюсневых суставов. Больным с варусной деформацией стопы, соответствующей варианту 5 по нашей классификации, одновременно выполняли артро-

дез в сочетании с клиновидной закрывающейся (закрытоугольной) остеотомией деформированной колонны таким образом, чтобы при смыкании артродезируемых поверхностей произошла коррекция деформации.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенные ранее варианты рентгенологических классификаций деформаций среднего отдела стопы Шарко можно условно разделить на две группы. Первую группу составляют ранние исследования 1960–1980-х гг., когда частота диагностики артропатии Шарко возросла и, будучи малоизученным осложнением разных заболеваний, привлекала внимание специалистов. Поэтому опубликованные в этот период работы носили исключительно описательный характер. Они отвечали преимущественно на три вопроса: какие встречаются варианты поражения, с какой частотой и, отчасти, какие механизмы могут иметь значение для развития той или иной деформации. Поскольку НОАП — относительно редкая патология, то очевидно, что выборки в этих исследованиях были невелики и часть из них больше похожа на описание клинических случаев. Так, в работе J. Harris, P. Brand оценивались 147 больных без деления на отделы стопы [16]. R. Cofield с соавторами представили 38 пациентов, из них у 18 был поражен сустав Шопара и у 20 поражена медиальная колонна [17]. В работе G. Sammarco, S. Conti оцениваются рентгенограммы 26 больных [18]. Проблема недостаточной репрезентативности выборки на этом этапе была весьма актуальна, и даже в подробной работе L. Schon с соавторами было обследовано 109 больных, из которых только 89 с сахарным диабетом [19]. Кроме того, в другой статье L. Schon с соавторами для иллюстрации деформации паттерна 4 демонстрировались рентгенограммы пациента с периталарным вывихом, что соответствует поражению заднего отдела стопы и не сопровождается деструктивными изменениями в пяточно-кубо-

видном суставе [20]. Исследования первой группы были отражением накопления и систематизации знаний и выполнялись клиницистами (в основном хирургами). Своеобразный итог этому периоду подводит классификация L. Sanders и R. Frykberg, в которой впервые выделены пять типов поражений при НОАП [21]. При этом в рамках данной классификации впервые говорится о неодинаковом прогнозе при различных типах поражения, что знаменует собой поворот от описательных классификаций к клинико-рентгенологическим и исход-ориентированным [12, 22].

В отличие от опубликованных работ, наше исследование имело целью систематизацию рентгенологической картины таким образом, чтобы полученные варианты позволяли выбрать дифференцированный хирургический подход к лечению. Кроме того, мы сосредоточились на изучении самого частого и опасного для сохранности стопы типа поражения — среднего отдела стопы. Для достижения этой цели было необходимо проанализировать значительно большее число рентгенологических снимков, чем в опубликованных работах, поэтому мы спланировали исследование многоцентровым. В нашем исследовании участвовали амбулаторные и стационарные центры, и таким образом мы предполагали увеличить «охват» патологии и выявить более редкие варианты. Кроме того, при планировании работы мы предполагали, что поражения в амбулаторной практике и на госпитальном этапе также будут различаться. Это предположение оправдалось лишь отчасти: деформации типов 4А и 5 встречались несколько чаще в амбулаторной практике, а 1Г и 3 — в стационарах. В отношении остальных вариантов существенных различий мы не нашли.

По-видимому, самой подробной классификацией поражений среднего отдела является система L. Schon с соавторами [19]. Выделенные автором 24 варианта поражения, с одной стороны, отражают многообразие вариантов деструкции и смещения костных структур, но, с другой стороны, нами были обнаружены некоторые варианты, не идентифицированные в указанной статье, что является, скорее всего, следствием недостаточной мощности выборки в исследовании L. Schon с соавторами. Кроме того, такая детализация, на наш взгляд, является препятствием для клинического применения.

Предложенная нами классификация основана на сопоставлении рентгенологической картины на момент первого осмотра пациента и закономерностей смещения костных структур в результате тяги мышц и сухожилий и воздействия внешних усилий при ходьбе [15]. Основные закономерности, учтенные нами при разработке классификации, перечислены ниже.

Латеральная колонна стопы представлена плюсне-кубовидным и пяточно-кубовидным суставами. Пяточно-кубовидный сустав, образованный пяточной и кубовидной костями, является седловидным по форме и укреплен тыльной пяточно-кубовидной связкой, представляющей собой достаточно тонкий тяж, расположенный по наружной поверхности, и плотной подошвенной пяточно-кубовидной связкой, состоящей из двух слоев.

Плюсне-кубовидный сустав образован плоскими по форме суставными поверхностями кубовидной кости и основаниями четвертой и пятой плюсневых костей. Связочный аппарат сустава не настолько выражен и представлен плантарными и тыльными предплюсне-плюсневыми связками. Плюсневые кости дополнительно соединены между собой тыльными и подошвенными межплюсневыми связками. Также к шиловидному отростку основания пятой плюсневой кости и основанию четвертой плюсневой кости крепится сухожилие короткой малоберцовой мышцы, а к проксимальному метадиафизу пятой плюсневой кости прикрепляется сухожилие третьей малоберцовой мышцы.

При анализе рентгенограмм нами был выявлен больший процент вывиха в предплюсне-плюсневом суставе (87,4%), нежели в пяточно-кубовидном суставе (12,6%), что, вероятно, объясняется мощным связочным аппаратом, который стабилизирует пяточно-кубовидный сустав, препятствуя формированию смещения. Наличие переднего отростка пяточной кости также ограничивает смещение кубовидной кости кверху относительно пяточной кости. Подобные изменения объясняются слабо развитым в сравнении с пяточно-кубовидным суставом связочным аппаратом, тягой короткой и третьей малоберцовых мышц и наличием косо ориентированных суставных поверхностей кубовидной и пятой плюсневой костей. Также латеральная клиновидная кость расположена несколько кпереди и более тыльно относительно кубовидной кости, что при осевой нагрузке дополнительно оказывает давление на кубовидную кость, способствуя ее смещению в плюсне-кубовидном суставе в плантарном направлении. Вместе с этим продолжающаяся тяга ахиллова сухожилия обеспечивает эквинусную установку комплексу пяточной, таранной и кубовидной костей, еще больше увеличивая давление на связочный аппарат предплюсне-плюсневых суставов и смещая кубовидную кость плантарно.

Анатомия медиальной колонны более сложна за счет множества структур и представлена таранно-ладьевидным, ладьевидно-клиновидным и плюсне-клиновидными суставами.

Таранно-ладьевидный сустав образован головкой таранной кости и вогнутой суставной поверхностью ладьевидной кости, укреплен тыльной таранно-ладьевидной связкой, которая в норме препятствует смещению ладьевидной кости в плантарную и медиальную стороны, и пяточно-ладьевидной связкой. По подошвенной поверхности к бугристости ладьевидной кости прикрепляется сухожилие задней большеберцовой мышцы, которое также имеет дополнительные точки крепления на трех клиновидных костях и основании четвертой плюсневой кости.

Клиновидно-ладьевидный сустав плоский по форме, образован ладьевидной костью и клиновидными костями, стабилизирован подошвенными и тыльными ладьевидно-клиновидными и межклиновидными связками. По подошвенной поверхности медиальной клиновидной связки прикрепляется сухожилие передней большеберцовой мышцы.

Плюсне-клиновидные суставы — три изолированных сустава, образованные суставными поверхностями оснований первой, второй и третьей плюсневых костей и медиальной, промежуточной и латеральной клиновидными костями соответственно. Расположение клиновидных костей формирует углубление, подобное пазу для основания второй плюсневой кости. Каждый из суставов с подошвенной и тыльной стороны укреплен связками, идущими от основания плюсневой кости к соответствующей клиновидной кости. Дополнительно суставы стабилизированы мощным связочным аппаратом: медиально — связкой, идущей от наружной поверхности медиальной клиновидной кости к основанию второй плюсневой кости, которая является ключевой для стабилизации сустава Лисфранка, латерально — крестообразными связками, идущими от основания второй плюсневой кости к наружной клиновидной кости и от основания третьей плюсневой кости к промежуточной клиновидной кости.

При поражении таранно-ладьевидного сустава происходит смещение ладьевидной кости медиально и плантарно за счет тяги сухожилия задней большеберцовой мышцы несмотря на то, что сухожилие имеет несколько точек крепления. При этом степень смещения ладьевидной кости может варьироваться от небольшого подвывиха до полного вывиха, а также может сопровождаться переломом. По-видимому, это связано с изначально разной формой стопы и ее биомеханикой. За счет тяги сухожилия передней большеберцовой мышцы происходит смещение переднего и среднего отделов стопы кзади с «наползанием» клиновидных костей поверх смещенной ладьевидной кости. Учитывая, что у пациентов зачастую резко снижена чувствительность, продолжающаяся осевая на-

грузка при имеющихся переломах вывихах с сохранением «качательных» движений в пораженном суставе способствует «стиранию» проксимального края клиновидных костей, что ведет к образованию костных дефектов различного размера.

При поражении сустава Лисфранка происходят изменения, подобные таковым при поражении таранно-ладьевидного сустава. За счет тяги сухожилия задней большеберцовой мышцы происходит смещение медиальной клиновидной и ладьевидной костей медиально и плантарно, а плюсневые кости в результате сокращения передней большеберцовой мышцы дислоцируются к тылу и кзади, а за счет тяги длинной малоберцовой мышцы — еще и латерально. При этом мы отметили два варианта смещения промежуточной и латеральной клиновидных костей: в первом случае все три клиновидные кости смещались единым блоком медиально и плантарно, в другом — только медиальная клиновидная и плюсневые кости дислоцировались к тылу, а промежуточная и латеральная клиновидные кости пролабировали в подошвенную сторону, локально повышая давление на мягкие ткани с возможностью развития язвенных дефектов.

Подобную деформацию зачастую в литературе описывают как деформацию по типу «пресс-папье» или «стопа-качалка» [23]. Но подобное название не совсем корректно, поскольку деформация происходит не только в сагиттальной, но и в горизонтальной плоскости за счет отведения переднего отдела стопы.

При анализе рентгенограмм нами были выявлены случаи, при которых повреждение медиальной колонны в виде разрушения головки таранной, ладьевидной и медиальной клиновидной костей при сохраненной латеральной колонне сопровождалось развитием приводящей контрактуры. Наличие приведения переднего отдела стопы биомеханически необоснованно, что заставило нас дополнительно проанализировать рентгенограммы. При сравнении снимков с контралатеральной здоровой стопой мы выявили, что пациенты с данной деформацией изначально имели поперечную деформацию с достаточно выраженным продольным сводом и приведением переднего отдела стопы. При развитии артропатии происходило поражение связочного аппарата медиальной колонны, что приводило к «сминанию» таранной, ладьевидной и медиальной клиновидной костей и формированию приводящей контрактуры. При этом возникали патологические переломы в проекции вершины деформации — в области оснований третьей, четвертой и пятой плюсневых костей, что приводило к развитию нестабильности латеральной колонны и еще большему приведению и супинации стопы.

Совместный учет перечисленных изменений позволил нам разработать дифференцированную тактику оперативного вмешательства согласно варианту деформации. Разработанная нами система является первой попыткой связать классификацию с рабочим лечебным алгоритмом при НОАП среднего отдела, аналогов которому пока не опубликовано. Очевидно, что предложенный нами алгоритм нуждается в длительной верификации на практике и, возможно, будет скорректирован по мере накопления данных и проспективного наблюдения за пациентами. В первую очередь, это относится к редко встречающимся вариантам.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Оснач С.А. — концепция исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Процко В.Г. — анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

Оболенский В.Н. — сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

Бреговский В.Б. — сбор данных, концепция исследования, написание текста рукописи.

Комелягина Е.Ю. — сбор данных, концепция исследования.

Далматова А.Б. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Сабанчиева Н.И. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Демина А.Г. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Тамоев С.К. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Бобров Д.С. — концепция исследования, редактирование текста рукописи.

Кузнецов В.В. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Рыбинская А.Л. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Загородний Н.В. — анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате систематизации рентгенограмм стоп с артропатией Шарко среднего отдела и с учетом механики формирования дислокаций нами предложена новая классификация поражений среднего отдела. Она состоит из пяти основных вариантов, причем варианты 1 и 4 имеют подварианты. Предложенная классификация предназначена для определения ключевых направлений реконструктивных оперативных вмешательств при данной патологии.

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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. International Diabetes Federation. Режим доступа: <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-osteoarthropathy (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. Бреговский В.Б., Оснач С.А., Оболенский В.Н., Демина А.Г., Рыбинская А.Л., Процко В.Г. Классификация нейроостеоартропатии Шарко: эволюция взглядов и нерешенные проблемы. *Сахарный диабет.* 2024;27(4):384-394. <https://doi.org/10.14341/DM13118>.
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. Оснач С.А., Оболенский В.Н., Процко В.Г., Борзун Д.Ю., Загородний Н.В., Тамоев С.К. Метод двухэтапного лечения пациентов с тотальными и субтотальными дефектами стопы при нейроостеоартропатии Шарко. *Гений ортопедии.* 2022;28(4):523-531. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-4-523-531>.
Osnach S.A., Obolenskiy V.N., Protsko V.G., Borzunov D.Yu., Zagorodniy N.V., Tamoev 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. Паршиков М.В., Бардюгов П.С., Ярыгин Н.В. Ортопедические аспекты классификаций синдрома диабетической стопы. *Гений ортопедии.* 2020;26(2):173-178. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2020-26-2-173-178>.
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. Капанджи А.И. Нижняя конечность. Функциональная анатомия. Москва: Эксмо; 2018. с. 206-227.
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/10.1177/10711007020300106>.
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. Павлюченко С.В., Жданов А.И., Орлова И.В. Современные подходы к хирургическому лечению нейроостеоартропатии Шарко (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2016;22(2):114-123.
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 Russian).

Сведения об авторах

✉ Оснач Станислав Александрович
Адрес: 115446, Россия, г. Москва, Коломенский проезд,
д. 4

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

e-mail: stas-osnach@yandex.ru

Процко Виктор Геннадьевич — д-р мед. наук

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

e-mail: 89035586679@mail.ru

Оболенский Владимир Николаевич — канд. мед. наук

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

e-mail: gkb13@mail.ru

Бреговский Вадим Борисович — д-р мед. наук

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

e-mail: dfoot.tdc@gmail.com

Комелягина Елена Юрьевна — д-р мед. наук

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

e-mail: komelelena@yandex.ru

Далматова Анна Борисовна — канд. мед. наук

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

e-mail: dalmatova.anna@mail.ru

Сабанчиева Нурия Исмаиловна

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

e-mail: sni_doc@mail.ru

Демина Анастасия Геннадьевна — канд. мед. наук

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

e-mail: ans.dem@bk.ru

Тамоев Саргон Константинович — канд. мед. наук

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

e-mail: sargonik@mail.ru

Бобров Дмитрий Сергеевич — канд. мед. наук

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

e-mail: dr.bobroff@gmail.com

Кузнецов Василий Викторович — канд. мед. наук

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

e-mail: vkuznecovniito@gmail.com

Рыбинская Анастасия Леонидовна

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

e-mail: arybinskay@mail.ru

Загородний Николай Васильевич — д-р мед. наук,
профессор, академик РАН

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

e-mail: zagorodniy51@mail.ru

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Проксимальная подошвенная фасциопатия (ППФ) является наиболее частой причиной пяточных болей и находится на втором месте по распространенности среди всех причин боли в области стопы, уступая только болевому синдрому после повреждения связочного аппарата голеностопного сустава [1, 2]. Термин «подошвенная фасциопатия» в настоящее время максимально корректно определяет истинную суть патологии, известную как «пяточная шпора», «подошвенный фасциит» или «фасциоз», так как возникающие на разных этапах патологического процесса и постепенно прогрессирующие дегенеративные и воспалительные изменения подошвенной фасции достаточно сложно выявлять и дифференцировать [3]. Хронический болевой синдром при ППФ отличается устойчивостью к рутинным вариантам консервативного лечения в 10–20% случаев, а пациенты с ППФ предъявляют постоянно возрастающие требования как к самому процессу и срокам лечения, так и к его результатам [4].

Консенсус в отношении вида и объема хирургической помощи при длительно протекающей ППФ среди специалистов, занимающихся хирургией стопы, до настоящего времени не достигнут. На практике выявляется значительное разнообразие применяемых способов оперативного лечения ППФ, начиная с различных вариантов малоинвазивной экзостозэктомии, заканчивая открытым или эндоскопическим релизом подошвенного апоневроза [5]. Эти операции соответствуют общему хирургическому тренду настоящего времени, ассоциируемому с разработкой и широким использованием мини-инвазивных вмешательств, обеспечивающих максимально бережное отношение к мягким тканям стопы [6].

В связи с появлением новых данных о преимущественно дегенеративном, невоспалительном характере изменений, лежащих в основе патогенеза ППФ, для восстановления коллагена и улучшения васкуляризации в хирургическое лечение стал внедряться метод биполярной радиочастотной абляции (БРЧА) проксимального отдела подошвенного апоневроза, который первоначально применялся для трансмиокардиальной, чрескожной реваскуляризации миокарда [7]. Для радиочастотного воздействия на апоневроз использовался специально разработанный биполярный игольчатый электрод. После БРЧА в патологическом очаге было обнаружено увеличение показателей фактора роста фибробластов, сосудистого эндотелиального фактора роста, что приводило к повышению количества новых эндотелиальных клеток, мигрирующих через сосудистую стенку и обеспечивающих процессы реваскуляризации

и регенерации [8]. Этиопатогенетический подход к лечению является оптимальной основой для дальнейших исследований этой патологии, так как, с одной стороны, позволяет уменьшить натяжение подошвенного апоневроза, а с другой, — способствует купированию обратимых гетероморфных и гетерохронных изменений соединительнотканых структур апоневроза и восстановлению их морфологической идентичности. Предложенный ранее метод БРЧА в проксимальном отделе подошвенного апоневроза при помощи биполярного игольчатого электрода заключается в выполнении серии микроперфораций [9], но при данной процедуре происходит недостаточное, на наш взгляд, удлинение подошвенного апоневроза. Модификация этого метода заключается в дополнении серии микроперфораций несколькими краевыми микротенотомиями для более выраженного удлинения, а следовательно, и уменьшения напряжения подошвенного апоневроза, что в совокупности со стимулирующим регенерацию действием является новым этапом развития оперативных технологий лечения ППФ.

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

Дизайн исследования

Тип исследования — рандомизированное, проспективное, открытое, сравнительное когортное.

В период с 2018 по 2023 г. на базе травматолого-ортопедического отделения «РЖД-Медицина» (г. Омск) было выполнено исследование, в котором приняли участие 36 пациентов, обратившихся за помощью по поводу хронической пяточной боли, обусловленной ППФ.

Пациенты

Среди курируемых пациентов было 14 (38,8%) женщин и 22 (61,2%) мужчины, медиана возраста на момент болезни составила 55,4 года [46,7; 61,7].

Критерии включения в исследование: наличие ППФ не менее 6 мес. и неэффективность предшествующей консервативной терапии.

Критерии не включения: ИМТ больше 35; выраженные биомеханические нарушения стоп (с пронацией заднего отдела более 5 мм, с углом медиального продольного свода меньше 125° и более 140°); гипермобильный первый луч (подвижность первого луча в сагиттальной плоскости более 10 мм); контрактура икроножно-камбаловидного комплекса; аутоиммунные или другие системные заболевания.

Пациенты были объединены случайным образом в три равные по количеству участников группы (по 12 пациентов), сопоставимые по критериям включения, полу и возрасту. В 1-ю группу (контрольную) вошли 12 пациентов: 7 мужчин и 5 женщин, медиана возраста — 49 лет [38; 56], которые прошли курс лечения методом ударно-волновой терапии (УВТ). Во 2-ю группу (сравнения) вошли 12 пациентов: 7 мужчин и 5 женщин, медиана возраста — 50 лет [38; 62], которым однократно была выполнена мини-инвазивная БРЧА проксимального отдела подошвенного апоневроза по стандартной методике. В 3-ю группу (основную) вошли 12 пациентов: 8 мужчин и 4 женщины, медиана возраста — 54 года [48; 68], которым была выполнена мини-инвазивная БРЧА проксимального отдела подошвенного апоневроза по модифицированной авторами методике (патент РФ № 2702867).

Отличие предложенной процедуры воздействия от стандартной заключалось в том, что, кроме выполнения серии из 18–24 микроперфораций в проксимальной части подошвенного апоневроза, при помощи этого же игольчатого биполярного электрода дополнительно выполнялись 4–6 микротенотомий протяженностью не более 2 мм по медиальному краю проксимального отдела апоневроза. За счет этого достигалось более значительное удлинение, следовательно, и большее ослабление натяжения подошвенного апоневроза.

У всех пациентов изучались жалобы, данные анамнеза, включая подробную историю лечения ППФ, функциональные возможности, выясняли характер профессиональной деятельности и увлечений. Проводилось полное физикальное обследование стопы и голеностопного сустава, включающее осмотр, пальпацию, перкуссию, измерение амплитуды движений и мышечной силы. Объем лабораторных и инструментальных исследований определялся согласно существующим медико-диагностическим стандартам.

Все оперативные вмешательства в 1-й и 2-й группах проводили через минимальный хирургический доступ под проводниковой анестезией (ankle block) в условиях ишемии.

Тактика ведения пациентов после выполненных манипуляций во всех группах была однотипной. В течение первых двух суток ограничивали движения стопой и осевую нагрузку. С 7-х сут. возобновлялись пассивные и активные движения, рекомендовали ходьбу в разгрузочном ботинке. Переход к обычной нагрузке на работе и дома разрешался в первые 2 мес. при условии полного отказа от занятий спортом и физической работы. В третий месяц после операции у профессиональных спортсменов и работников тяжелого физичес-

кого труда исключались интенсивные тренировки и длительные осевые нагрузки.

Методы исследования

Ультразвуковое исследование показателей структуры подошвенного апоневроза выполнялось на аппарате ACUSON X300 PE (Siemens), при этом рассматривались толщина, равномерность, эхоструктура и экзогенность подошвенного апоневроза. Из изучаемых параметров наиболее информативным и объективно сравнимым представлялся тыльно-подошвенный размер (толщина) апоневроза в месте его прикрепления к бугру пяточной кости, в связи с чем именно этот показатель и подвергался сравнению и статистической обработке до лечения и через 3 и 6 мес. после завершения лечебных процедур.

Методы оценки результатов

Болевой синдром рассчитывали в баллах по визуальной аналоговой шкале функционального индекса стопы (FFI — Foot Function Index) [10]. Для исследования была выбрана субшкала боли, позволяющая оценить болевой синдром в стопах в различных ситуациях, таких как ходьба босиком или в обуви с получением как итоговых, так и субшкальных оценок. За минимально обнаруживаемое изменение (MDC — Minimal Detectable Change) принималось значение 2,42 балла, установленное B.R. Martinez с соавторами для таких патологий, как подошвенная фасциопатия, метатарзалгия, хроническая нестабильность голеностопного сустава [11].

Анализ функции и повседневной активности пациентов с заболеваниями стопы и голеностопного сустава для определения эффективности лечения проводился в соответствии с оценочной системой Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) [12]. В клиническом исследовании нами использовалась одна подшкала: повседневная активность (ADL), оцениваемая по 21 пункту. Каждый вопрос имел пять вариантов оценки параметра и графу «нет ответа» (если пациент не мог ответить на вопрос). Итоговая оценка получалась путем сложения баллов и расчета пропорции к максимально возможной сумме с учетом количества ответов в графе «нет ответа». Итоговое значение лежало в пределах от 0 до 100 баллов, где максимальная оценка соответствовала наилучшей функции, при пороговом уровне MDC — 5,7 балла [13]. Каждый вопрос имел пять вариантов оценки параметра и графу «нет ответа» (если пациент не мог ответить на вопрос). Итоговая оценка получалась путем сложения баллов и расчетом пропорции к максимально возможной сумме с учетом количества ответов в графе «нет ответа». Итоговое значение лежало в пределах от 0 до 100 баллов, где максимальная

оценка соответствовала наилучшей функции, при пороговом уровне MDC — 5,7 балла [13]. Опрос для определения FFI проводился до лечения, через 1 (точка 1 исследования), 3 (точка 2 исследования), 6 (точка 3 исследования) и 12 мес. (точка 4 исследования) после лечения; оценку FAAM (ADL) во всех группах осуществляли до лечения, через 3 (точка 1), 6 (точка 2), 12 мес. (точка 3) после лечения.

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных данных проводилась с применением пакета прикладных программ MS Excel 2007, Statistica 10 и NCSS 2022. Описательная статистика в изучаемых группах выполнялась с использованием расчетов показателей медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q_1 ; Q_3]. При оценке достоверности различий в группах применялись U-критерий Манна–Уитни (в двух независимых группах) и критерий Вилкоксона (при оценке достоверности в динамике на разных точках исследования в одной и той же группе). Для оценки корреляционной связи между исследуемыми показателями использовался коэффициент корреляции Спирмена с вычислением предельно допустимой ошибки p . Пределом допустимой ошибки считался $p < 0,05$. Для построения математических моделей зависимости показателей УЗИ на больной стороне в точках исследования 2 и 3 от различных предикторов был использован метод построения уравнения линейной множественной регрессии в программе NCSS 2022.

Минимальный объем выборки для данного исследования рассчитывался по номограмме Альтмана с входными параметрами: среднеквадратичное отклонение (СКО), определяющее минимальное стандартизированное количественное различие. В пилотном исследовании $СКО = d/s$, где d — абсолютное значение минимального среднего различия, имеющего клиническую значимость, s — известное из пилотного исследования (динамика уменьшения толщины апоневроза за 6 мес. в группе с БРЧА); по признаку «толщина подошвенного апоневроза» $СКО = 1 \text{ мм} / 1,1 \text{ мм} = 0,90$. Таким образом, $СКО = 0,90$; уровень значимости $p < 0,05$; мощность исследования — 80%.

По номограмме Альтмана — минимальный объем выборки 12 человек в группе, всего 36 человек.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ближайшие и среднесрочные результаты лечения пациентов с подошвенной болью в области пятки, вызванной ППФ, были изучены и оценены у пациентов всех трех групп. Срок наблюдения во всех группах составил 12 мес.

Одним из наиболее объективных показателей течения восстановительных процессов структуры подошвенного апоневроза являлся полученный при УЗИ показатель его толщины в зоне прикрепления к пяточной кости. При сравнении показателей УЗИ на здоровых конечностях медиана толщины подошвенного апоневроза в первой группе составила 3,2 мм [2,80; 3,33], во второй — 3,25 мм [3,05; 3,40], в третьей — 3,4 мм [3,175; 3,800], что не имело статистически значимых различий (между 1-й и 2-й группами ($p = 0,817$); 1-й и 3-й группами ($p = 1,000$); 2-й и 3-й группами ($p = 0,150$). Это позволило сделать вывод об исходной однородности исследуемых групп.

Изменения толщины подошвенного апоневроза стопы у пациентов с подошвенно-пяточной болью (ППБ) в процессе лечения приведены в таблице 1.

Согласно полученным данным, во всех исследуемых группах в точке 1 исследования толщина подошвенного апоневроза стопы с болью статистически значимо отличалась от толщины апоневроза контралатеральной стопы (для всех трех групп $p < 0,001$), но не имела статистически значимого межгруппового различия ($p > 0,05$).

Внутригрупповые показатели толщины подошвенного апоневроза имели разнородную положительную динамику. В 1-й и 2-й группах значимые уменьшения толщины апоневроза были достигнуты к 6 мес. (в 1-й группе: точки исследования 1 и 2: $p = 0,358$; точки исследования 2 и 3: $p = 0,645$; точки исследования 1 и 3: $p = 0,035$; во 2-й группе: точки исследования 1 и 2: $p = 0,193$; точки 2 и 3: $p = 0,254$; точки исследования 1 и 3: $p = 0,012$). В 3-й группе статистически значимое улучшение было зафиксировано через 3 мес. (точки исследования 1 и 2: $p = 0,085$; точки 2 и 3: $p = 0,035$; точки 1 и 3: $p = 0,002$).

Таблица 1

Толщина измененного подошвенного апоневроза в зоне прикрепления к пяточной кости, мм (Me [Q_1 ; Q_3])

Точка исследования	1-я группа	2-я группа	3-я группа
1 (до лечения)	6,300 [5,675; 6,650]	6,750 [6,225; 6,925]	7,050 [6,575; 7,700]
2 (через 3 мес.)	5,350 [5,175; 6,125]	5,650 [5,250; 6,000]	5,400 [4,975; 6,025]
3 (через 6 мес.)	4,950 [4,425; 5,950]	4,500 [4,125; 4,750]	3,800 [3,600; 4,125]

Медианы показателей толщины подошвенного апоневроза стопы с болью до начала лечения не имели статистически значимой разницы между 1-й и 2-й, 2-й и 3-й группами (1-я и 2-я группа — $p = 0,260$; 2-я и 3-я группы — $p = 1,000$). Однако между 1-й и 3-й группами такая разница была выявлена ($p = 0,010$), что объяснялось более длительным, упорным и резистентным к лечению течением патологического процесса в основной группе. В точке 2 исследования между 1-й и 2-й группами ($p = 0,839$), 1-й и 3-й группами ($p = 0,583$), а также между 2-й и 3-й группами ($p = 0,686$) пациентов не было найдено существенных различий. Иная

картина была зафиксирована в точке 3 исследования: значимых различий между 1-й и 2-й группой ($p = 0,126$), а также между 2-й и 3-й группой ($p = 1,000$) пациентов не было найдено, и только между 1-й и 3-й группами эти показатели были значимо различны ($p = 0,001$).

Наиболее низкие итоговые абсолютные показатели толщины подошвенного апоневроза были достигнуты у пациентов 3-й группы, при том что именно в этой группе было зафиксировано самое высокое исходное значение исследуемого показателя (рис. 1).

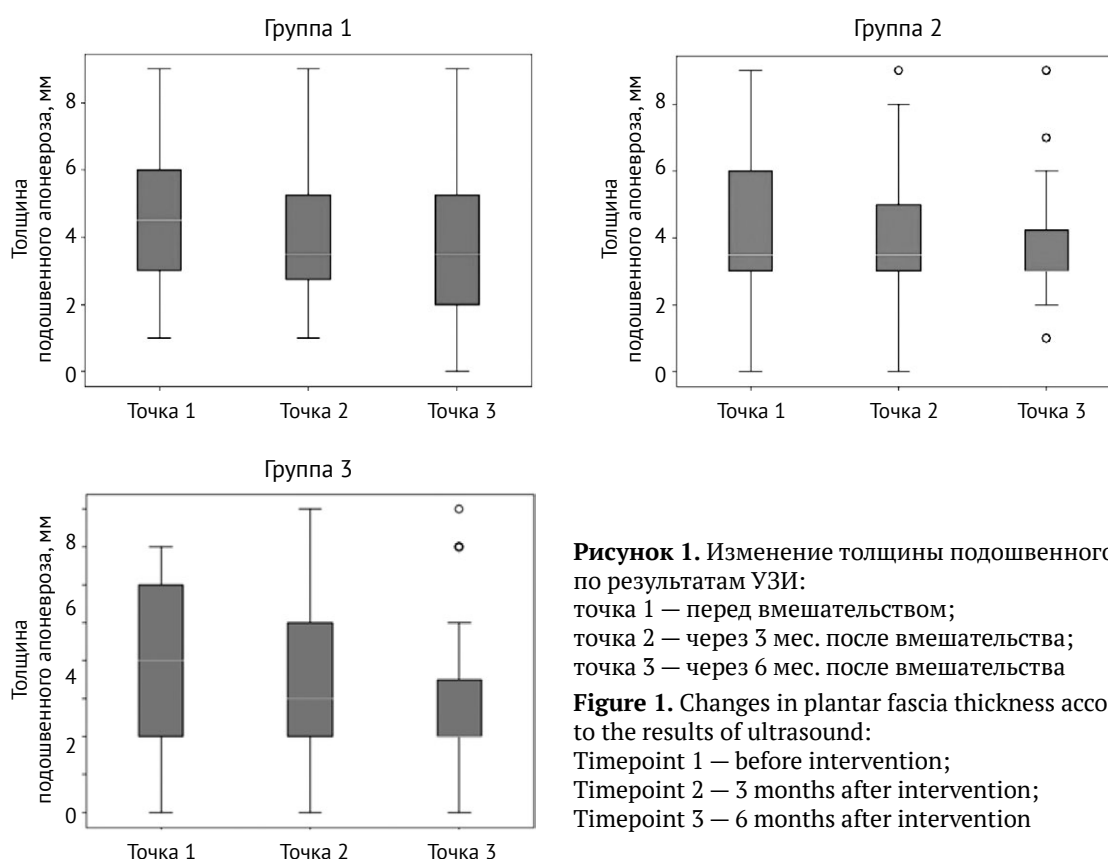


Рисунок 1. Изменение толщины подошвенного апоневроза по результатам УЗИ:

точка 1 — перед вмешательством;
точка 2 — через 3 мес. после вмешательства;
точка 3 — через 6 мес. после вмешательства

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

Для верификации полученных данных были построены две математические модели зависимости показателей УЗИ на больной ноге в точках 2 и 3 исследования от показателей УЗИ на здоровой стороне; от показателей УЗИ на больной стороне в предыдущей точке исследования и от вида лечения.

Для этого был рассчитан коэффициент корреляции Спирмена:

– в точке 2 показатель УЗИ имеет среднюю силу связь с показателем УЗИ на здоровой стороне ($T = 0,71$; $p < 0,05$) и среднюю силу связь с показателем УЗИ на больной стороне в точке 1 исследования (исходно) ($T = 0,74$; $p < 0,05$);

– в точке 3 показатель УЗИ имеет слабую прямую связь с показателем УЗИ на здоровой стороне ($T = 0,38$; $p < 0,05$), слабую связь с показателем УЗИ на больной стороне в точке 1 ($T = 0,31$; $p < 0,05$) и среднюю силу прямую связь с показателем УЗИ в точке 2 ($T = 0,82$; $p < 0,05$).

Была создана математическая модель зависимости показателей УЗИ на больной ноге в точке 2 исследования от: 1) показателей УЗИ на здоровой стороне; 2) показателей УЗИ на больной стороне в точке 1 — исходно; 3) от вида лечения.

Параметры математической модели рассчитаны в программе NCSS 2022. Использовано уравнение линейной множественной регрессии.

Уравнение математической модели в точке 2 исследования выглядело следующим образом:

$$R = -0,005 + 0,262B + 0,772C + D,$$

где R — показатель УЗИ в точке 2 исследования, B — показатель УЗИ на здоровой стороне, C — показатель УЗИ на больной стороне в точке 1, D = 0 в контрольной группе, D = -0,286 в группе сравнения, D = -0,945 в основной группе.

Аналогичное уравнение для точки 3 исследования:

$$N = -0,381 + 0,980E + D,$$

где E — показатель УЗИ на больной стороне в точке 2 исследования, D = 0 в контрольной группе, D = -0,652 в группе сравнения, D = -1,090 в основной группе.

Из уравнения видно, что при прочих равных условиях в точке 2 в группе сравнения по сравнению с контрольной группой показатель УЗИ будет меньше исходного на 0,29 мм, в основной группе — соответственно на 0,96 мм; в точке 3 исследования в группе сравнения по сравнению с контрольной группой показатель УЗИ в точке 2 будет меньше исходного на 0,65 мм, в основной группе — на 1,1 мм.

Сравнительные результаты оценки болевого синдрома (FFI), функции и повседневной активности, пациентов с заболеваниями стопы и голеностопного сустава (FAAM (ADL)) во всех группах представлены в таблице 2.

При сравнении показателей FFI (субшкала боли) и FAAM (ADL) между группами до начала лечения статистически значимой разницы не было, что согласовалось с гипотезой о сопоставимости групп.

Таблица 2

Сравнительный анализ медиан показателей повседневной активности

Показатель		Группа (Ме)			Критерий Манна–Уитни (p)		
		1	2	3	1	2	3
FFI	Исходно	68,0	67,5	70,0	0,120	0,100	0,661
	1 мес.	31,0	19,0	17,5	0,008	0,007	0,036
	3 мес.	35,0	12,0	4,5	0,004	0,000	0,000
	6 мес.	41,0	5,0	0,0	0,002	0,000	0,000
	12 мес.	60,5	0,0	0,0	0,003	0,003	1,000
FAAM (ADL)	Исходно	49,0	46,5	47,5	0,305	0,579	0,923
	3 мес.	67,0	85,0	90,5	0,006	0,003	0,042
	6 мес.	66,0	94,5	99,5	0,055	< 0,001	0,002
	12 мес.	57,0	100,0	100,0	0,003	0,003	1,000

Эмпирическое значение критерия Манна–Уитни и предельной ошибки p при 1 — сравнении показателей 1-й и 2-й групп исследования; при 2 — сравнении показателей 1-й и 3-й групп исследования; при 3 — сравнении показателей 2-й и 3-й групп исследования.

При межгрупповом анализе показателей FFI (субшкала боли) в точке исследования 1 результаты в группе 3 показали статистически значимое преимущество по сравнению с группами 1 и 2. В точке исследования 2 (через 3 мес. после начала лечения) результаты в группе 3 также показали статистически значимое преимущество по сравнению с группами 1 и 2. В точке исследования 3 (через 6 мес. после начала лечения) показатели боли в группе 3 по-прежнему демонстрировали статистически лучшие результаты по сравнению с группами 1 и 2. В точке исследования 4 (через 12 мес. после начала лечения) группы 2 и 3 показали одинаковые результаты ($p = 1,0$) и статистически значимое преимущество по сравнению с группой 1 ($p = 0,003$ для групп 2 и 3).

При межгрупповом анализе показателей FAAM (ADL) в точке исследования 1 (через 3 мес. после на-

чала лечения) результаты в группе 3 показали статистически значимое преимущество по сравнению с группами 1 и 2 (с группой 1: $p = 0,003$; с группой 2: $p = 0,042$). В точке исследования 2 (через 6 мес. после начала лечения) результаты в группе 3 также показали статистически значимое преимущество по сравнению с группами 1 и 2 (с группой 1: $p = 0,001$; с группой 2: $p = 0,002$). В точке исследования 3 (через 12 мес. после начала лечения) группы 2 и 3 показали одинаковые результаты ($p = 1,0$) и статистически значимое преимущество по сравнению с группой 1 ($p = 0,002$ для групп 2 и 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Подошвенная пяточная боль — это распространенная проблема, которая и на сегодняшний день остается актуальной и во многом спорной. В связи со сложным анатомическим строением пятки

и стопы в целом этиология боли, а также связанные с этим дисфункции и изменения биомеханики стоп могут быть вызваны различными факторами [14]. Традиционно выделяют три основные группы причин подошвенной боли: механические — обусловленные патологией проксимальной, средней или дистальной части подошвенного апоневроза, его разрывами и усталостными переломами пяточной кости; ревматологические — развитие локального болевого синдрома при анкилозирующем спондилите, синдроме Рейтера или иной серонегативной спондилоартропатии; неврологические — возникающие при радикулопатии L5-S1 или сдавлении первой ветви латерального подошвенного нерва (нерва Бакстера) [15].

Предметом проведенного исследования стала ППБ, вызванная патологией проксимального отдела подошвенного апоневроза, возникающая, согласно концепции J. Perry, из-за перенапряжения подошвенной фасции при отрыве пятки и переносе веса тела на передний отдел стопы во время ходьбы. По его мнению, из-за низкой эластичности сила растяжения апоневроза воздействует в основном на бугор пяточной кости во время отталкивающей фазы и возрастает при сгибании в плюснефаланговых суставах. Кроме того, икроножно-камбаловидный комплекс дополнительно концентрирует напряжение в области апоневроза, чем значительно усиливает нагрузочный эффект [16]. Морфологические изменения в структуре проксимального отдела подошвенного апоневроза, причиной которых является цикл тендиноза, развивающийся вследствие хронической перегрузки стопы, заключается в снижении продукции или прогрессирующей дегенерации коллагена, гибели теноцитов и дегенерации матрикса, что, в свою очередь, дополнительно повышает чувствительность апоневроза к травме [17].

Хронизация болевого синдрома и безуспешность использования традиционного протокола консервативных мероприятий, включающего функциональные методы растяжки и укрепления разгибательного аппарата стопы, использование ортопедической поддержки, противовоспалительную терапию, варианты локальной инъекционной, клеточной терапии, физических и радиационных методов воздействия заставляет обратить внимание на более инвазивные методы терапии. В то же время использование методик экстракорпорального ударно-волнового воздействия, великолепно зарекомендовавших себя при лечении заболевания в фазе обострения, продолжает быть актуальным в случае рецидива ППБ и при отказе пациента от оперативного вмешательства.

По данным M. Thiel, УВТ является патогенетически обоснованным воздействием, поскольку способно оптимизировать репаративные процес-

сы посредством микроразрушения бессосудистых или минимально сосудистых тканей, что, в свою очередь, приводит к высвобождению местных факторов роста, стимуляции ревакуляризации и в итоге к более эффективной реорганизации тканей [18]. В ряде мультицентровых исследований эффективности использования низкоэнергетической УВТ для лечения хронической пяточной боли представлено до 86% хороших результатов [19, 20]. D.S. Hammer с соавторами продемонстрировали аналогичные данные — из 49 обследованных пациентов с пяточной болью 80% имели полное или почти полное облегчение после трех еженедельных сеансов УВТ [21]. M.I. Ibrahim с соавторами сообщают, что при двухлетнем наблюдении все пациенты отмечали снижение боли на 90% по сравнению с начальным уровнем [22]. C. Schmitz с соавторами по результатам выполненного систематического обзора рекомендовали всем пациентам в возрасте 18 лет и старше с ППБ перед хирургическим вмешательством провести курс УВТ [23]. Однако H. Gollwitzer с соавторами считают, что эффективность УВТ по-прежнему неоднозначна, а процедура не гарантирует клинического улучшения при хронизации ППБ [24]. В серии опубликованных исследований также сообщалось об очень неоднородных результатах лечения с использованием высокоэнергетической УВТ, колеблющихся от 56 до 94% успешных случаев [25].

Выводы о сравнительно низкой эффективности УВТ при хронизации патологического процесса представлены в работе T. Erden с соавторами [26]. Сонографические и функциональные результаты проведенного нами исследования подтвердили более низкую эффективность УВТ при лечении ППБ, обусловленной ППФ. При статистической идентичности абсолютных показателей толщины подошвенного апоневроза больной конечности во всех группах в начале лечения по данным УЗИ, превышающей аналогичные величины контралатеральных конечностей в 1,7–2,1 раза, толщина подошвенного апоневроза при использовании УВТ к 3-му мес. исследования возрастала и только к 6-му мес. после окончания лечения снижалась на 6,6%, значительно превосходя значение толщины интактного апоневроза, что косвенно свидетельствовало о продолжающемся дегенеративном процессе.

Рецидивирующий характер течения заболевания также подтверждали данные анализа выраженности болевого синдрома по шкале FFI. При использовании УВТ было выявлено более чем двукратное снижение ППБ в течение первого месяца после выполнения процедур, однако в дальнейшем через 3 и 6 мес. обнаружился рост, а к 12-му мес. наблюдений этот показатель практически вернулся к исходным величинам, сниж-

жившись только на 11%. Данные исследования функциональных возможностей стопы при повседневной двигательной активности и при выполнении разных видов работы продемонстрировали одинаковую динамику: рост на 25,5 и 29,0% в течение первого месяца, стабилизация на этом уровне в последующие 6 мес. и постепенное снижение с 6-го по 12-й мес. с итоговым превышением исходных показателей на 18,0 и 21,0%, что указывало на почти полную утрату достигнутого лечебного эффекта. В целом полученные нами результаты свидетельствовали о низкой эффективности УВТ при лечении пациентов с хроническим течением ППФ.

Биполярная радиочастотная абляция иначе влияет на регенераторные процессы в подошвенном апоневрозе. Основой быстрого купирования боли сразу после воздействия является первичная денервация, а в дальнейшем — развивающиеся процессы регенерации (стимуляция ангиогенеза в бессосудистой фиброзной фасции путем повышения секреции факторов роста фибробластов и сосудистого эндотелиального фактора роста). При этом радиочастотное воздействие не оказывает значимого влияния на механическую прочность апоневроза, не вызывает серьезных осложнений и показывает хорошие ранние результаты в лечении ППБ [27]. F. Yurici с соавторами однозначно рекомендовали в случае неэффективности УВТ перейти к другим методам лечения, предпочтительным из которых является БРЧА [28].

В опубликованном в 2023 г. исследовании N.P. Tas и O. Kaуа сравнивали результаты лечения 79 пациентов, которым выполняли процедуры БРЧА, и 80 пациентов с воздействием УВТ на апоневроз. Авторы отметили, что обе процедуры значительно уменьшили боль, нетрудоспособность и ограничение активности. УВТ оказалась особенно эффективной в раннем снижении ППБ, в то время как БРЧА продемонстрировала более выраженное воздействие на снижение трудоспособности и ограничение активности [29].

В нашем исследовании также были выявлены лучшие результаты лечения при применении БРЧА в сравнении с УВТ. При анализе УЗ-картины тыльно-подошвенных размеров проксимального отдела апоневроза была выявлена существенная положительная динамика уже к концу 3-го мес. после воздействия, а через 6 мес. толщина апоневроза уменьшилась по сравнению с исходной на треть, статистически значительно превосходя аналогичные показатели при использовании УВТ. Однако в отличие от результатов приведенной выше работы, применение БРЧА в нашем исследовании вызвало значительное снижение индекса FFI уже в 1-й мес. лечения, сохраняя положительный эффект на всех сроках наблюдения

с существенным купированием ППБ к 6-му мес., что резко контрастировало с результатами применения УВТ. Также в первые 3 мес. наблюдения сохранялись лишь незначительные ограничения функции стопы и голеностопного сустава при ходьбе и выполнении разного рода работ, позволившие пациентам восстановить двигательную активность и работоспособность. С 6-го по 12-й мес. наблюдения функциональные результаты стали максимально приближенными к функции здоровой конечности и полностью устраивали всех участвующих в исследовании.

Альтернативными БРЧА методами лечения, приводящими к снижению болевого синдрома и улучшению биомеханики стопы, считаются операции, основанные на концепции удлинения подошвенного апоневроза с целью уменьшения его напряжения [30]. Эндоскопическое удлинение подошвенного апоневроза считается безопасной и эффективной альтернативой, однако его существенным недостатком являются плохая визуализация и высокий риск непреднамеренного чрезмерного пересечения [31]. A.M. Brugh с соавторами показали, что, независимо от выбора хирургического метода, пересечение более 50% подошвенного апоневроза уменьшает его поддерживающую функцию и приводит к болевой перегрузке в области тыла и наружного отдела стопы — развитию так называемого синдрома латеральной колонны [32].

Ближайшие и отдаленные результаты открытого релиза и чрескожной БРЧА представлены в работе Y. Yuan с соавторами. По их данным, оба типа хирургических вмешательств имели одинаковые долгосрочные лечебные эффекты при среднем сроке наблюдения 58,77 мес., но авторы отметили, что чрескожная БРЧА была лучшим методом с точки зрения сокращения времени операции и неосложненного течения послеоперационного периода. Также у группы пациентов с чрескожной БРЧА было более коротким время восстановления нормальной двигательной активности по сравнению с открытым удлинением подошвенного апоневроза [33].

На наш взгляд, следует учитывать, что эффект от хирургического удлинения может быть также обусловлен вынужденным периодом покоя, продиктованным послеоперационным протоколом. В то же время только уменьшение натяжения апоневроза, без стимуляции регенерации коллагена, вероятнее всего, создает условия для более длительного течения процесса и социализации пациентов. Учитывая это, концепция совмещения микроперфораций с краевыми микротенотомиями, выполненными биполярным игольчатым РЧ-электродом, позволяет: во-первых, рассчитывать на более быстрый анальгетический эффект

от денервации патологических нервных окончаний; во-вторых, больше удлинить подошвенный апоневроз, а следовательно, в большей степени уменьшить его натяжение; в-третьих, потенцировать регенерацию и, как следствие, обеспечить более полное и раннее восстановление функции конечности.

Общедоступным методом диагностики и объективизации результата лечения пациентов с ППФ большинством авторов признается УЗИ с анализом показателей толщины, эхоструктуры и экзогенности подошвенного апоневроза [34]. Результаты выполненного нами исследования подтвердили это предположение. Сонографические данные толщины апоневроза в основной группе при высоких исходных показателях показали лучшую динамику с полной нормализацией размеров апоневроза к 6-му мес. лечения. Также только в основной группе пациентов величина толщины подошвенного апоневроза больной конечности стала не просто наиболее близка к значениям толщины подошвенного апоневроза интактной конечности, но и не имела с ней статистически значимой разницы ($p = 1,0$). В то же время наиболее показательной из широкого спектра субъективных методов контроля эффективности воздействия традиционно становится оценка уровня снижения болевого синдрома и восстановления функциональных возможностей стопы и голеностопного сустава [35]. По данным субшкалы боли FFI, только у пациентов основной группы уже к 3-му мес. этот показатель менее чем в два раза превышал уровень минимально обнаруживаемого изменения (MDC), в отличие от пациентов группы сравнения (почти восьмикратное превышение MDC) и группы контроля (превышение MDC в 12,8 раза). Полное купирование болевого синдрома было достигнуто в первые 6 мес. наблюдения — раньше, чем у пациентов

других сравниваемых групп. Достаточное восстановление функции стопы и повседневной активности, по нашему мнению, было достигнуто уже к 3-му мес. наблюдения (клинически незначимое превышение MDC FAAM (ADL) в 1,54 раза).

Ограничения исследования

Ограничением выполненного нами исследования является небольшое количество наблюдений, что объясняется строгими критериями включения и невключения, а также ограничение времени наблюдения за пациентами 12 мес. Необходимо дальнейшее изучение отдаленных результатов предложенного варианта лечения в пятилетний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами метод модифицированной мини-инвазивной биполярной радиочастотной абляции при лечении пациентов с трудноизлечимой проксимальной подошвенной фасциопатией показал лучшие итоговые результаты лечения в виде полного купирования подошвенно-пяточной боли и восстановления функциональных возможностей стопы в более ранние сроки в сравнении со стандартной методикой биполярной радиочастотной абляции и курсом ударно-волновой терапии. Применение модифицированной биполярной радиочастотной абляции позволило разорвать дегенеративный цикл тендинопатии благодаря этиопатогенетическому подходу, при котором удалось объединить уменьшение натяжения подошвенного апоневроза с денервацией и активизацией регенерации коллагена. Полученные результаты выглядят обнадеживающими и метод может рассматриваться в качестве приоритетного варианта воздействия в случаях, когда в течение 6 мес. все варианты консервативной терапии оказались неэффективными.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Силантьев В.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Дзюба Г.Г. — научное руководство, написание и редактирование текста рукописи.

Катина М.М. — сбор, анализ и интерпретация данных, 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.

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.

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

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, протокол № 9 от 13.09.2024.

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of 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.

ЛИТЕРАТУРА [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>.
- Орлова Е.В., Сурнов А.В., Каратеев Д.Е., Амирджанова В.Н. Валидация русскоязычной версии опросника Foot Functional Index (FFI). *Современная ревматология.* 2016;10(3):47-51. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2016-3-47-51>.
- 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>.
- Луценко А.М., Керимова Л.Г., Призов А.П., Ананьин Д.А., Лазко Ф.Л. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии оценочной системы Foot and Ankle Ability Measures (FAAM-Ru). *Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал им. акад. Б.В. Петровского.* 2024;12(1):135-140. <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2024-12-1-135-140>.
- 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>.
- 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>.
- 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. Середа А.П., Мойсов А.А., Сметанин С.М. Плантарный фасциит. Диагностика и лечение. *Сибирский научный медицинский журнал (Иркутск).* 2016;143(4):5-9. 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>.

Сведения об авторах

✉ Силантьев Вадим Николаевич

Адрес: Россия, 644099, г. Омск, ул. Ленина, д. 12

<https://orcid.org/0000-0003-4488-949X>

e-mail: silantjev@yandex.ru

Дзюба Герман Григорьевич — д-р мед. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4292-213X>

e-mail: germanort@mail.ru

Катина Мария Михайловна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-0035-9131>

e-mail: mmkatina@yandex.ru

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, MOxFAQ). 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 MOxFAQ 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 MOxFAQ, 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 MOxFAQ 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 MOxFAQ. 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 MOxFAQ 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 (MOxFAQ) 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 голеностопного сустава ($n = 4$).

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).

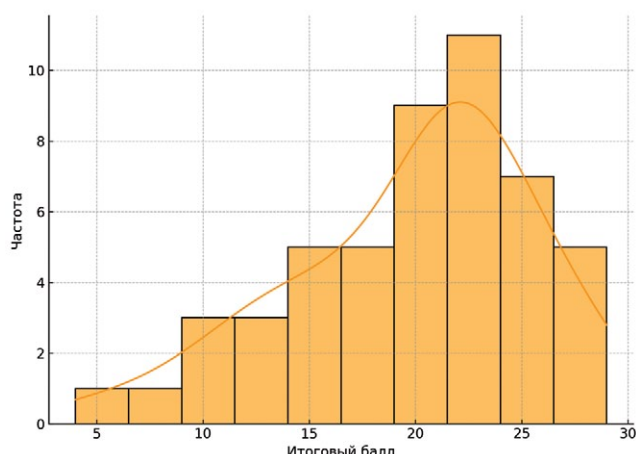
**Рисунок 1.** Гистограмма распределения итогового балла МОxFQ ($n = 50$)

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).

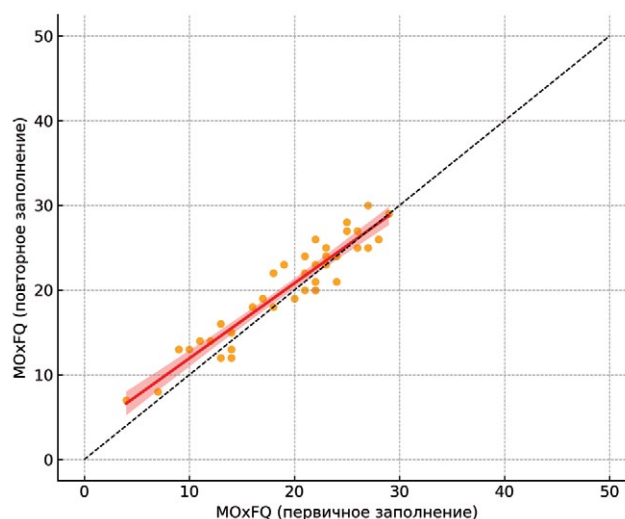
**Рисунок 2.** Диаграмма рассеяния между первичным и повторным заполнением шкалы МОxFQ — итоговые баллы ($n = 38$): каждая точка представляет индивидуального пациента; красная линия — линейная регрессия; пунктирная диагональ соответствует идеальному совпадению результатов ($y = x$)

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

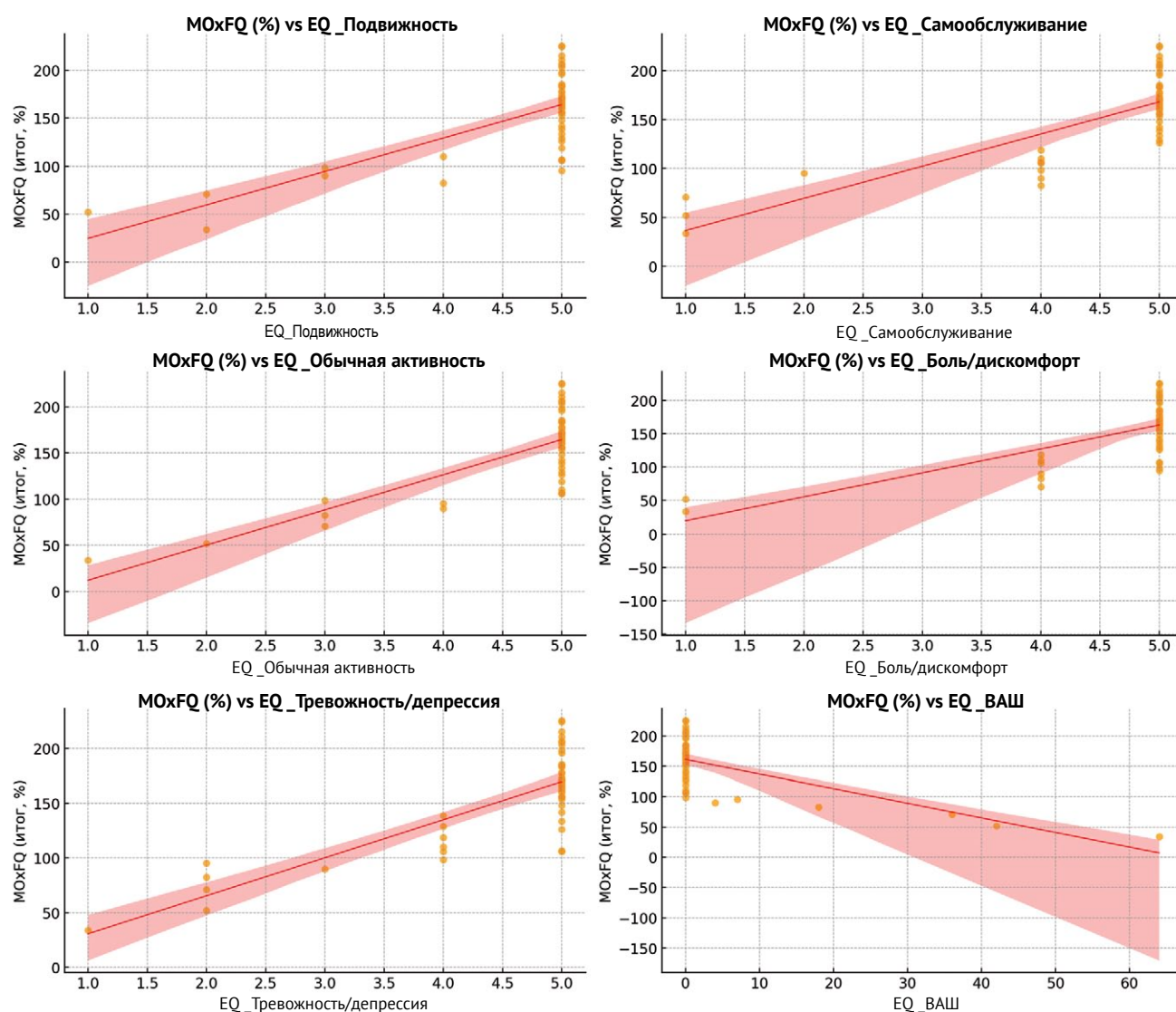


Рисунок 3. Диаграммы корреляций между итоговым баллом МОхFQ (%) и доменами шкалы EQ-5D-5L

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

Научная статья

УДК 617.587-007.56-089.22-06

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17720>

Психологические последствия чрескожной хирургической коррекции *hallux valgus*

Л. Бонди¹, К. Оттонелло², П. Джулиани³, Р. Бонди⁴, Л. Джулиани⁵¹ Tor Vergata University of Rome, г. Рим, Италия² Fisiocard Medical Center, г. Рим, Италия³ Poliambulatorio Montezemolo of Rome, г. Рим, Италия⁴ San Giovanni Addolorata Hospital, г. Рим, Италия⁵ 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.

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

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

Этическая экспертиза. 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 $p < 0,05$.

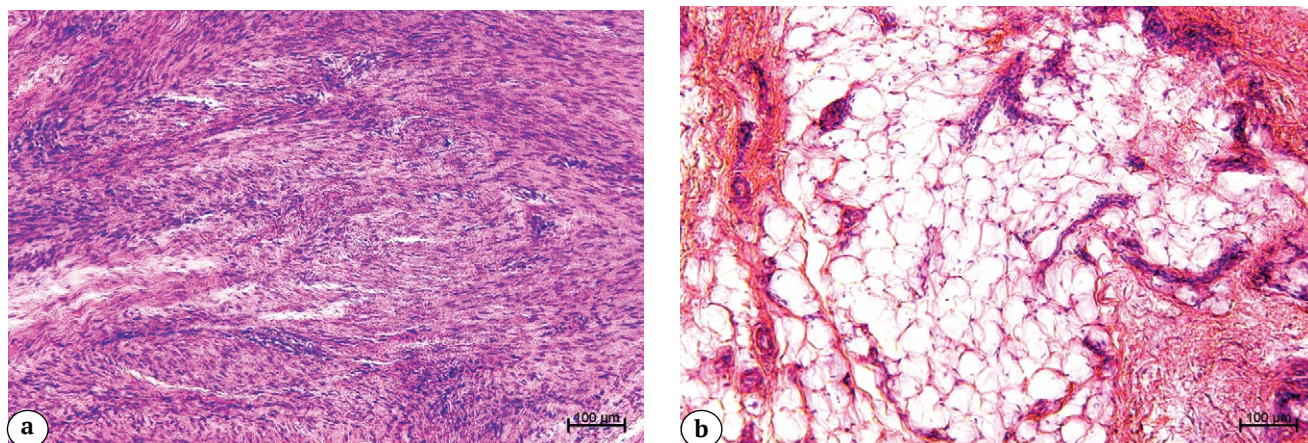


Рисунок 1. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 1:

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 $\times 100$

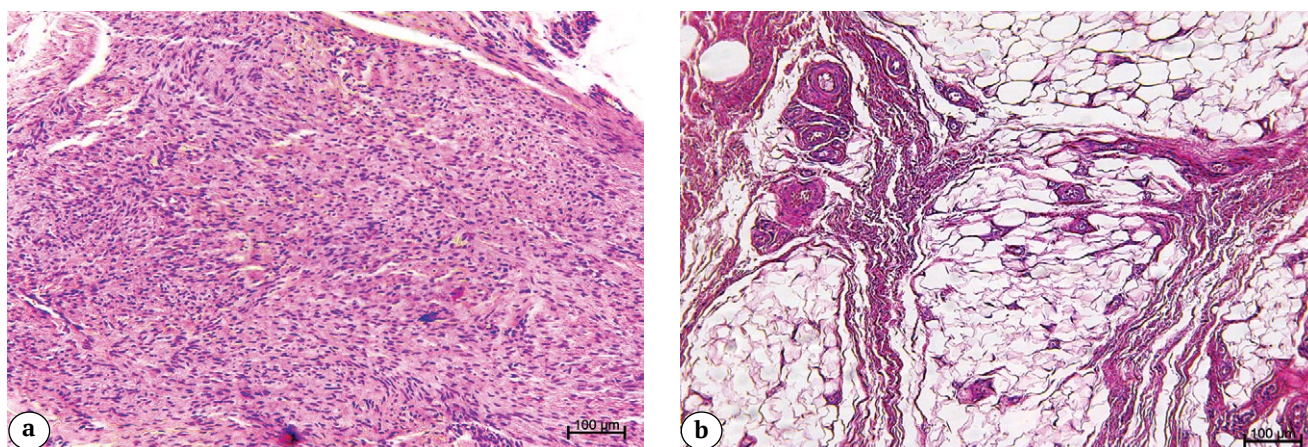


Рисунок 2. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 2:

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.

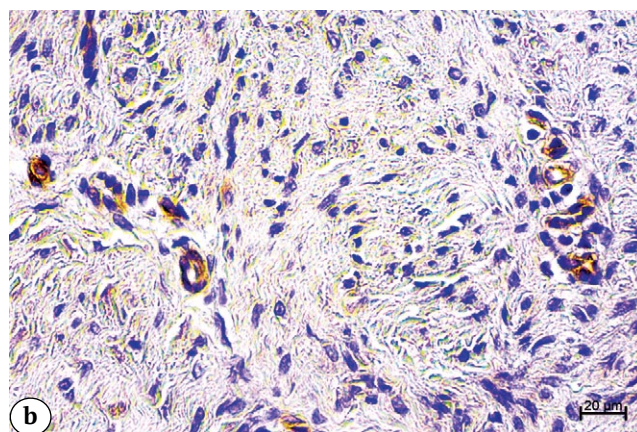
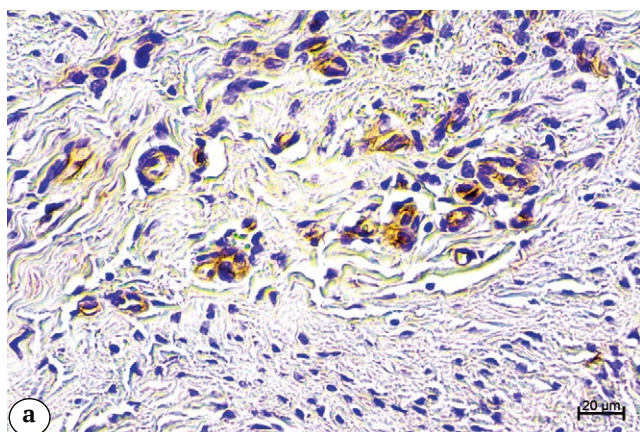


Рисунок 3. Парафиновые срезы операционного материала пациента из группы 1 (а) и пациента из группы 2 (б). Экспрессия маркера CD34 в эндотелии сосудов микроциркуляторного русла в гиперпластической соединительной ткани. Иммуногистохимическая реакция с антителами к CD34, докраска гематоксилином. Увеличение $\times 400$

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 $\times 400$

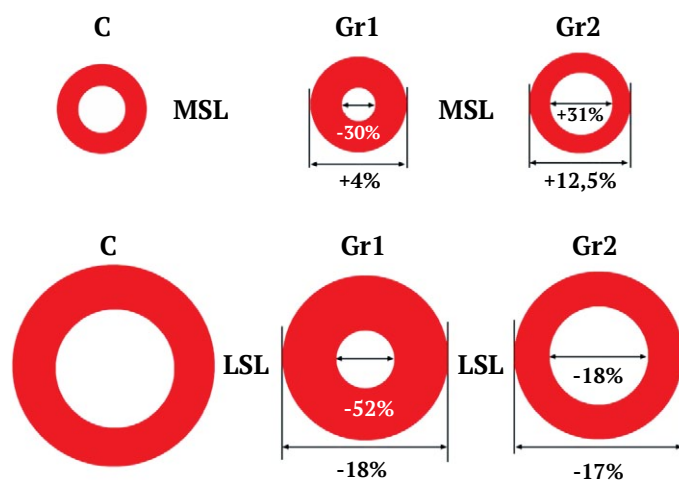


Рисунок 4. Условное масштабирование соотношений морфометрических параметров перфорантных артерий ладонного апоневроза у пациентов с контрактурой Дюпюитрена с контролем:

C — 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.0000000000009919>.
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).

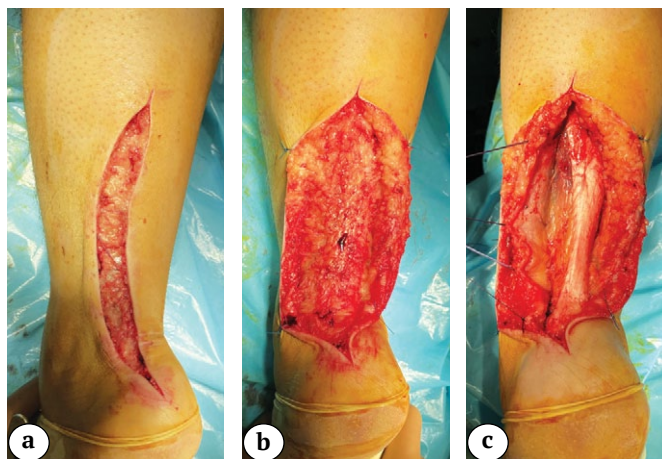


Рисунок 1. Выкраивание кожного и фасциально-жирового лоскутов:
а — дугообразный разрез кожи;
б — формирование кожного лоскута с основанием, обращенным медиально;
с — формирование фасциального лоскута с основанием, обращенным латерально

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]

1. 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>.
2. 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>.
3. 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>.
4. 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>.
5. 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>.
6. 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>.
7. 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>.
8. 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>.
9. 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.

10. 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>.
11. 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>.
12. 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>.
13. 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>.
14. 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.
15. 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>.
16. 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>.
17. 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 экономической 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

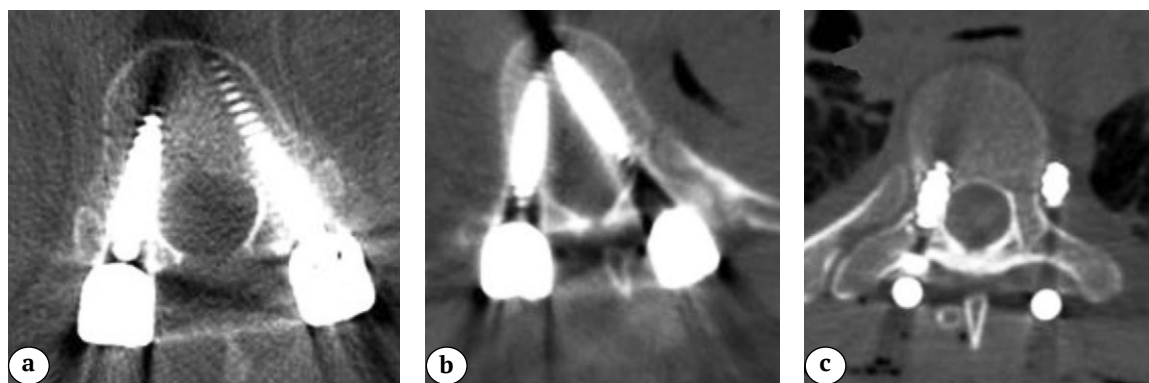


Figure 1. Postoperative CT scans assessing the accuracy of pedicle screw placement of:
 a — a 35-year-old female with L1 fracture post-fixation with T12, showing screws within the pedicle;
 b — a 43-year-old male with T12 fracture post-fixation with T10, showing a medial breach;
 c — a 41-year-old female 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.

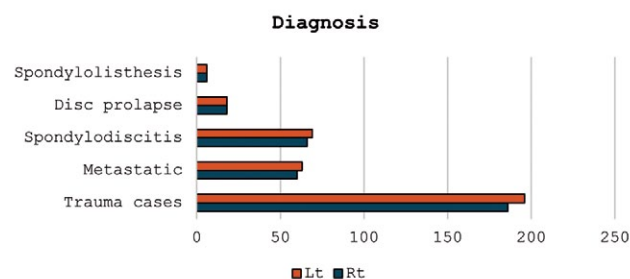


Figure 2. Number of screws in each pathology

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).

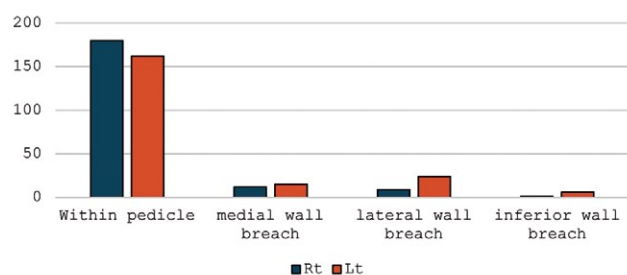


Figure 3. Position of screws in the thoracic spine

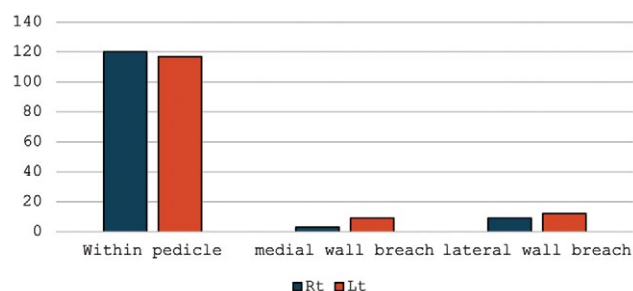


Figure 4. Position of screws in the lumbar spine

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 фиксации при помощи костного цемента. Чтобы выполнить фиксацию при помощи оригинального механизма, необходимо наличие подходящего вкладыша и неповрежденной системы крепления. М.]. 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 остеолиза 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 остеолиза [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 остеолиза 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