

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



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY
AND ORTHOPEDICS
OF RUSSIA

2025 • Т. 31 • № 4

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 31, No 4, 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 – CC BY-NC-ND 4.0.

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. Baindurashvili – 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)
Alexey O. Denisov – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology
and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Vadim E. Dubrov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)
Aleksander K. Dulaev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Pavlov University, St. Petersburg, Russia)
Georgiy S. Golubev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Rostov State Medical University,
Rostov-on-Don, Russia)
Luigi Zagra – MD, Professor (Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)
Nikolai N. Kornilov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Andrey V. Korolev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Olymp Clinic MARS, Moscow, Russia)
Andrey A. Korytkin – Cand. Sci. (Med.) (Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology
and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
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, Corresponding Member of the RAS
(Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)
Robert Hube – MD, Professor (OCM Klinik, Munich, Germany)

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



Травматология и ортопедия России

Том 31, Выпуск 4, 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@niiito.org
https://journal.niiito.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 – CC BY-NC-ND 4.0.

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: 28.11.2025.
Выпуск в свет: 12.12.2025.
Формат 60×84¹/₈. Объем 23,5 печ. л.
Заказ № 25НФ-116307.
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

Тихонов Рашид Муртузалиевич – д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. 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 (Санкт-Петербургский 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)
Денисов А.О. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Дубров В.Э. – д-р мед. наук, профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия)
Дулаев А.К. – д-р мед. наук, профессор (ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия)
Загра Л. – д-р медицины, профессор (Ортопедический институт Галеацци, Милан, Италия)
Корнилов Н.Н. – д-р мед. наук, 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)
Кудашев Д.С. – д-р мед. наук (Самарский ГМУ, Самара, Россия)
Кульджанов Д. – д-р медицины, профессор (Университетская клиника, Сент-Луис, США)
Маланин Д.А. – д-р мед. наук, профессор (Волгоградский ГМУ, Волгоград, Россия)
Мироманов А.М. – д-р мед. наук, профессор (Читинская ГМА, Чита, Россия)
Митрофанов В.Н. – канд. мед. наук (Приволжский исследовательский медицинский университет, Н. Новгород, Россия)
Мурылев В.Ю. – д-р мед. наук, профессор (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия)
Парвизи Дж. – д-р медицины, профессор (Институт Ротмана, Филадельфия, США)
Перка К. – д-р медицины, профессор (Центр скелетно-мышечной хирургии Университетской клиники Шарите, Берлин, Германия)
Рябых С.О. – д-р мед. наук (РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия)
Соломин Л.Н. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Томсен М. – д-р медицины, профессор (Клиника Миттельбаден, Баден-Баден, Германия)
Хоминец В.В. – д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН (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.niiito.org>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя и редакции, ссылка на журнал обязательна.



CONTENTS

CLINICAL STUDIES

- Kovalenko A.N., Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Shubnyakov I.I., Sankin A.V., Vasiukova A.S.**
Paprosky Type 3B Acetabular Defects: Uniform Pattern or Spectrum of Variants?5
- Tashtanov B.R., Pavlov V.V., Rajfeld M.A., Vasyukov V.N., Korytkin A.A.**
Early Diagnosis of Aseptic Loosening of Hip Prosthetic Components Using Acoustic Arthrometry15
- Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V.**
Staged Revision Knee Arthroplasty in Patients with Periprosthetic Joint Infection: When to Stop?.....28
- Lyubimova L.V., Mikishanina E.A., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Preobrazhenskaya E.V.**
Indices of Systemic Inflammation for Predicting Early Infections After Major Joint Arthroplasty41
- Kuftov V.S., Usikov V.D.**
Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Thoracic and Lumbar Spine Injuries: Analysis of Errors and Complications.....53
- Egiazaryan K.A., Ershov D.S., Tychina E.P., Mikhailov I.I., Kondyrev N.M.**
Four-Part Proximal Humerus Fractures Treated With Osteosynthesis and Reverse Shoulder Arthroplasty: Mid-Term Results66
- Balziano S., Ginesin E.**
Beyond Mechanism: Comparable Complication Rates in High- and Low-Energy Distal Femoral Fractures Suggest Complex Risk Interplay76
- Abdel Rahim M.H., Awad M., Morsi A., Elsaed A., Elabd M.A.**
Comparison Between Proximal Femoral Nail and Dynamic Hip Screw in Non-Displaced or Minimally Displaced Intertrochanteric Fractures of the Femur: A Prospective Study ...84
- Shafigulin R.A., Zvegintseva A.A., Akhtyamov I.F., Emelin A.L., Mirazimov E.B., Kharin N.V., Valiullina I.R.**
The Spectrum of Pathogens in Combat Wounds of the Limbs: Own Results and Retrospective Analysis92
- Shabaldin N.A., Kenis V.M., Kozhevnikov A.N., Kutikhin A.G., Shabaldin A.V.**
Cytokine Profile in the Synovial Fluid of Children with Legg-Calvé-Perthes Disease and Transient Synovitis of the Hip101

- Semenistaia M.Ch., Chongov B., Semenistyy A.A.**
Comparison of Conservative Treatment Outcomes for Adolescent Idiopathic Scoliosis in Swimmers and Rhythmic Gymnastics Athletes111
- Dokolin S.Yu., Ushkova O.G., Shershnev A.M., Kuzmina V.I.**
Correlation of Suprascapular Notch Morphology with Suprascapular Neuropathy and Rotator Cuff Tear Patterns: MRI Data120
- Bulut P.A., Ayyıldız A., İnceoğlu S.Ç., Yılmaz F., Şahinkaya T., Eren O.T., Kuran B.**
Comparison of Muscle Strength and Functional Status of Patients with Operated and Non-Operated Chronic Total Anterior Cruciate Ligament Injury130

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

- Sinegub A.V., Chupryaev V.A., Demchenko K.N., Voronin S.E., Eidelman K.V.**
Osseointegrated Exoprosthesis System: A Pilot Preclinical Study143

NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

- Zadneprovskiy N.N., Fain A.M., Ivanov P.A., Bogolyubsky Yu.A., Mansurov A.N.**
Nail-Plate Combination for the Treatment of Pubic Symphysis Disruption and Pubic Rami Fractures152

TRAUMA AND ORTHOPEDIC CARE

- Veber E.V., Vorontsova T.N., Bogopol'skaya A.S., Sereda A.P., Chililov A.M., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I.**
Automated Information Reporting System to Assess the Performance of Trauma and Orthopedics Services at the Regional Level: Analysis of the Capabilities163

REVIEWS

- Zaborovskii N.S., Shailieva Sh.L., Masevnnin S.V., Smekalenkov O.A., Murakhovsky V.S., Ptashnikov D.A.**
Subsidence of Vertebral Body Replacement Prostheses in Spinal Tumors: A Systematic Review179

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коваленко А.Н., Тихилов Р.М., Джавадов А.А., Шубняков И.И., Санкин А.В., Васюкова А.С. Дефекты вертлужной области типа 3В по Paprosky: типичная картина или разнообразие вариантов?	5
Таштанов Б.Р., Павлов В.В., Райфельд М.А., Васюков В.Н., Корыткин А.А. Ранняя диагностика асептического расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава методом акустической артрометрии	15
Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Этапное рендопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться?	28
Любимова Л.В., Микишанина Е.А., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Преображенская Е.В. Индексы системного воспаления в прогнозировании ранних инфекций после эндопротезирования крупных суставов	41
Куфтов В.С., Усиков В.Д. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений	53
Егизарян К.А., Ершов Д.С., Тычина Е.П., Михайлов И.И., Кондырев Н.М. Среднесрочные результаты остеосинтеза и эндопротезирования у пациентов с четырехфрагментарными переломами проксимального отдела плечевой кости	66
Бальзиано С., Джинезин Э. Только ли механизм травмы? Сопоставимая частота осложнений при высоко- и низкоэнергетических переломах дистального отдела бедренной кости как показатель сложной взаимосвязи факторов риска	76
Абдель Рахим М.Х., Авад М., Мурси А., Эльсаид А., Элабд М.А. Применение проксимального бедренного стержня и динамического бедренного винта в лечении чрезвертельных переломов бедренной кости без или с минимальным смещением: сравнительное проспективное исследование	84
Шафигулин Р.А., Звегинцева А.А., Ахтямов И.Ф., Емелин А.Л., Миразимов Э.Б., Харин Н.В., Валиуллина И.Р. Спектр возбудителей инфекции боевых ран конечностей: собственные результаты и ретроспективный анализ	92

Шабалдин Н.А., Кенис В.М., Кожевников А.Н., Кутихин А.Г., Шабалдин А.В. Цитокиновый профиль синовиальной жидкости детей с болезнью Легга – Кальве – Пертеса и транзиторным синовитом тазобедренного сустава	101
Семенистая М.Ч., Чонгов Б., Семенистый А.А. Сравнение результатов консервативного лечения юношеского идиопатического сколиоза у пловцов и спортсменов художественной гимнастики	111
Доколин С.Ю., Ушкова О.Г., Шершнев А.М., Кузьмина В.И. Корреляция анатомических особенностей вырезки лопатки с нейропатией надлопаточного нерва при повреждениях вращательной манжеты плеча: данные МР-диагностики	120
Булут П.А., Айылдыз А., Инджеоглу С.Ч., Йылмаз Ф., Шахинкая Т., Эрен О.Т., Куран Б. Сравнение мышечной силы и функционального состояния оперированных и неоперированных пациентов с полным разрывом передней крестообразной связки	130
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
Синегуб А.В., Чупряев В.А., Демченко К.Н., Воронин С.Е., Эйдельман К.В. Остеоинтегративная система экзопротезирования: пилотное доклиническое исследование	143
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ	
Заднепровский Н.Н., Файн А.М., Иванов П.А., Боголюбский Ю.А., Мансуров А.Н. Сопряженная фиксация разрыва симфиза и переломов лобковых костей системой «штифт – пластина»	152
ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ	
Вебер Е.В., Воронцова Т.Н., Богопольская А.С., Серeda А.П., Чилилов А.М., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. Анализ возможностей автоматизированной информационной системы сбора годовых отчетов для оценки результатов работы травматолого-ортопедической службы на региональном уровне	163
ОБЗОРЫ	
Заборовский Н.С., Шайлиева Ш.Л., Масевнин С.В., Смекалёнков О.А., Мураховский В.С., Пташников Д.А. Проседание протезов тел позвонков при опухолях позвоночника: систематический обзор литературы	179



Paprosky Type 3B Acetabular Defects: Uniform Pattern or Spectrum of Variants?

Anton N. Kovalenko¹, Rashid M. Tikhilov¹, Alisagib A. Dzhavadov¹, Igor I. Shubnyakov¹, Artem V. Sankin², Anastasiia S. Vasiukova¹

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

² Skandinavia Clinic, St. Petersburg, Russia

Abstract

The aims of the study — to identify variants and combinations of acetabular structural damage in patients with Paprosky type 3B defects based on the three-dimensional reconstructions of the pelvis, as well as to determine the degree of heterogeneity among these variants within type 3B defects and the dependence of the formation of different damage variants on various factors.

Methods. The study included 132 patients with Paprosky type 3B acetabular defects who underwent revision total hip arthroplasty. Based on the computer tomography data, three-dimensional reconstructions of the pelvis were created. Acetabular supporting structures were assessed. Each structure was evaluated according to three levels of integrity: anatomically preserved, partially preserved/lytic destruction, and complete loss of support/full defect. The heterogeneity of defect variants was assessed using the Shannon index. The association between identified defect variants and patient-related factors was evaluated using multivariate ordinal logistic regression with calculation of odds ratios for each factor.

Results. Five main variants of acetabular damage within Paprosky type 3B defects were identified. The most common variant was the combination of a complete medial wall defect and an anterior column defect. The normalized Shannon index was 0.91 (H/Hmax), suggesting that, for the five identified variants, the heterogeneity of type 3B defects approaches the maximum possible level. A prior periprosthetic joint infection increased the odds ratios of developing a defect pattern with more extensive involvement of load-bearing structures by nearly 2.5 times, while each additional revision procedure increased the risk by 65%.

Conclusions. At least five distinct variants of acetabular load-bearing element damage within Paprosky type 3B defects can be identified. Among the five identified variants, the diversity approaches its maximal possible level. Significant factors influencing the variant of defect were a history of periprosthetic joint infection and the number of previous revision operations. Mandatory three-dimensional visualization for extensive acetabular defects gives the surgeon a more informative picture of the lost and preserved supporting elements. Mandatory three-dimensional modeling in cases of extensive acetabular defects provides the surgeon with a more informative understanding of the lost and preserved load-bearing structures.

Keywords: revision total hip arthroplasty; acetabular defects; Paprosky classification; three-dimensional reconstruction; Shannon index.

Cite as: Kovalenko A.N., Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Shubnyakov I.I., Sankin A.V., Vasiukova A.S. Paprosky Type 3B Acetabular Defects: Uniform Pattern or Spectrum of Variants? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4): 5-14. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17736>.

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

Submitted: 29.06.2025. Accepted: 06.10.2025. Published online: 23.10.2025.

© Eco-Vector, 2025



Дефекты вертлужной области типа 3В по Paprosky: типичная картина или разнообразие вариантов?

А.Н. Коваленко¹, Р.М. Тихилов¹, А.А. Джавадов¹, И.И. Шубняков¹,
А.В. Санкин², А.С. Васюкова¹

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

² Клиника «Скандинавия», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Цели исследования — выделение вариантов повреждений анатомических структур вертлужной впадины и их комбинаций у пациентов с 3В типом дефектов по классификации Paprosky на основании данных трехмерной реконструкции таза, определение степени разнородности вариантов повреждений при дефектах типа 3В и зависимости формирования вариантов повреждений от различных факторов.

Материал и методы. В исследование были включены 132 пациента с дефектами вертлужной области типа 3В, которым было выполнено ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава. На основании компьютерной томографии выполнялась трехмерная реконструкция таза. Оценивалась сохранность опорных структур вертлужной области. Структуры вертлужной области оценивались по трем степеням целостности: анатомическая сохранность, частичная сохранность/литическое разрушение и полное отсутствие опорности/полный дефект. Анализ разнородности вариантов повреждений проводился с использованием индекса Шеннона. Взаимосвязь вариантов повреждений с различными факторами определялась при помощи многофакторной порядковой логистической регрессии с расчетом отношения шансов для каждого фактора.

Результаты. Были выделены пять основных вариантов повреждений вертлужной области типа 3В по классификации Paprosky. Наиболее часто встречаемым вариантом являлась комбинация полного дефекта медиальной стенки и передней колонны. Нормализованный индекс Шеннона составил 0,91 (Н/Нmax). Это означает, что при пяти представленных вариантах повреждений мы имеем дело с разнообразием, близким к максимально возможному. Наличие перипротезной инфекции в анамнезе увеличивало отношение шансов варианта повреждения с большим поражением опорных структур почти в 2,5 раза, а количество предшествующих ревизионных операций в анамнезе — на 65%.

Заключение. Можно выделить не менее пяти вариантов повреждений опорных элементов вертлужной области при типе дефектов 3В по классификации Paprosky. При пяти выделенных вариантах отмечается разнообразие, близкое к максимально возможному. Важными факторами, влияющими на вариант повреждения, являются перипротезная инфекция в анамнезе и количество выполненных накануне ревизионных операций. Обязательное трехмерное моделирование при обширных дефектах вертлужной области дает хирургу более информативную картину о потерянных и сохранившихся опорных элементах.

Ключевые слова: ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава; дефекты вертлужной впадины; классификация Paprosky; трехмерная реконструкция дефектов; индекс Шеннона.

Для цитирования: Коваленко А.Н., Тихилов Р.М., Джавадов А.А., Шубняков И.И., Санкин А.В., Васюкова А.С. Дефекты вертлужной области типа 3В по Paprosky: типичная картина или разнообразие вариантов? *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):5-14. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17736>.

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

Рукопись получена: 29.06.2025. Рукопись одобрена: 06.10.2025. Статья опубликована онлайн: 23.10.2025

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

At present, there is a continuing trend toward an increase in the number of revision hip arthroplasty (RHA) procedures. Moreover, predictive models forecast a further rise in their incidence [1]. According to the data from the local registry of Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. The frequency of using complex and high-cost acetabular implants in RHA is increasing, indirectly indicating a substantial proportion of severe acetabular bone defects [2]. Under these circumstances, accurate preoperative assessment of the extent of bone loss becomes even more important, as it determines the surgical strategy and ultimately influences the outcomes of RHA [3].

Various classifications have been proposed to assess acetabular bone defects [4, 5, 6, 7]. All of them aim to address several objectives — from providing a universal language to describe the degree of skeletal damage to guiding the choice of surgical reconstruction strategies. The Paprosky classification is most commonly used to standardize acetabular defects [8]. It is based on the evaluation of four radiographic criteria: migration of the hip rotation center, ischial osteolysis, teardrop osteolysis, and disruption of Köhler's line. The most extensive and challenging defects to treat, according to the Paprosky classification, are type 3B defects. At the same time, reconstruction options for this defect type encompass a wide range of both standard and patient-specific implants. The variability of technical reconstruction approaches within a single defect type highlights the limitations of the Paprosky classification.

A major drawback of existing classifications is that relying solely on plain radiographs makes it difficult to accurately assess the anatomical characteristics of bone defects, especially in cases of extensive destruction. In such situations, three-dimensional (3D) reconstruction of the acetabular defect region based on computed tomography (CT) data is a valuable visualization tool. When used in addition to radiographic evaluation, this method can significantly influence the surgeon's perception of the defect's severity and affect surgical planning at the preoperative stage [9, 10].

The lack of a unified approach to managing Paprosky type 3B acetabular defects, as well as our routine experience with 3D reconstruction technology at the preoperative stage, led us to formulate the following research questions:

1. What variants and combinations of acetabular structural damage can be identified in patients with Paprosky type 3B defects undergoing aseptic and septic revision?
2. What degree of heterogeneity exists among these variants within type 3B defects?
3. Does the formation of different damage variants depend on patient-related factors such as sex, age, history of periprosthetic joint infection (PJI), time since primary arthroplasty, or the number of previous revisions?

METHODS

Study design

The study design was retrospective.

Inclusion criteria were as follows: (1) presence of a Paprosky type 3B acetabular defect confirmed by radiographic evaluation, and (2) availability of preoperative CT scans.

A total of 132 patients who underwent revision RHA with acetabular component replacement between 2016 and 2023 at our clinic, all operated on by the same surgeon, were included in the study.

The baseline characteristics of the patients are presented in Table 1.

A wide range of surgical implants and their combinations were used, including jumbo cups, modular augments, antiprotrusio cages, cap-cages, and various patient-specific solutions for acetabular reconstruction. The evaluation of treatment outcomes was not within the scope of the present study. Based on the CT data, 3D reconstructions of the pelvis were created. The following acetabular supporting structures were assessed: the iliac wing, anterior column, posterior column, medial wall, and ischium. Each structure was evaluated according to three levels of integrity: anatomically pre-served, partially preserved/lytic destruction, and complete loss of support/full defect.

Patients with acetabular defects involving pelvic ring disruption, which are not represented in the original Paprosky classification, were excluded from the study.

Table 1

Baseline characteristics of the patients

Characteristic	Number of patients	Percentage share / Me [Q ₁ ; Q ₃]	min-max
Gender			
male	30	22.7%	–
female	102	77.3%	–
Age, years	132	61 [52; 70]	28-85
History of PJI			
yes	47	35.6%	–
no	85	64.4%	–
Number of previous revision operations	132	1 [0; 2]	0-8
Time since primary arthroplasty, years	106	13 [8; 19]	0-34
	26	No data available	

Statistical analysis

Prior to performing statistical analysis, the normality of distribution of quantitative variables (age, time since primary arthroplasty, and number of previous revision operations) was tested using the Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests (with Lilliefors correction). All quantitative variables demonstrated deviation from normal distribution ($p < 0.05$). Therefore, quantitative variables were described using the median (Me) and interquartile range [Q₁; Q₃]. Qualitative variables were presented as absolute frequencies and percentages. To assess the heterogeneity of defect variants, descriptive statistics and diversity analysis were performed using the normalized Shannon diversity index, calculated with the Past 4.16 software package. The association between identified defect variants and patient-related factors was evaluated using multivariate ordinal logistic regression with calculation of odds ratios (OR) for each factor.

RESULTS**Characteristic variants of defects**

The analysis of acetabular defects classified as type 3B according to Paprosky in patients indicated for revision of the acetabular

component revealed that isolated defects of individual supporting elements of the acetabulum were practically not observed. Such defects were usually combined either with complete destruction of other supporting structures or with lytic bone lesions of varying severity. Therefore, all defects of the supporting elements without complete destruction of at least one of them were grouped separately. Since the analysis included defects with a high migration of the rotation center, all cases demonstrated varying degrees of destruction of the iliac wing.

Thus, five variants of defects were identified (Table 2):

1) lytic defects with partial destruction of the acetabular supporting elements;

2) complete defects of the anterior column with complete or partial preservation of the medial wall and posterior column;

3) complete defects of the medial wall with complete or partial preservation of the anterior and posterior columns;

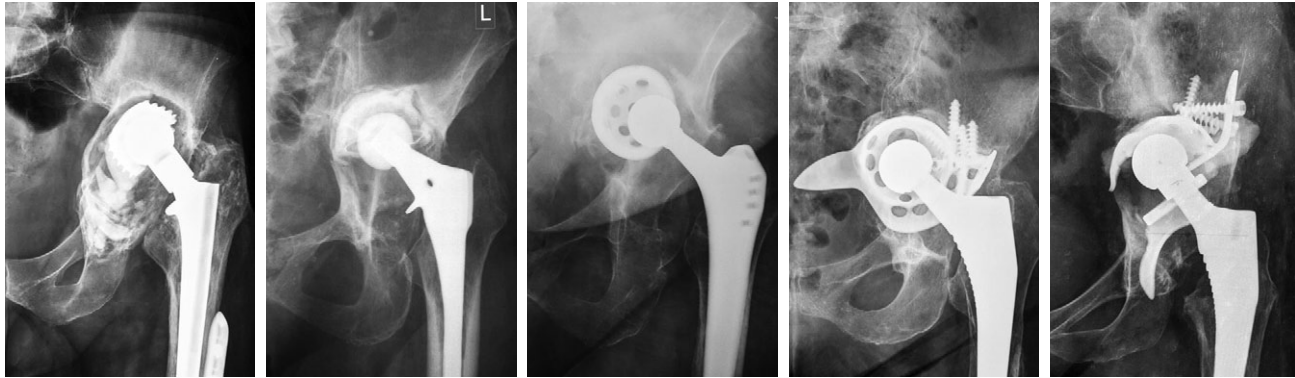
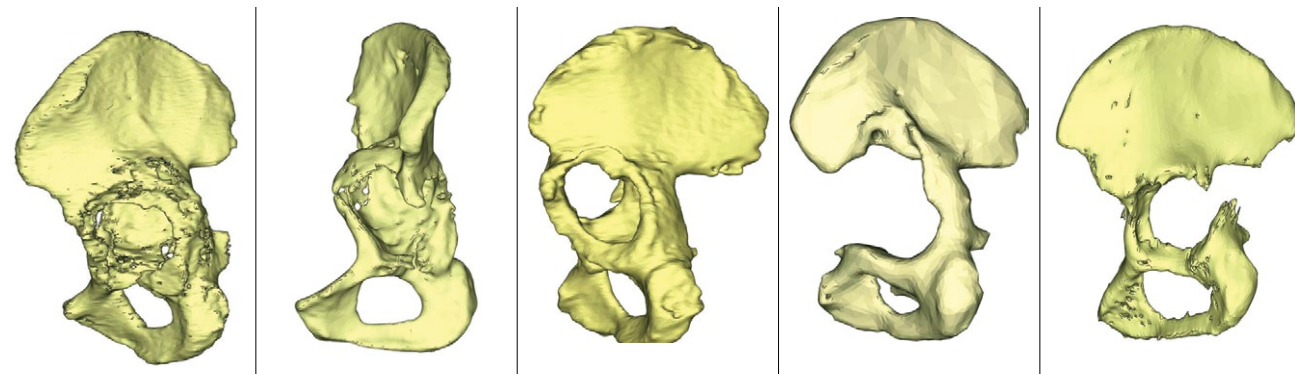
4) combination of complete defects of the medial wall and anterior column with complete or partial preservation of the posterior column;

5) combination of complete defects of the medial wall and posterior column with complete or partial preservation of the anterior column.

Table 2

Characteristic variants of defects in patients with Paprosky type 3B defects

Lytic defect with partial destruction of the acetabular supporting elements	Complete defect of the anterior column with preservation of the medial wall and posterior column	Complete defect of the medial wall with preservation of the anterior and posterior columns	Combination of complete defect of the medial wall and anterior column with preservation of the posterior column	Combination of complete defect of the medial wall and posterior column with preservation of the anterior column
---	--	--	---	---

X-rays of patients with defects**Three-dimensional reconstructions of the pelvis of the same patients from the side of defect****Statistical assessment of defect heterogeneity**

The statistical analysis in the observation group revealed that the most common variant of defect structure within Paprosky type 3B was the combination of a complete medial wall defect and

an anterior column defect. This configuration (medial wall + anterior column) occurred almost seven times more frequently than the rarest variant (isolated anterior column defect). The proportions of different defect variants within Paprosky type 3B are shown in Figure 1.

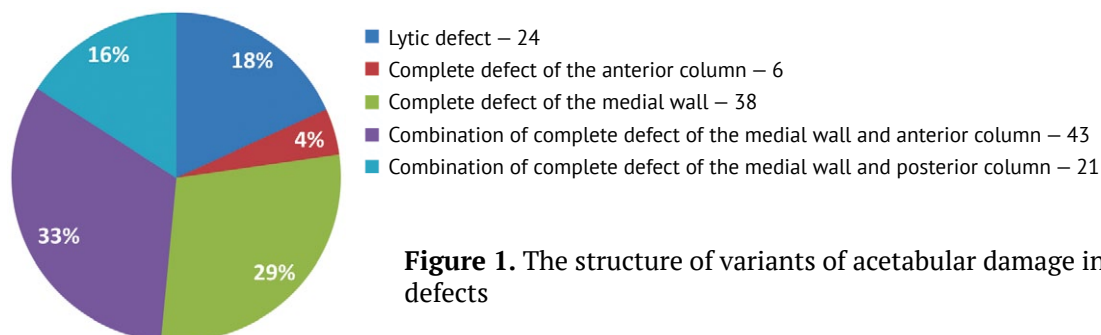


Figure 1. The structure of variants of acetabular damage in Paprosky type 3B defects

The Shannon diversity index indicated that the Paprosky type 3B defect demonstrated moderate heterogeneity ($H = 1.465$). In addition, the normalized Shannon index, ranging from 0 (no diversity) to 1 (maximum diversity), was 0.91 (H/H_{max}), suggesting that, for the five identified variants, the heterogeneity of type 3B defects approaches the maximum possible level. Thus, defects classified as Paprosky type 3B cannot be regarded as a single uniform entity.

Statistical assessment of patient-related factors influencing the defect pattern

Significant factors affecting the pattern of acetabular damage were a history of PJI and the number of previous revision operations. A prior PJI increased the OR of developing a defect pattern with more extensive involvement of load-bearing structures by nearly 2.5 times, while each additional revision procedure increased the risk by 65% (Table 3). The time elapsed since the primary arthroplasty showed a weaker statistical association with the defect category. Patient age and sex had no influence on the type of defect.

Table 3

Impact of patient-related factors on the odds of developing a more severe damage pattern in Paprosky type 3B defects

Patient factor	Coefficient	OR (95% CI)	p-value
History of PJI	0.94	2.56 (1.31-5.01)	0.006
Number of previous revision operations	0.5	1.65 (1.26-2.17)	< 0.001
Time since primary arthroplasty	0.08	1.08 (1.03-1.14)	0.004
Age	-0.01	0.99 (0.97-1.01)	0.370
Sex	0.3	1.35 (0.68-2.68)	0.390

DISCUSSION

Classification systems for acetabular defects in RHA emerged as an attempt to systematize the situations encountered by surgeons and to propose appropriate treatment options. However, the continuous increase in the number of such classifications and the ongoing efforts to introduce new modifications indicate that existing systems fail to encompass all possible defect types, particularly in cases of extensive bone loss [11, 12].

At present, the Paprosky classification has gained the widest acceptance [13]. It is characterized by logical structure, clear criteria, relative simplicity, and the ability to determine the defect type based on standard X-rays routinely obtained during preoperative assessment. Nevertheless, accumulated clinical experience has shown that even this classification does not cover all possible defect patterns [14]. Another limitation is that two-dimensional X-rays cannot fully reflect the complexity of 3D bone morphology.

The widespread use of CT and 3D visualization has substantially increased the informativeness of preoperative imaging and allows for a more accurate assessment of the defect type [15, 16, 17]. In this context, new classification systems have been proposed, based on quantitative evaluation of bone density and 3D reconstruction of the acetabular region [18, 19]. However, their implementation requires specialized software and technical expertise, which may not always be available to practicing surgeons. At present, 3D-based classifications still need to prove their practical utility. Nonetheless, it is already evident that the implementation and widespread adoption of such systems in clinical practice will be determined by their convenience and ease of use, just as was the case with the Paprosky classification.

In the studies evaluating the techniques and outcomes of managing extensive acetabular defects, the Paprosky classification [20, 21] continues to be widely used, even though 3D imaging is increasingly applied for defect

assessment and surgical planning in RHA. However, it can be observed that when referring to type 3B defects, researchers often describe different reconstruction approaches within the same defect category [9, 10].

As demonstrated by our findings, Paprosky type 3B defects may represent a range of distinct damage patterns. In addition to identifying the specific variant of the defect, 3D imaging makes it possible to assess such an important parameter as the extent of bone loss [9]. Therefore, the evaluation of the remaining supporting elements through 3D modeling of the pelvis and acetabular region is of substantial importance [11].

Distinguishing between different variants of damage within extensive acetabular defects has significant practical relevance. It allows the surgeon to anticipate the need for different implant types, including patient-specific designs, thereby providing additional time for their planning and fabrication, or to determine the

appropriate configuration of available standard revision systems.

Lytic defects and complete defects of the anterior column, despite their extent, require the restoration of the sphericity of the acetabular region, which can be reconstructed using bone grafts, augments, and standard hemispherical components (Figure 2a, b).

Reconstruction of complete medial wall defects, as well as combined complete defects of the medial wall and anterior column, requires the use of antiprotrusion devices to ensure the stability of the acetabular component. For this combination of defects, a wide range of types and sizes of standard cages may be necessary (Figure 2c, d). In cases of combined complete defects of the medial wall and posterior column — the most challenging in terms of biomechanical stability of the acetabular component — there is a need for a highly reliable primary fixation of the implant, which cannot always be achieved with standard revision systems (Figure 2e).

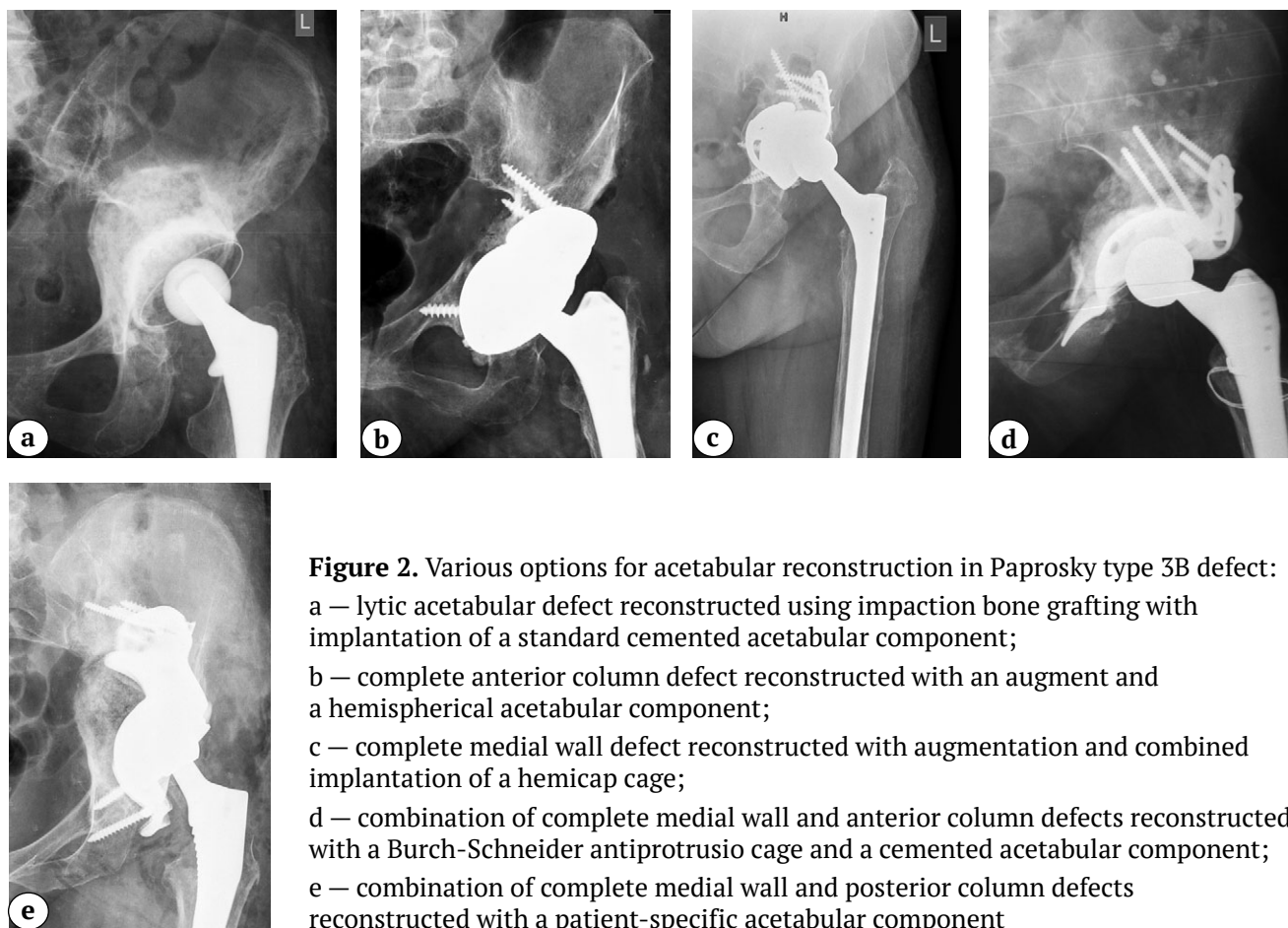


Figure 2. Various options for acetabular reconstruction in Paprosky type 3B defect:
a — lytic acetabular defect reconstructed using impaction bone grafting with implantation of a standard cemented acetabular component;
b — complete anterior column defect reconstructed with an augment and a hemispherical acetabular component;
c — complete medial wall defect reconstructed with augmentation and combined implantation of a hemicap cage;
d — combination of complete medial wall and anterior column defects reconstructed with a Burch-Schneider antiprotrusion cage and a cemented acetabular component;
e — combination of complete medial wall and posterior column defects reconstructed with a patient-specific acetabular component

In addition, the knowledge of the approximate proportion of different types of acetabular defects can help optimize the allocation of financial resources for patient treatment in specialized orthopedic departments.

In the available literature, we found no studies directly assessing the influence of the number of revision operations and PJI on the extent of the defect. However, several authors have noted that PJI is an indication for revision hip RHA and may be associated with bone loss in the acetabular region [22]. Reconstruction of acetabular defects can represent a significant challenge during revision operations performed for PJI [23]. S. Hayashi et al. reported that multiple revision procedures and the size of the acetabular defect may serve as predictors of poorer clinical outcomes [24]. Thus, the available evidence indirectly indicates the complexity and extent of acetabular defects that develop as a result of PJI and repeated revisions.

CONCLUSIONS

The results obtained in this study indicate that Paprosky type 3B acetabular defects represent a heterogeneous group of lesions, within which at least five distinct variants of load-bearing element damage can be identified. Therefore, type 3B defects according to the Paprosky classification cannot be considered uniform, and it is essential to specify which anatomical structures remain supportive in order to determine the appropriate surgical strategy. Notably, among the five identified variants, the diversity approaches its maximal possible level.

The most significant factors influencing the defect variant were a history of periprosthetic joint infection and the number of previous revision operations. The strategic importance of these findings lies in the necessity to improve the quality of both primary and revision arthroplasties, ensure prevention and effective management of infectious complications, and thereby reduce the need for repeated revisions.

Mandatory three-dimensional modeling in cases of extensive acetabular defects provides the surgeon with a more informative understanding of the lost and preserved load-bearing structures, which, in turn, facilitates the selection of the most reliable reconstruction option and timely preoperative preparation. Existing classifications

of acetabular defects require refinement or revision in light of the growing use of three-dimensional assessment techniques. At the same time, any classification that incorporates the three-dimensional configuration of the defect should remain clear, practical, and easy to apply in routine surgical practice.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kovalenko A.N. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Tikhilov R.M. — study concept and design, editing the manuscript.

Dzhavadov A.A. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Shubnyakov I.I. — study concept and design, editing the manuscript.

Sankin A.V. — data acquisition, analysis and interpretation.

Vasiukova A.S. — data acquisition, analysis and interpretation.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

1. Schwartz A.M., Farley K.X., Guild G.N., Bradbury T.L. Jr. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *J Arthroplasty*. 2020;35(6S):S79-S85. doi: 10.1016/j.arth.2020.02.030.
2. Shubnyakov I.I., Korytkin A.A., Denisov A.O., Dzhavadov A.A., Riahi A., Guatsaev M.S. et al. Revision Total Hip Arthroplasty — What Are We to Expect? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(2): 132-152. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-17697.

3. Udintseva M.Yu., Volokitina E.A., Kutepov S.M. Compensation of acetabular defects in hip arthroplasty. *Kazan Medical Journal*. 2022;103(1): 89-99. (In Russian). doi: 10.17816/KMJ2022-89.
4. 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. doi: 10.1016/0883-5403(94)90135-x.
5. 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.
6. Gross A.E., Allan D.G., Catre M., Garbuz D.S., Stockley I. Bone grafts in hip replacement surgery. The pelvic side. *Orthop Clin North Am*. 1993;24(4):679-695.
7. Saleh K.J., Holtzman J., Gafni ASaleh L., Jaroszynski G., Wong P., Woodgate I. et al. Development, test reliability and validation of a classification for revision hip arthroplasty. *J Orthop Res*. 2001;19(1):50-56. doi: 10.1016/S0736-0266(00)00021-8.
8. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Denisov A.O. Classifications of acetabular defects: do they provide an objective picture of the complexity of revision hip arthroplasty? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(1):122-141. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-122-141.
9. Kovalenko A.N., Shubnyakov I.I., Djavadov A.A. The role of three-dimensional visualization in revision hip arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2020;26(3):364-369. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-364-369.
10. Denisov A.O., Tikhilov R.M., Kovalenko A.N., Shubnyakov I.I., Bilyk S.S., Dzhavadov A.A. The feasibility of three-dimensional visualization in determining the severity of acetabular bone defects. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023;2(52):16-22. (In Russian). doi: 10.17238/2226-2016-2023-2-16-22.
11. Loppini M., Guazzoni E., Gambaro F.M., La Camera F., Morengi E., Grappiolo G. A new classification to characterize and predict treatment of acetabular bone defects. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024;144(7):2975-2981. doi: 10.1007/s00402-024-05327-0.
12. Martynenko D.V., Voloshin V.P., Sherman L.A., Shevryev K.V., Oshukov S.A., Stepanov E.V. Assessment of Acetabulum Deformity During Preoperative Planning for Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(3):153-164. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-153-164.
13. 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. doi: 10.5435/JAAOS-D-23-00645.
14. Meynen A., Vles G., Roussot M., Van Eemeren A., Wafa H., Mulier M. et al. Advanced quantitative 3D imaging improves the reliability of the classification of acetabular defects. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023; 143(3):1611-1617. doi: 10.1007/s00402-022-04372-x.
15. Aprato A., Olivero M., Iannizzi G., Bistolfi A., Sabatini L., Masse A. Pelvic discontinuity in acetabular revisions: does CT scan overestimate it? A comparative study of diagnostic accuracy of 3D-modeling and traditional 3D CT scan. *Musculoskelet Surg*. 2020;104(2):171-177. doi: 10.1007/s12306-019-00608-z.
16. Marongiu G., Campacci A., Capone A. Quantitative Assessment of Acetabular Defects in Revision Hip Arthroplasty Based on 3D Modeling: The Area Increase Ratio (AIR) Method. *Bioengineering (Basel)*. 2024;11(4):341. doi: 10.3390/bioengineering11040341.
17. Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Golenkov O.I., Efimenko M.V., Pronskikh A.A., Kharitonov K.N. et al. Effects of 3D Imaging on Surgical Tactics in Primary and Revision Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(2):60-70. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-60-70.
18. Zhang J., Hu Y., Ying H., Mao Y., Zhu Z., Li H. Reliability and validity test of a novel three-dimensional acetabular bone defect classification system aided with additive manufacturing. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):432. doi: 10.1186/s12891-022-05365-y.
19. Schierjott R.A., Hettich G., Graichen H., Jansson V., Rudert M., Traina F. et al. Quantitative assessment of acetabular bone defects: A study of 50 computed tomography data sets. *PLoS One*. 2019;14(10):e0222511. doi: 10.1371/journal.pone.0222511.
20. Jones S.A., Parker J., Horner M. Can a reconstruction algorithm in major acetabular bone loss be successful in revision hip arthroplasty? *Bone Joint J*. 2024;106-B(5 Supple B):47-53. doi: 10.1302/0301-620X.106B5.BJJ-2023-0809.R1.
21. Musil D., Trnka T., Klouda J., Pertlíček J., Held M., Stehlík J. Outcomes of Revisions of the Acetabular Component of THA with Paprosky Type 3a and 3b Defects Using Tantalum Trabecular Metal Implants 2-10 Years Postoperatively. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2020;87(6):387-395. (In Czech).
22. Sculco P.K., Wright T., Malahias M.A., Gu A., Bostrom M., Haddad F. et al. The Diagnosis and Treatment of Acetabular Bone Loss in Revision Hip Arthroplasty: An International Consensus Symposium. *HSS J*. 2022;18(1):8-41. doi: 10.1177/15563316211034850.
23. Ebied A.M., Ebied A.A., Marei S., Smith E. Enhancing biology and providing structural support for acetabular reconstruction in single-stage revision for infection. *J Orthop Traumatol*. 2019;20(1):23. doi: 10.1186/s10195-019-0530-6.
24. Hayashi S., Hashimoto S., Takayama K., Matsumoto T., Nishida K., Kuroda R. Multiple Revision Surgeries and Acetabular Bone Defect Size May Predict Daily Activity After Revision Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(5):1606-1611. doi: 10.1016/j.arth.2016.12.005.

Authors' information

✉ Alisagib A. Dzhavadov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,
195427, Russia

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

eLibrary SPIN: 8591-6977

e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Anton N. Kovalenko — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-4536-6834>

eLibrary SPIN: 9354-1878

e-mail: dr.ankovalenko@ya.ru

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Corresponding Member of the RAS

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

eLibrary SPIN: 3602-4912

e-mail: rtikhilov@gmail.com

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

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

eLibrary SPIN: 3531-7679

e-mail: shubnyakov@mail.ru

Artem V. Sankin

<https://orcid.org/0009-0000-6183-1367>

eLibrary SPIN: 8871-5373

e-mail: sankinmd@gmail.com

Anastasiia S. Vasiukova

<https://orcid.org/0009-0007-5187-4575>

eLibrary SPIN: 6196-7562

e-mail: henek358@gmail.com



Ранняя диагностика асептического расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава методом акустической артрометрии

Б.Р. Таштанов¹, В.В. Павлов¹, М.А. Райфельд², В.Н. Васюков², А.А. Корыткин¹

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

² ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, Россия

Реферат

Актуальность. Одной из основных причин ревизионного эндопротезирования является асептическое расшатывание компонентов эндопротеза. Вариантом ранней диагностики этого осложнения является неинвазивное исследование состояния эндопротеза с применением трехосевого акселерометра — акустическая артрометрия.

Цель исследования — оценить возможность использования акустической артрометрии для ранней диагностики асептического расшатывания компонентов и износа полиэтиленового вкладыша эндопротеза тазобедренного сустава.

Материал и методы. Исследование проводилось с использованием разработанного устройства для неинвазивной регистрации вибрационных и акустических колебаний в области протезированного сустава. Интерпретация и анализ полученных акустических сигнатур эндопротезов проводились в программе MATLAB. С помощью устройства получена запись акустической эмиссии у 120 пациентов, в том числе у 40 больных с диагностированным асептическим расшатыванием компонентов эндопротеза, у 40 — с износом полиэтиленового вкладыша и у 40 пациентов контрольной группы без жалоб на функцию протезированного сустава. Предикторы асептического расшатывания компонентов и износа полиэтиленового вкладыша выявлялись с помощью регрессионного анализа.

Результаты. В многофакторной модели риска износа полиэтиленового вкладыша эндопротеза с помощью ROC-анализа определены лучшие по сумме показатели чувствительности (91,7%) и специфичности (84,6%) рассматриваемого метода. При диагностике расшатывания компонентов эндопротеза чувствительность метода составила 79,5%, а специфичность — 65,8%.

Заключение. Специфические акустические сигнатуры, проанализированные с использованием разработанных оценочных критериев (Peak, Asymmetry, Width) коррелируют с данными рентгенологических исследований и имеют высокую специфичность (84,6%) и чувствительность (91,7%), что обуславливает возможность применения акустической артрометрии в качестве скринингового метода для раннего выявления расшатывания компонентов эндопротеза и износа полиэтилена.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава; асептическое расшатывание; износ полиэтилена; акустическая артрометрия.

Для цитирования: Таштанов Б.Р., Павлов В.В., Райфельд М.А., Васюков В.Н., Корыткин А.А. Ранняя диагностика асептического расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава методом акустической артрометрии. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):15-27. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17732>.

Таштанов Байкожо Рустамович; e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

Рукопись получена: 22.06.2025. Рукопись одобрена: 07.10.2025. Статья опубликована онлайн: 06.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Early Diagnosis of Aseptic Loosening of Hip Prosthetic Components Using Acoustic Arthrometry

Baikozho R. Tashtanov¹, Vitaliy V. Pavlov¹, Mikhail A. Rajfeld², Vasily N. Vasyukov², Andrey A. Korytkin¹

¹ Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. One of the main causes of revision hip arthroplasty is aseptic loosening of prosthetic components. A non-invasive method for early detection of this complication is the assessment of prosthesis condition using a triaxial accelerometer — acoustic arthrometry.

The aim of the study — to evaluate the potential of acoustic arthrometry for early diagnosis of aseptic loosening of prosthetic components and polyethylene liner wear in hip prostheses.

Methods. The study was performed using a custom-designed device for non-invasive registration of vibrational and acoustic oscillations in the area of the implanted joint. Interpretation and analysis of the obtained acoustic signatures were performed using MATLAB software. Acoustic emission recordings were obtained from 120 patients: 40 with diagnosed aseptic loosening of prosthetic components, 40 with polyethylene liner wear, and 40 control patients with no complaints regarding prosthesis function. Predictors of aseptic loosening and polyethylene wear were identified using regression analysis.

Results. In a multivariate risk model of polyethylene liner wear, ROC analysis demonstrated optimal sensitivity (91.7%) and specificity (84.6%) of the proposed method. For diagnosing aseptic loosening of prosthetic components, the sensitivity and specificity were 79.5% and 65.8%, respectively.

Conclusion. Specific acoustic signatures analyzed using the developed evaluation criteria (Peak, Asymmetry, Width) correlated with radiographic findings and showed high specificity (84.6%) and sensitivity (91.7%). These results support the feasibility of using acoustic arthrometry as a screening tool for early detection of prosthetic component loosening and polyethylene wear.

Keywords: hip arthroplasty; aseptic loosening; polyethylene wear; acoustic arthrometry.

Cite as: Tashtanov B.R., Pavlov V.V., Rajfeld M.A., Vasyukov V.N., Korytkin A.A. Early Diagnosis of Aseptic Loosening of Hip Prosthetic Components Using Acoustic Arthrometry. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):15-27. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17732>.

✉ Baikozho R. Tashtanov; e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

Submitted: 22.06.2025. Accepted: 07.10.2025. Published online: 06.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Асептическое расшатывание компонентов эндопротеза является одним из наиболее частых осложнений эндопротезирования тазобедренного сустава на поздних сроках наблюдения, составляя, по данным регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, 42,1% всех причин ревизионных операций [1].

Выявление ранних признаков наступающего расшатывания компонентов эндопротеза или износа полиэтилена становится основной задачей наблюдения за пациентами, перенесшими эндопротезирование, и очень важным является обнаружение этих признаков до появления рентгенологических изменений. К сожалению, лишь в отдельных случаях удается выявить начальные признаки дефектности компонентов, что позволяет провести ревизионное эндопротезирование с использованием первичных или с частичной заменой ранее установленных компонентов [2, 3]. Однако несвоевременное выявленное расшатывание компонентов чревато более объемным оперативным вмешательством с заменой всех компонентов и использованием дополнительных конструкций, донорской костной ткани и нередко — индивидуально изготовленных с помощью аддитивных технологий конструкций [4, 5, 6, 7]. Позднее выявление расшатывания компонентов приводит не только к повторным ранним ревизионным вмешательствам, но и к дополнительным экономическим затратам [6]. В истории эндопротезирования уже были предприняты попытки усовершенствовать инструменты ранней диагностики расшатывания компонентов и износа полиэтиленового вкладыша [8, 9].

На сегодняшний день ортопеды руководствуются преимущественно результатами рентгенологических исследований тазобедренного сустава. Используют зоны Gruen для оценки устойчивой фиксации бедренного компонента, зоны DeLee-Charnley — для оценки состояния цементного вертлужного компонента, методику оценки биологической фиксации вертлужного компонента, предложенную S. Milan, и расчет центрации головки эндопротеза для оценки состояния полиэтиленового вкладыша [10, 11]. Хотя рентгенологическое исследование демонстрирует высокие показатели чувствительности и специфичности, признаки расшатывания и износа компонентов эндопротеза проявляются постепенно, в течение длительного времени после эндопротезирования. В поисках альтернативы были предложены различные методы исследований, такие как термометрия нижних конечностей (патент RU 2197892 C1), анализ пункта и предоперационный анализ крови, имеющих прогностическую ценность [4, 8].

Одним из вариантов ранней диагностики является неинвазивное исследование состояния эндопротеза — акустическая артродетекция (АА) (альтернативные названия: вибрационная артродетекция, акустическая артрография) с применением трехосевого акселерометра [9, 12]. Этот метод позволяет анализировать вибрации (акустическую эмиссию), исходящие от эндопротеза тазобедренного сустава. АА была неоднократно изучена экспериментально и имеет положительные результаты в подавляющем количестве исследований и отрицательные — в отдельных случаях [13].

Цель исследования — оценить возможность использования акустической артродетекции для ранней диагностики асептического расшатывания компонентов и износа полиэтиленового вкладыша эндопротеза тазобедренного сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — сравнительное когортное нерандомизированное, включает ретроспективную и проспективные группы пациентов.

В исследовании приняли участие 120 пациентов, которые были разделены на три группы. Первая (контрольная) группа — 40 пациентов, которые обратились в амбулаторно-поликлиническое отделение для контрольного осмотра через 1–7 лет после эндопротезирования и не имели жалоб на функцию протезированного сустава; вторая группа — 40 пациентов, госпитализированных по поводу износа полиэтиленового (ПЭТ) вкладыша; третья группа — 40 пациентов, госпитализированных по поводу асептического расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава.

Всем пациентам при поступлении в стационар было выполнено рентгенологическое исследование с описанием рентгенограмм сотрудниками отделения лучевой диагностики. Признаков расшатывания компонентов или износа ПЭТ вкладыша в первой группе пациентов не обнаружено. Во вторую и третью группы были включены пациенты с соответствующими рентгенологическими признаками.

Критерии включения в первую группу: отсутствие жалоб на протезированный сустав, способность передвигаться без дополнительных средств опоры. *Критерии невключения*: отсутствие активного движения, отказ от участия в исследовании.

Критерии включения во вторую и третью группы: наличие опоры на нижнюю конечность со стороны оперированного сустава, способность передвигаться.

Сроки наблюдения составили от 3,5 до 13,5 года.

Описание метода

Для проведения исследования было разработано устройство неинвазивной регистрации вибрационных и акустических колебаний в области эндопротезированного сустава, работающее на основе трехосевого акселерометра. Детальное описание механизма устройства представлено в нашей предыдущей работе [12].

Устройство фиксируется на поверхности кожи в области протезированного сустава с помощью медицинского пластыря (рис. 1) в двух вариантах: в области большого вертела (1-й вариант) или, при наличии в проекции большого вертела выраженной подкожной жировой ткани, в области передневерхней ости подвздошной кости (2-й вариант). Эти зоны являются наиболее доступными и легко определяемыми пальпаторно.

После наклейки фиксации устройства пациент ходил по прямой, ровной поверхности в течение 5 мин. привычной для себя походкой. Во время ходьбы зафиксированное устройство осуществляло регистрацию и запись вибрационных и звуковых колебаний, возникающих в области эндопротеза. После завершения ходьбы устройство снималось, и записанная информация переносилась на персональный компьютер.

Интерпретация и анализ полученных акустических сигнатур

Анализ и интерпретацию полученных акустических сигнатур эндопротезов (вибрации компонентов эндопротеза, возникающие при ходьбе) проводили с помощью программного обеспечения MATLAB (MathWorks, Inc., США)

Акустические сигнатуры представляют собой оцифрованные временные реализации сигналов на частоте 6666 Гц, полученные с использованием трехосевого акселерометра в момент шага пациента и имеющие характер импульсов. Элементами сигнатур, представляющими интерес для исследования и являющимися основой для выводов

о состоянии эндопротеза, являются вершины импульсов (колебаний), совпадающие с началом цикла шага пациента — фазы опоры, контакта (удара) пятки с опорной поверхностью. Трехосевой акселерометр как цельная деталь одного устройства воспринимает колебания в трех осях одновременно. Устройство приводит полученные данные к единому усредненному показателю, что позволяет все смещения выразить в одной кривой. Подробно методология и расчеты единиц выбранных критериев описаны в ранее опубликованной нами статье [12].

Для исследования были выбраны следующие критерии:

1) Peak — отображает искажение импульса, пороговое значение 0,49. Основным признаком износа ПЭТ вкладыша является раздвоение вершины импульса, при этом Peak может меняться в зависимости от стабильности других компонентов эндопротеза, тогда как в норме импульс имеет одновершинный характер.

2) Asymmetry — асимметричность импульса, отображает износ компонентов, пороговое значение 0,02.

3) Width — ширина импульса, представляющая расшатывание или разрушение компонентов, пороговое значение 500.

Критерии высоты импульсов обозначены условными единицами (у. е.) 0, 1, 2, 3...

Расшатыванию компонентов эндопротеза соответствует снижение показателей коэффициента Peak, что обозначает неравномерный подъем импульса, происходящий в связи с расшатыванием одного из компонентов; увеличение показателей Width обозначает увеличение ширины импульса (рис. 2).

В целом метод АА можно представить следующим образом. После получения акустической эмиссии из области эндопротеза следуют ее автоматическая обработка в акустические сигнатуры и их последующий автоматический анализ. При проведении исследования необходимо придерживаться следующих этапов. В первую очередь оценке подлежат равномерность амплитуды колебаний и симметричность каждого колебания. В норме колебания симметричны и имеют равные вершины. Высота колебаний в норме должна быть не ниже 10 у. е. Далее следует анализ критерия Peak, в частности каждого колебания — каждого шага

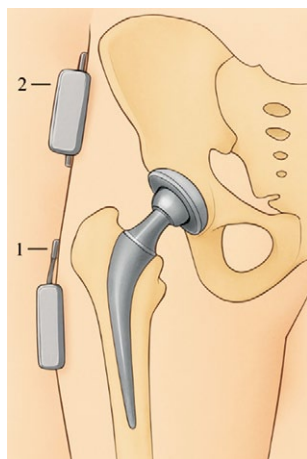


Рисунок 1. Схематическое изображение метода исследования:

1-й вариант — акселерометр располагается в области большого вертела бедренной кости; 2-й вариант — в области передневерхней ости подвздошной кости

Figure 1. Schematic representation of the study method:

option 1 — accelerometer is located in the area of the greater trochanter of the femur; option 2 — in the area of the anterior superior iliac spine

и среднего значения всех колебаний в норме, соответствующей $\geq 0,49$ у.е. Третьим этапом следует анализ критерия Width, отображающего стабильность компонентов эндопротеза и соответствующего значениям ≤ 500 у.е. И последним, при соответствии

пределам нормы всех вышеуказанных критериев, следует анализ критерия Asymmetry, который был выявлен в ходе исследования как менее чувствительный, но не менее специфичный критерий и соответствует значениям $\leq 0,02$ (рис. 3).

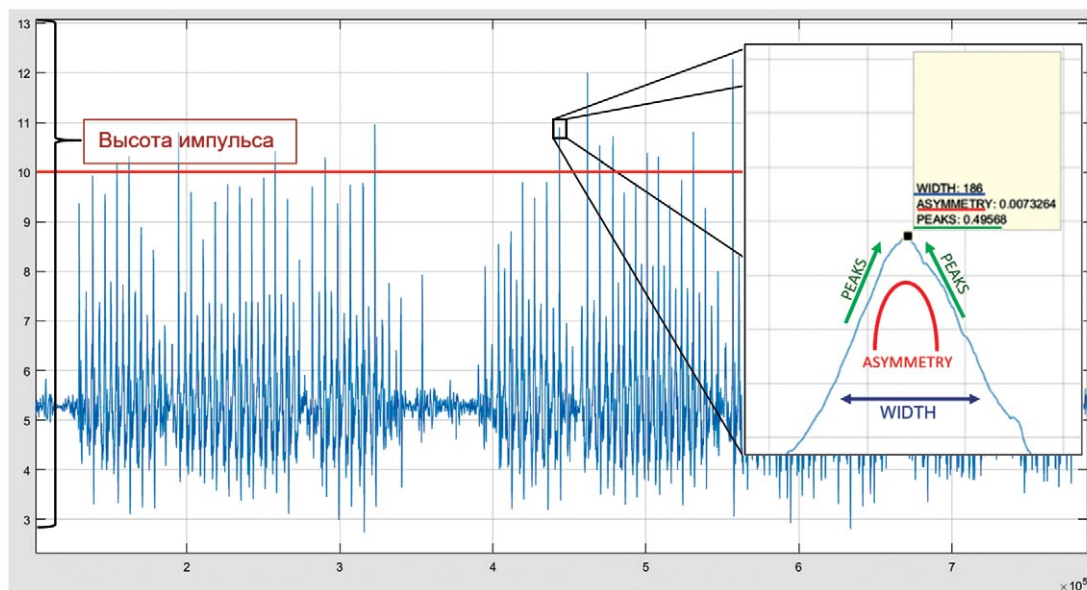
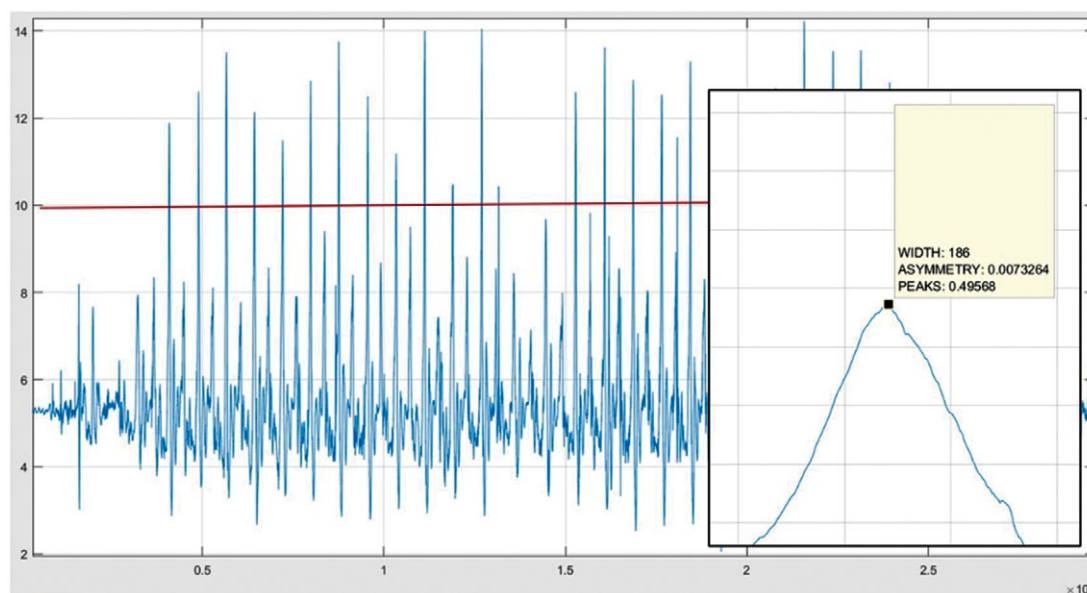


Рисунок 2. Критерии оценки акустических сигнатур. В отдельном прямоугольнике изображен избирательно взятый нормальный импульс акустической сигнатуры (обозначен сходящимися черными линиями), который проанализирован с позиции предложенных критериев

Figure 2. Acoustic signature evaluation criteria. A separate rectangle shows a selectively taken normal pulse of the acoustic signature (indicated by converging black lines), which is analyzed from standpoint of the proposed criteria



а

Рисунок 3 (а). Общий вид акустических сигнатур, детализация отдельно взятых вершин импульсов и рентгенограммы тазобедренного сустава в прямой проекции:

а — без расшатывания компонентов эндопротеза тазобедренного сустава;

Figure 3 (a). General view of acoustic signatures, details of individual pulse peaks and X-rays of the hip in AP view:
а — without loosening of hip prosthetic components;

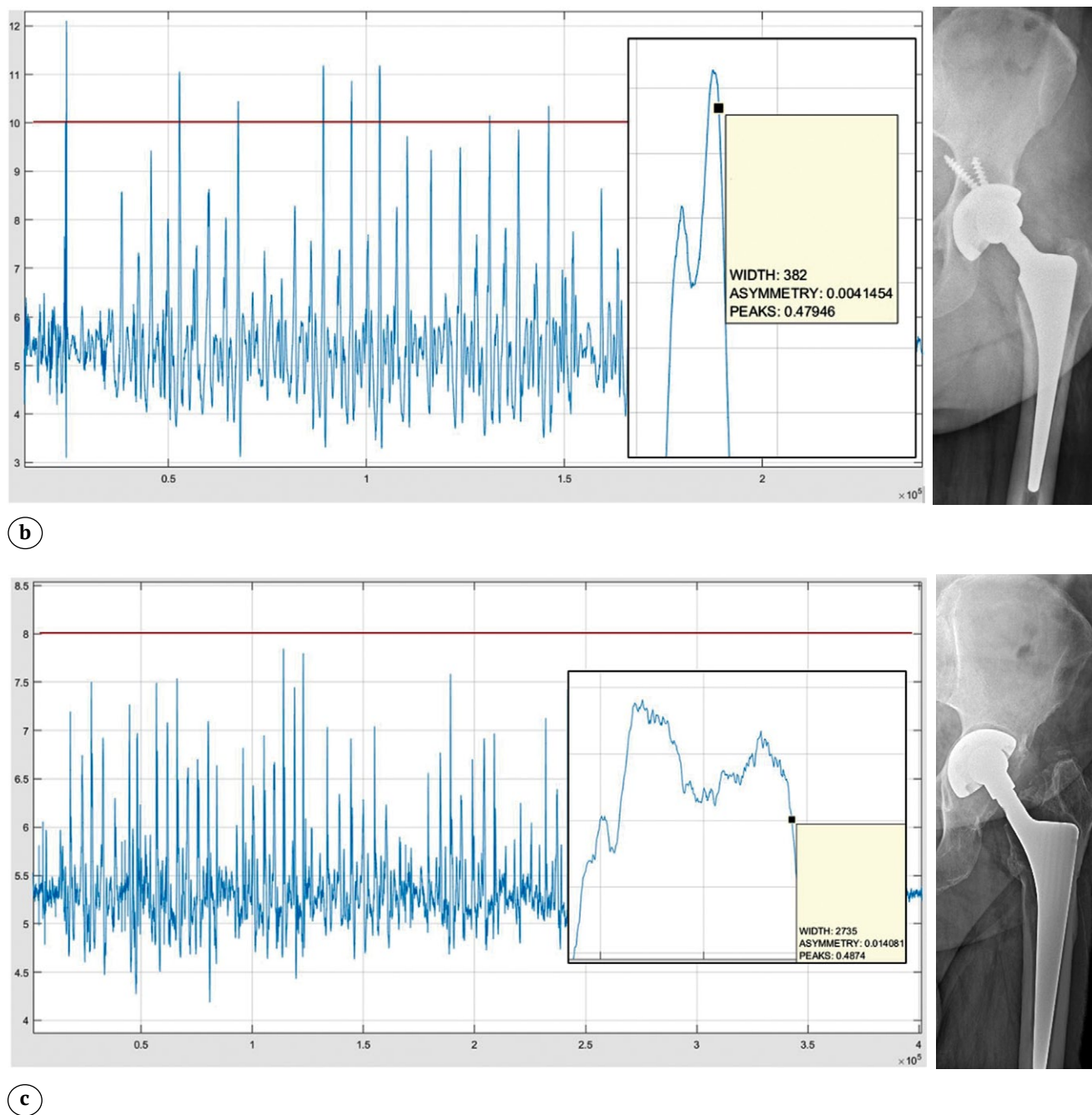


Рисунок 3 (b, c). Общий вид акустических сигнатур, детализация отдельно взятых вершин импульсов и рентгенограммы тазобедренного сустава в прямой проекции:
 b — с износом полиэтиленового вкладыша, но без расшатывания компонентов;
 c — с расшатыванием вертлужного компонента (пролапс) и бедренного компонента (stress shielding, резорбция зон Gruen 6, 7) эндопротеза тазобедренного сустава

Figure 3 (b, c). General view of acoustic signatures, details of individual pulse peaks and X-rays of the hip in AP view:
 b — with wear of polyethylene liner, but without loosening of components;
 c — with loosening of the acetabular component (prolapse) and femoral component (stress shielding, resorption of Gruen zones 6 and 7) of hip prosthesis

Сравнительный анализ

Сравнительный анализ акустических сигнатур с обзорными рентгенограммами таза в прямой проекции и корреляцию с результатами АА проводили два независимых исследователя, не информированных об истории исследуемых пациентов и их разделении на группы.

Статистический анализ

Статистические расчеты проводились в IDE RStudio (версия 2024.12.0 Build 467) на языке R версия 4.4.2 (2024-10-31 ucrt0). Распределения показателей испытывались на согласие с законом нормального распределения критерием Шапиро–Уилка. В большинстве случаев распределения показателей отличались от нормальных. Для описательной статистики использовались квартили, а межгрупповое сравнение производилось непараметрическими критериями. Непрерывные показатели представлены в виде медианы и межквартильного интервала (Me [Q₁; Q₃]); количество и частота событий применялись для характеристики распределения по диагнозу, полу и материалам трибологической пары эндопротезов. Непрерывные показатели сравнивались с использованием U-критерия Манна–Уитни, категориальные и бинарные — точного критерия Фишера. Построениями логистических регрессий

выявлялись предикторы износа полиэтилена и расшатывания эндопротезов. Модели многофакторных регрессий строились методами прямого и обратного шага из однофакторных моделей для некоррелируемых ($|r| < 0,3$) ковариат с достигнутыми уровнями значимости p не более 0,3. Методами ROC-анализа для многофакторных моделей рассчитывался лучший по индексу Юдена порог риска с оценкой прогностических характеристик. Тестом Хосмера–Лемешова исследовали согласованность прогностических частот многофакторных моделей с фактической частотой негативных событий износа и расшатывания эндопротезов. Все сравнительные тесты были двусторонними. При достигнутом уровне значимости $p < 0,05$ различие или предикторы считались статистически значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика пациентов всех групп исследования представлена в таблице 1. Следует отметить минимальную разницу в возрасте, показателях индекса массы тела (ИМТ) пациентов и в распределении по типу фиксации эндопротезов (цементный/бесцементный). Выявлено различие в средних сроках наблюдения, причем минимальный срок отмечен в первой (контрольной) группе (3,5 года), максимальный — во второй группе (13,5 года).

Таблица 1

Характеристика пациентов групп сравнения

Группа	Возраст, лет, Me [Q ₁ ; Q ₃]	ИМТ, Me [Q ₁ ; Q ₃]	Срок наблюдения, лет, Me [Q ₁ ; Q ₃]	Цементный / бесцементный, n (%)
Первая (контрольная)	64,0 [61,0; 70,0]	29,8 [26,2; 33,4]	3,5 [1,5; 7,0]	8 (20) / 32 (80)
Вторая (износ ПЭТ вкладыша)	65,0 [55,0; 72,0]	31,6 [29,8; 32,9]	13,5 [10; 15]	4 (10) / 36 (90)
Третья (расшатывание компонентов)	63,0 [57,0; 66,5]	27,9 [23,7; 30,3]	8,0 [3,5; 14,0]	10 (33,3) / 30 (66,6)
Значение p	1–2 группы: 0,578 1–3 группы: 0,156 2–3 группы: 0,881	1–2 группы: 0,302 1–3 группы: 0,036 2–3 группы: 0,006	1–2 группы: 0,009 1–3 группы: 0,033 2–3 группы: 0,028	1–2 группы: 0,325 1–3 группы: 0,583 2–3 группы: 0,090

Типы фиксации (цементная/бесцементная) сравнивались с применением точного критерия Фишера, остальные показатели — U-критерия Манна–Уитни.

Показатели АА подтвердили ожидаемые различия между предложенными критериями, при этом средние значения существенно различались: Peak (износ ПЭТ вкладыша) — между первой и второй группами; Width (расшатывание компонентов) между первой и третьей группами и по амплитуде колебаний между первой, второй группами (10,0) и третьей группой (8,5). Между группами не выявлено абсолютной разницы в средних значениях по

критерию Asymmetry, однако были выявлены значимые статистические различия ($p = 0,002$) (табл. 2).

Количество пациентов, пересекающих заданный порог в исследуемых группах по критерию Peak, составило: 15/40 (37,5%) в первой группе, 33/40 (83%) во второй группе и 28/12 (70%) в третьей группе, что подтверждает значение данного критерия в диагностике износа ПЭТ вкладыша и расшатывания компонентов эндопротеза тазо-

бедренного сустава. Результаты критерия Width также имели значимую разницу между первой группой (12/28 (30%)), второй и третьей группами

(24/16 (60%); 25/15 (62,5%)) (табл. 3). В показателях критерия Asymmetry статистически значимой разницы не обнаружено.

Таблица 2

Сравнительный анализ критериев оценки результатов акустической артрометрии, Me [Q₁; Q₃]

Группа	Peak	Width	Asymmetry	Амплитуда колебаний
Первая (контрольная)	0,49077 [0,48853; 0,49245]	369,9 [285,9; 535,6]	0,014639 [0,009975; 0,016764]	10,0 [8,2; 11,5]
Вторая (износ ПЭТ вкладыша)	0,48847 [0,48763; 0,48938]	483,5 [376,7; 555,0]	0,01918 [0,01705; 0,02222]	10,0 [9,4; 10,6]
Третья (расшатывание компонентов)	0,48916 [0,47795; 0,49782]	621,5 [380,0; 1102,2]	0,01613 [0,01247; 0,01911]	8,5 [7,5; 9,5]
Значение <i>p</i>	1–2 группы: 0,019 1–3 группы: 0,206 2–3 группы: 0,195	1–2 группы: 0,060 1–3 группы: 0,001 2–3 группы: 0,124	1–2 группы: 0,002 1–3 группы: 0,102 2–3 группы: 0,022	1–2 группы: 0,867 1–3 группы: 0,006 2–3 группы: 0,014

Полужирным шрифтом обозначены статистически значимые отличия.

Таблица 3

Сравнительный анализ результатов акустической артрометрии в трех группах в пересечении пороговых значений трех критериев оценки

Группа	Peak (пороговое значение 0,49)	Width (пороговое значение 500)	Asymmetry (пороговое значение 0,02)
Первая (контроль)	15 (37,5%)	12 (30%)	7 (17,5%)
Вторая (износ ПЭТ вкладыша)	33 (83%)	24 (60%)	14 (35%)
Третья (расшатывание компонентов)	28 (70%)	25 (62,5%)	8 (20%)
Значение <i>p</i>	1–2 группы: 0,009 1–3 группы: 0,080 2–3 группы: 0,174	1–2 группы: 0,304 1–3 группы: 0,008 2–3 группы: 0,524	1–2 группы: 0,442 1–3 группы: 0,999 2–3 группы: 0,434

Полужирным шрифтом обозначены статистически значимые отличия.

В многофакторной модели риска износа ПЭТ вкладыша с помощью ROC-анализа определены наилучшие показатели чувствительности (91,7%) и специфичности (84,6%) для порогового значения вероятности износа 24,1%. Используя полученное пороговое значение, у пациентов с рас-

считанной по формуле модели многофакторной регрессии с вероятностью износа ПЭТ вкладыша более 24,1% прогнозировали износ, при показателях ниже порогового значения считали, что износа нет (табл. 4, 5; рис. 4).

Таблица 4

Таблица сопряженности многофакторной модели вероятности износа полиэтиленового вкладыша для порогового значения 24,1%

Тест	Результат +	Результат -	Общее количество
Тест +	36	6	42
Тест -	4	34	38
Общее количество	40	40	80

Тест — прогноз многофакторной модели, результат — исходы (реальные данные).

Таблица 5

**Таблица прогностических свойств
многофакторной модели риска износа
полиэтиленового вкладыша для порогового
значения 24,1%**

Характеристика	Значение (95% ДИ)
Чувствительность	91,7% (61,5–99,8)
Специфичность	84,6% (69,5–94,1)
Положительная прогностическая ценность	64,7% (38,3–85,8)
Отрицательное прогностическое значение	97,1% (84,7–99,9)
Положительное отношение правдоподобия	6 (2,8–12,7)
Отрицательное отношение правдоподобия	0,1 (0,0–0,6)
Индекс Юдена	0,8 (0,3–0,9)
Диагностическая точность	86,3% (73,7–94,3)
Диагностическое отношение шансов	60,5 (6,5–559,4)

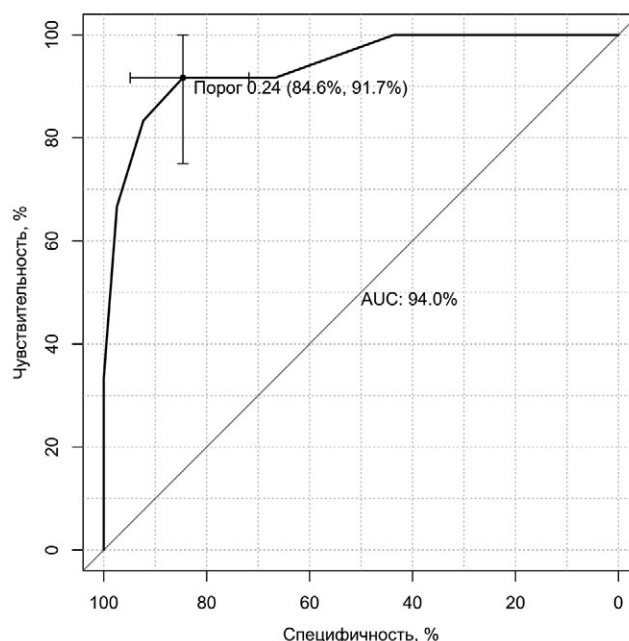


Рисунок 4. ROC-кривая (пороговое значение 24,1%)
многофакторной модели риска износа
полиэтиленового вкладыша

Figure 4. ROC curve (threshold value of 24.1%)
of the multivariate model for predicting polyethylene
liner wear

В многофакторной модели риска расшатывания/разрушения компонентов эндопротеза с помощью ROC-анализа определены лучшие по сумме показатели чувствительности (79,5%) и специфичности (65,8%) рассматриваемого метода для определения порогового значения вероятности расшатывания/разрушения компонентов

эндопротеза — 42,5%. Используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели многофакторной регрессии с вероятностью расшатывания/разрушения более 42,5% прогнозировали расшатывание или разрушение компонентов эндопротеза (табл. 6, 7; рис. 5)

Таблица 6

**Таблица сопряженности многофакторной модели вероятности
расшатывания/разрушения компонентов эндопротеза для порогового значения 42,5%**

Тест	Результат +	Результат -	Общее количество
Тест +	32	14	46
Тест -	8	26	34
Общее количество	40	40	80

Тест — прогноз многофакторной модели, результат — исходы (реальные данные).

Таблица 7

**Таблица прогностических свойств
многофакторной модели риска
расшатывания/разрушения компонентов
эндопротеза для порогового значения 42,5%**

Характеристика	Значение (95% ДИ)
Чувствительность	79,5% (64,7–90,2)
Специфичность	65,8% (48,6–80,4)
Положительная прогностическая ценность	72,9% (58,2–84,7)
Отрицательное прогностическое значение	73,5% (55,6–87,1)
Положительное отношение правдоподобия	2,3 (1,5–3,7)
Отрицательное отношение правдоподобия	0,3 (0,2–0,6)
Индекс Юдена	0,5 (0,1–0,7)
Диагностическая точность	73,2% (62,2–82,4)
Диагностическое отношение шансов	7,5 (2,8–20,2)

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты данного исследования не противоречат предыдущим исследованиям, проведенным Х.Г. Гао с соавторами и Ф. Куммер с соавторами [14, 15], и в очередной раз демонстрируют, что АА имеет потенциал в качестве дополнительного скринингового метода диагностики на амбулаторном этапе для раннего выявления неблагополучий со стороны эндопротеза. Наш метод показал очень хорошие результаты, демонстрируя чувствительность — 79,5% и специфичность — 65,8% в диагностике асептического расшатывания, а в диагностике износа ПЭТ вкладыша чувствительность — 91,7%, специфичность — 84,6%. Наши результаты превосходят данные, полученные вышеуказанными авторами, которые сравнивали АА с клинко-рентгенологическими исследованиями и получили соответствие в 87% случаев. Примечательно, что авторы в 8 случаях из 120, которые не совпадали с результатами рентгенографии, указали на сдвиг графической картины АА, соответствующей расшатыванию, что может свидетельствовать о возможности применения АА в диагностике нарушений целостности в системе «кость — имплантат» до появления рентгенологических признаков [14]. Использование иных, нелучевых, методов, основанных на альтернативных физических принципах, позволяет

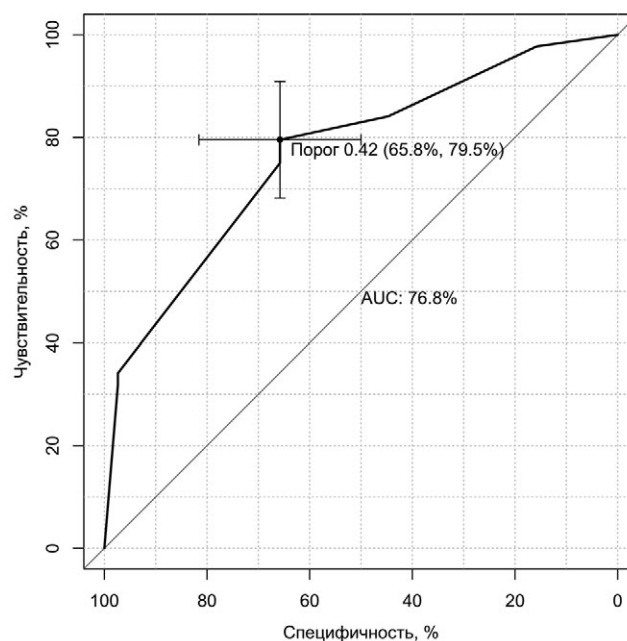


Рисунок 5. ROC-кривая (пороговое значение 42,5%) многофакторной модели риска расшатывания/разрушения компонентов эндопротеза

Figure 5. ROC curve (threshold value of 42.5%) of the multivariate model for predicting prosthetic components loosening/destruction in all patients

выявлять расшатывание и износ компонентов на стадии развития, когда рентгенологические методы еще не способны выявлять вышеуказанные признаки.

Полученные нами данные подтверждают результаты сравнительного анализа АА с клинко-рентгенологическими данными, представленного в работе Ф. Куммер с соавторами. Авторы исследовали 98 пациентов и отметили перспективу использования метода АА в диагностике износа ПЭТ вкладыша и расшатывания компонентов [15]. Авторы выявили схожесть графических изображений акустических импульсов здорового сустава с графическими изображениями импульсов нерасшатанного эндопротеза и без износа полиэтилена, но не имели возможности, в отличие от нас, представить полученные данные в числовых значениях, что является ограничением их исследования. Выявление авторами визуальных различий графических изображений у пациентов, имеющих износ ПЭТ вкладыша и признаки расшатывания компонентов, подчеркивает возможности метода, а представление данных не только в виде графика, но и в числовом формате позволяет избежать ошибочных субъективных суждений. Авторы получили три типа графических изображений импульсов, характерных для здорового сустава, схожего со стабильным эндопротезом (1),

для износа ПЭТ вкладыша (2) и для расшатанных компонентов эндопротеза (3). Однако между акустическими сигнатурами последних состояний не обнаружено клинически значимых различий, и это, по всей видимости, связано с визуальным субъективным сравнением графиков. Если бы данные имели числовые значения, не исключено, что результат был бы иным. Авторы подчеркивают высокий потенциал нового метода, но отмечают, что для объективной оценки возможностей АА необходимы более объемная база пациентов и оценка чувствительности и специфичности данного метода.

Иной подход к применению АА продемонстрировали А.Р. Georgiou и J.L. Cunningham, которые индуцировали колебания эндопротеза путем направленной вибрации с заданной частотой в области мышечков бедренной кости с последующим ее измерением после прохождения вибраций через эндопротез в области большого вертела [16]. Данный метод был протестирован на 30 пациентах, после чего были оценены его чувствительность и специфичность и выполнен сравнительный анализ с результатами рентгенографии. Авторы заключили, что предложенный ими метод диагностики чувствительнее рентгенографии на 20% и позволил выявлять расшатывание компонентов эндопротеза на 13% чаще, чем при рентгенологическом методе исследования. Но по специфичности новый метод диагностики уступил рентгенографии — 90% и 100% соответственно, что можно объяснить небольшой группой исследуемых пациентов.

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.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Метод АА после прохождения государственной регистрации изделия и получения регистрационного удостоверения может быть рекомендован для широкого применения в клинической практике в качестве дополнения к лучевым методам исследования при сомнительных результатах. Регистрация, измерение, анализ акустических сигнатур не требуют участия врача, поскольку происходят автоматически, что повышает объективность полученных данных и кардинально отличается от визуального описательного рентгенологического метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Акустическая артродетекция с применением трехосевого акселерометра позволяет получать специфические критерии (Peak, Asymmetry, Width), характерные как для хорошо фиксированных компонентов без признаков дефектности, так и для расшатанных компонентов и износа полиэтилена. Полученные специфические акустические сигнатуры, проанализированные с использованием разработанных оценочных критериев (Peak, Asymmetry, Width) коррелируют с клинорентгенологическими данными и имеют высокую специфичность (84,6%) и чувствительность (91,7%), что обуславливает потенциальную возможность применения акустической артродетекции для раннего выявления расшатывания компонентов эндопротеза и износа полиэтилена, когда рентгенологические методы исследования их не обнаруживают.

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.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Шубняков И.И., Риахи А., Денисов А.О., Корыткин А.А., Алиев А.Г., Вебер Е.В. и др. Основные тренды в эндопротезировании тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2007 по 2020 г. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):119-142. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142. Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliev A.G., Veber E.V. et al. The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):119-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142.
2. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty. 2024 Annual Reports. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2024>.
3. Pasqualini I., Benyamini B., Khan S.T., Zielinski M., Piuze N.S. Measures of Clinical Meaningfulness for the Hip Disability and Osteoarthritis Outcome Score Vary by Aseptic Revision Total Hip Arthroplasty Diagnosis. *J Arthroplasty*. 2025;40(9S1):S382-S388. doi: 10.1016/j.arth.2025.04.065.
4. Брагина С.В. Современные возможности ранней лабораторной диагностики перипротезного остеолита как предиктора развития асептической нестабильности эндопротеза тазобедренного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2020;26(2):261-265. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-261-265. Bragina S.V. Modern possibilities with early laboratory diagnosis of periprosthetic osteolysis predating aseptic loosening in total hip arthroplasty (literature review). *Genij Ortopedii*. 2020;26(2):261-265. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-261-265.
5. Базлов В.А., Пронских А.А., Корыткин А.А., Мамуладзе Т.З., Ефименко М.В., Павлов В.В. Изучение биологической фиксации индивидуальных имплантатов при замещении посттравматических деформаций и дефектов вертлужной впадины. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):609-614. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-609-614. Bazlov V.A., Pronskikh A.A., Korytkin A.A., Mamuladze T.Z., Efimenko M.V., Pavlov V.V. Biological fixation of customized implants for post-traumatic acetabular deformities and defects. *Genij Ortopedii*. 2023;29(6):609-614. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-609-614.
6. Weintraub M.T., Hadley M.L., Bedard N.A., Abdel M.P., Taunton M.J., Hannon C.P. Custom Acetabular Components in Revision Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review. *J Arthroplasty*. 2025;40(9S1):S588-S596.e3. doi: 10.1016/j.arth.2025.04.083.
7. Cimatti P., Del Piccolo N., Mazzotta A., Dallari B., Pennello E., Dallari D. Use of structural bone allograft in revision hip arthroplasty for massive acetabular defect: A systematic review and meta-analysis. *J Exp Orthop*. 2025;12(2):e70241. doi: 10.1002/jeo2.70241.
8. Pokorný D., Slouf M., Dybal J., Zolotarevová E., Veselý F., Jahoda D. et al. New method for quantification of UHMWPE wear particles around joint replacements. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2009;76(5):374-381. (In Czech).
9. Cachão J.H., Soares Dos Santos M.P., Bernardo R., Ramos A., Bader R., Ferreira J.A.F. et al. Altering the Course of Technologies to Monitor Loosening States of Endoprosthetic Implants. *Sensors (Basel)*. 2019;20(1):104. doi: 10.3390/s20010104.
10. Moore M.S., McAuley J.P., Young A.M., Engh C.A. Sr. Radiographic signs of osseointegration in porous-coated acetabular components. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;444:176-183. doi: 10.1097/01.blo.0000201149.14078.50.
11. Gruen T.A., McNeice G.M., Amstutz H.C. «Modes of failure» of cemented stem-type femoral components: a radiographic analysis of loosening. *Clin Orthop Relat Res*. 1979;(141):17-27.
12. Васюков В.Н., Райфельд М.А., Соколова Д.О., Таштанов Б.Р., Павлов В.В. Обработка и анализ сигналов для диагностики состояния эндопротеза тазобедренного сустава. *Доклады АН ВШ РФ*. 2024;(4):48-63. doi: 10.17212/1727-2769-2024-4-48-63. Vasyukov V.N., Raifeld M.A., Sokolova D.O., Tashtanov B.R., Pavlov V.V. Processing and analysis of signals for diagnosing the condition of a hip joint endoprosthesis. *Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2024;(4):48-63. (In Russian). doi: 10.17212/1727-2769-2024-4-48-63.
13. Kapur R.A. Acoustic emission in orthopaedics: A state of the art review. *J Biomech*. 2016;49(16):4065-4072. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.10.038.
14. Gao X.J., Murota K., Tomita Y., Ono M., Higo Y., Nunomura S. Evaluation of the Fixation of Artificial Hip Joint by Acoustic Emission. *Jpn J Appl Phys*. 1990;29(S1):215. doi: 10.7567/JJAPS.29S1.215.
15. Kummer F., Jaffe W.L. Feasibility of using ultrasonic emission for clinical evaluation of prosthetic hips. *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 2010;68(4):262-265.
16. Georgiou A.P., Cunningham J.L. Accurate diagnosis of hip prosthesis loosening using a vibrational technique. *Clin Biomech (Bristol)*. 2001;16(4):315-323. doi: 10.1016/s0268-0033(01)00002-x.

Сведения об авторах

✉ Таштанов Байкожо Рустамович

Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17

<https://orcid.org/0000-0002-8553-9712>

eLibrary SPIN: 6814-8599

e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

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

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

eLibrary SPIN: 7596-2960

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Authors' information

✉ Baikozho R. Tashtanov

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8553-9712>

eLibrary SPIN: 6814-8599

e-mail: b.tashtanov95@gmail.com

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

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

eLibrary SPIN: 7596-2960

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Райфельд Михаил Анатольевич — д-р техн. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-8826-4240>
 eLibrary SPIN: 3492-4519
 e-mail: rajfeld@corp.nstu.ru

Васюков Василий Николаевич — д-р техн. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-5938-0368>
 eLibrary SPIN: 3567-0608
 e-mail: vasyukov@corp.nstu.ru

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>
 eLibrary SPIN: 2273-2241
 e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Mikhail A. Rajfeld — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0002-8826-4240>
 eLibrary SPIN: 3492-4519
 e-mail: rajfeld@corp.nstu.ru

Vasily N. Vasyukov — Dr. Sci. (Tech.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-5938-0368>
 eLibrary SPIN: 3567-0608
 e-mail: vasyukov@corp.nstu.ru

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>
 eLibrary SPIN: 2273-2241
 e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Научная статья

УДК 616.728.3-022-089.844-089.193.4

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17733>

Этапное резэндопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться?

П.М. Преображенский, С.А. Божкова, А.В. Каземирский

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

Реферат

Актуальность. Оценка потенциального риска рецидива у пациентов с перипротезной инфекцией (ППИ) коленного сустава служит основанием для разработки дальнейшей тактики хирургического лечения и может повысить его эффективность.

Цель исследования — разработать и апробировать в клинической практике алгоритм тактики этапного хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией после первичного эндопротезирования коленного сустава.

Материал и методы. Ретроспективная часть исследования основана на сведениях о 161 пациенте с ППИ после эндопротезирования коленного сустава, прошедшем этапное лечение за период с января 2007 по январь 2017 г. С целью уточнения наличия дополнительных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы сравнения: группа 1 — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения (48 человек); группа 2 — пациенты с ППИ, успешно прошедшие этапное лечение без рецидивов инфекции (113 человек). В ходе проспективного анализа выполнили апробацию разработанного алгоритма на 100 пациентах с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава.

Результаты. На ретроспективном массиве данных при помощи метода деревьев классификации определили весомость каждого фактора риска, интервальные значения, характеризующие вероятность неудачи предстоящей операции и аналогичный показатель для суммарного балла риска рецидива (СБРР), который позволит применить на практике полученные данные. Итогом ретроспективного исследования стал алгоритм, основанный на СБРР, а также дополнительных факторах, позволяющий стратифицировать вероятность неудачного исхода. Из 100 пациентов проспективной группы с ППИ коленного сустава после имплантации спейсера эрадикация инфекции наблюдалась у 95 пациентов — эффективность 95,0%. Из 5 пациентов с рецидивом ППИ высокий риск (СБРР 4) зарегистрировали в 2 случаях, исходом в одном случае был артродез коленного сустава, остальные успешно прошли этапное лечение. Таким образом, купирование инфекции достигнуто в 88%, рецидив — в 12% случаев.

Заключение. Клиническая апробация предложенного алгоритма помогла выбрать оптимальную тактику лечения в неоднозначных клинических ситуациях, что повысило эффективность этапного лечения. Однако проспективная часть исследования показала ограниченную прогностическую эффективность предложенного алгоритма, что требует проведения дальнейших исследований, по-видимому, включающих более широкий спектр клинико-лабораторных, клинических и инструментальных данных.

Ключевые слова: перипротезная инфекция; ревизионное эндопротезирование коленного сустава; коморбидность; факторы риска.

Для цитирования: Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Этапное резэндопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться? *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):28-40. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17733>.

Преображенский Петр Михайлович; e-mail: Pedrro@yandex.ru

Рукопись получена: 23.06.2025. Рукопись одобрена: 01.10.2025. Статья опубликована онлайн: 16.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Staged Revision Knee Arthroplasty in Patients with Periprosthetic Joint Infection: When to Stop?

Petr M. Preobrazhensky, Svetlana A. Bozhkova, Alexander V. Kazemirsky

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

Background. Assessing the potential risk of recurrence in patients with periprosthetic joint infection (PJI) of the knee serves as the basis for determining the optimal surgical treatment strategy and may increase its effectiveness.

The aim of the study was to develop and clinically validate an algorithm for staged surgical treatment of patients with periprosthetic joint infection following primary total knee arthroplasty.

Methods. The retrospective part of the study was based on the data from 161 patients with PJI after total knee arthroplasty who underwent staged treatment between January 2007 and January 2017. To identify additional risk factors for recurrence, patients were divided into two comparison groups: Group 1 — patients with recurrent PJI after the first stage of treatment (n = 48); Group 2 — patients with PJI who successfully completed staged treatment without recurrence (n = 113). Subsequently, a prospective validation of the developed algorithm was performed in 100 patients with PJI after primary total knee arthroplasty.

Results. Using classification tree analysis on the retrospective dataset, we determined the weight of each risk factor, the interval thresholds characterizing the likelihood of surgical failure, and an analogous indicator for the total recurrence risk score (TRRS), which allows for the practical application of the obtained data. The resulting algorithm, based on the TRRS and additional factors, enabled the stratification of the probability of treatment failure. Among 100 patients in the prospective cohort with knee PJI after spacer implantation, infection eradication was achieved in 95 patients (effectiveness = 95.0%). Among the 5 patients with recurrent PJI, a high risk (TRRS = 4) was identified in 2 cases; one patient required knee arthrodesis, and the remaining patients successfully completed staged treatment. Overall, infection eradication was achieved in 88% of cases, while recurrence occurred in 12%.

Conclusion. Clinical validation of the proposed algorithm helped determine the optimal treatment strategy in controversy clinical situations, thereby improving the effectiveness of staged therapy. However, the prospective part of the study demonstrated limited predictive performance of the algorithm, indicating the need for further research, likely including a broader range of clinical, laboratory, and instrumental data.

Keywords: periprosthetic joint infection; revision total knee arthroplasty; comorbidity; risk factors.

Cite as: Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Staged Revision Knee Arthroplasty in Patients with Periprosthetic Joint Infection: When to Stop? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):28-40. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17733>.

✉ Petr M. Preobrazhensky; e-mail: Pedrro@yandex.ru

Submitted: 23.06.2025. Accepted: 01.10.2025. Published online: 16.10.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Оценка потенциального риска рецидива перипротезной инфекции (ППИ) коленного сустава служит критерием для разработки дальнейшей тактики хирургического лечения и может повысить его эффективность, а также оградить хирурга от заведомо рискованного вмешательства. Ранее мы выполнили ретроспективный анализ пациентов с перипротезной инфекцией (ППИ) коленного сустава (КС), определили структуру, частоту и степень выраженности сопутствующих заболеваний, рассчитали индекс коморбидности (ИК). Этот показатель позволил выявить категорию пациентов с высокой вероятностью риска рецидива [1]. Однако в литературе описан ряд факторов риска манифестации и рецидива ППИ, не связанных с коморбидностью пациентов. К таким факторам относятся многократные оперативные вмешательства на коленном суставе, предшествовавшие первичному эндопротезированию, наличие трудноизлечимых возбудителей [2], а также исходный диагноз, послуживший причиной первичного вмешательства [3], продолжительность госпитализации (более 35 дней) [4] и тип имплантированного на этапе санации антимикробного цементного спейсера [5].

В ряде случаев неоднократные попытки этапного реэндопротезирования пациентов с ППИ КС с наличием многочисленных факторов риска заведомо обречены на неудачу, и каждая последующая санация или реэндопротезирование приводят лишь к усугублению коморбидности пациента, более значимой потере костной массы, рубцовой деформации мягких тканей в области оперативного вмешательства, как максимально затрудняя выполнение артродеза, так единственно возможного альтернативного вмешательства, позволяющего сохранить оперированную конечность.

Цель исследования — разработать и апробировать в клинической практике алгоритм тактики этапного хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией после первичного эндопротезирования коленного сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование состояло из ретро- и проспективной частей.

Ретроспективная часть исследования основана на сведениях о 161 пациенте с ППИ после эндопротезирования КС, прошедших этапное лечение в ФГБУ «НМИЦ ТО им Р.Р. Вредена» Минздрава России за период с января 2007 по январь 2017 г., собранных в ходе диссертационного исследования первого автора*. Медиана срока наблюдения составила 5,6 [2,4; 7,2] года, медиана возраста — 61,4

[51; 73] года. Подробная характеристика когорты представлена в ранее опубликованном исследовании [1]. С целью уточнения дополнительных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы сравнения:

- группа 1 ($n = 48$) — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения
- группа 2 ($n = 113$) — пациенты с ППИ, успешно прошедшие этапное лечение без рецидивов инфекции.

Для диагностики ППИ коленного сустава применяли алгоритм, принятый на Международной согласительной конференции 2013 г. [6].

Помимо данных о диагностической значимости ИК, полученных в ходе предыдущего исследования, мы проанализировали дополнительные факторы риска, не освещенные в ранее опубликованном исследовании [1]. Среди них были: койко-день, перенесенный ранее вирусный гепатит В и С, тромбофлебит, рожистое воспаление, варикозное расширение вен, прием гормональных и цитостатических препаратов, наличие инфекции мочевыводящих путей, предшествующие первичному эндопротезированию оперативных вмешательств на суставе, а также тип выявленного возбудителя. При помощи метода деревьев классификации определили весомость каждого показателя, интервальные значения, характеризующие вероятность неудачи предстоящей операции и аналогичный показатель для суммарного балла риска рецидива (СБРР), который позволит применить на практике полученные данные. Дополнительно при помощи классификации AORI интраоперационно оценили костные дефекты метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей, сформировавшиеся в результате инфекционного процесса, а также после удаления компонентов эндопротеза [7].

Итогом ретроспективного исследования стал алгоритм, основанный на СБРР, а также дополнительных факторов, позволяющий стратифицировать вероятность неудачного исхода и определить целесообразность последующих хирургических вмешательств.

В ходе проспективного анализа выполнили апробацию разработанного алгоритма на 100 пациентах с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава в период с февраля 2018 г. по апрель 2022 г. Медиана наблюдения составила 2,9 лет [1,1; 4,2]. Медиана возраста пациентов исследуемой группы составила 65 лет [59; 75].

В ходе предоперационного обследования у всех пациентов анализировали структуру сопутствующей патологии и подсчитывали ИК, после этого

* Преображенский П.М. Пути оптимизации ревизионного эндопротезирования коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией. Дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2017. 163 с.

выявляли наличие или отсутствие дополнительных факторов риска. Далее, опираясь на количество полученных баллов по ИК и шкалы СБРР, пациентов стратифицировали к категории минимального, среднего или высокого риска рецидива ППИ. На основе полученной информации определяли тактику хирургического лечения в случае развития рецидива.

Для определения эффективности алгоритма определяли долю пациентов с купированной ППИ на каждом этапе лечения. За неудачу принимали переустановку спейсера после его первичной имплантации. Об эффективности этапа реэндопротезирования судили по результатам очного осмотра или телефонного анкетирования не ранее чем через 2 года после окончания этапного лечения. Летальный исход вне зависимости от его причин был расценен как негативный исход лечения.

Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы клинические результаты анализировали средствами программной системы STATISTICA 10. Сопоставление частотных характеристик (пол, тип ППИ, коморбидность, тип спейсера и исход) качественных показателей проводили с помощью непараметрических методов χ^2 , χ^2 Пирсона, критерия Фишера. Сравнение количественных параметров (возраст, длительность стационарного лечения) в исследуемых группах осуществляли с использованием критериев Манна–Уитни. В качестве центральной характеристики использовали медиану (Me), а в качестве мер рассеяния нижний и верхний квартили [Q_1 ; Q_3]. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Для определения значимости факторов и пороговых значений в предложенной в объединенной прогностической шкале был использован метод деревьев классификации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ретроспективная часть исследования

После полученной информации о влиянии индекса коморбидности на вероятность развития рецидива инфекции был проанализирован ряд других факторов с использованием аналогичной ретроспективной выборки. Наиболее весомыми были: продолжительность пребывания пациента в стационаре на этапе имплантации спейсера и его тип, эпизоды рожистого воспаления или тромбоза оперированной конечности, перенесенный вирусный гепатит В или С, резистентность возбудителя. Метод деревьев классификации позволил выявить значимость вышеупомянутых факторов (табл. 1).

На следующем этапе были определены интервальные значения, благодаря которым можно судить о степени предполагаемого риска хирургического вмешательства, каждому фактору присвоены пороговые критерии (табл. 2)

Было подсчитано соотношение пациентов различных категорий риска среди всех пациентов с рецидивами ППИ и успешно прошедших двухэтапное лечение. При СБРР, когда риск расценивался как средний, исход двухэтапного лечения в большинстве случаев был положительным (69,9%) ($p = 0,003$). Пациенты, у которых развивался рецидив ППИ, в 66,7% ($p = 0,0001$) принадлежали к категории высокого риска по СБРР (4–9 баллов).

Медиана СБРР у успешно пролеченных пациентов составила 1,2 [0; 4], у пациентов с рецидивами — значимо выше — 4,1 [1; 8]. Выраженную взаимосвязь неуспеха этапного лечения со значением СБРР характеризует коэффициент корреляции гамма ($R_\gamma = +0,95$). Вероятность развития рецидива инфекции (OR) в случае низкого его риска в соответствии с СБРР (1–3 балла) больше в 9,2 раза по сравнению с пациентами, у которых СБРР равен 0 (табл. 3).

Таблица 1

Факторы риска рецидива ППИ

Фактор	Значимость	p
Индекс коморбидности (ИК)	1	0,003
Продолжительность стационарного лечения, койко-день	2	0,010
Тромбофлебит	3	0,010
Вирусные гепатиты В и С	4	0,010
Тип спейсера	5	0,010
Рожистое воспаление	6	0,020
Предшествующие операции	7	0,020
Грамотрицательные микроорганизмы, микробные ассоциации	8	0,030

Таблица 2

Пороговые значения показателей и суммарного балла риска рецидива (СБРР)

Параметр	Пороговые критерии для СБРР
Индекс коморбидности	0–7 = 0; 8–12 = 1; Выше 12 = 2
Продолжительность стационарного лечения, койко-день	0–34 = 0; Более 34 = 1
Тромбофлебит	Нет = 0; Есть = 1
Вирусный гепатит В и С	Нет = 0; Есть = 1
Тип спейсера	Артикулирующий = 0; неартикулирующий = 1
Рожистое воспаление	Нет = 0; Есть = 1
Предшествующие операции	Нет = 0; Есть = 1
Грам(-) микроорганизмы, микробные ассоциации	Грам(+) = 0; Грам(-) или микробная ассоциация = 1
Итоговый балл	
СБРР = 0 баллов — низкий риск рецидива ППИ	
СБРР = 1–3 балла — средний риск рецидива	
СБРР = 4–9 балла — высокий риск рецидива	

Таблица 3

Распределение по категориям риска внутри каждой группы исследования, n (%)

Риск	Группа 1	Группа 2	p (между группами)
Низкий	0 (0)	32 (28,3)	0,0001
Средний	16 (33,3)	79 (69,9)	0,0300
Высокий	32 (66,7)	2 (1,8)	0,0001
Итого	100%	100%	

Наличие так называемой серой зоны (средний риск рецидива) позволило предположить, что существуют дополнительные факторы, не попавшие в перечень статистически значимых, но при этом играющие существенную роль в развитии рецидива.

Сравнительный анализ структуры микробных возбудителей показал, что у пациентов с рецидивами в 2 раза чаще встречались MRSA (40% vs 17,7%) ($p = 0,086$). В то же время процент MRSE в обеих группах не имел значимых различий. Трудноизлечимые возбудители, а именно *Corynebacterium* spp., fam. *Enterobacteriaceae* и микробные ассоциации (22,6 vs 10,6%; $p = 0,05$) чаще были выделены у пациентов с эпизодами рецидивов. Более того, у них более чем в 2 раза чаще (18,8% vs 6,2%) в микробной ассоциации присутствовали Грам(-) возбудители.

Оценка костных дефектов метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей после удаления компонентов эндопротеза по классификации AORI показала, что переустановка антимикробного спейсера у значимой доли пациентов ($p = 0,05$) приводит к критической потере костной массы: дефекты типов 2В и 3 как бедренной (F) (у 64,3% пациентов), так и большеберцовой (Т) костей (46,5% пациентов) (рис. 1, 2).

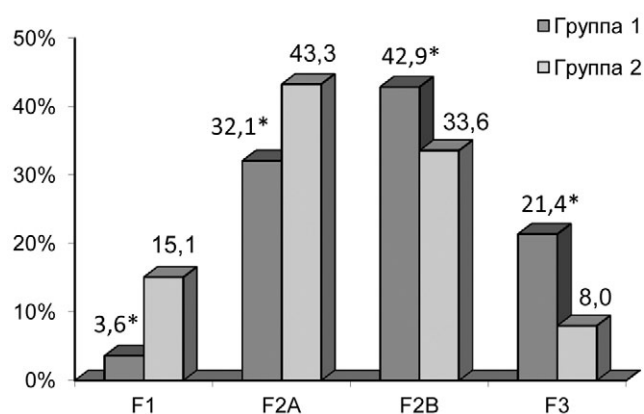


Рисунок 1. Дефекты метаэпифиза бедренной кости после этапа санации у пациентов групп сравнения
* — $p = 0,05$ в сравнении с группой 2

Figure 1. Femoral metaphyseal defects after spacer implantation in patients from 1 and 2 groups
* — $p = 0.05$ compared with group 2

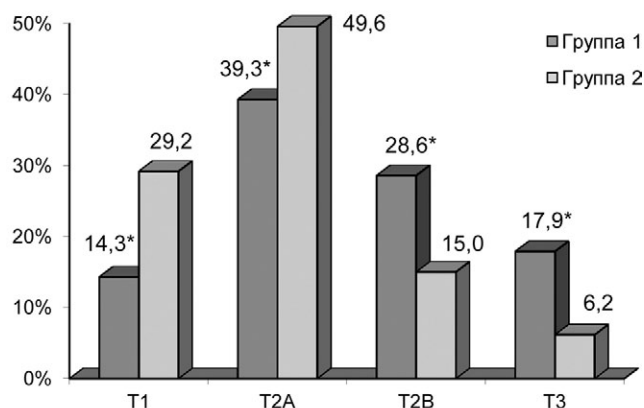


Рисунок 2. Дефекты метаэпифиза большеберцовой кости после этапа санации у пациентов групп сравнения

* – $p = 0,05$ в сравнении с группой 2

Figure 2. Tibial metaphyseal defects after spacer implantation in patients from 1 and 2 groups

* – $p = 0.05$ compared with group 2

Описание алгоритма

Анализ ретроспективного массива данных, в ходе которого были изучена частота встречаемости различных факторов риска у пациентов с рецидивами

ППИ и без него, стал основанием для разработки и формулировки алгоритма, благодаря которому при поступлении пациента с ППИ можно в зависимости от клинической ситуации выбрать ту или иную тактику хирургического лечения (рис. 3).

В день госпитализации пациента после клинико-лабораторного обследования определяли его категорию риска рецидива при помощи калькуляции СБРР.

Если риск рецидива инфекции по сумме баллов соответствовал низкому (СБРР = 0), считали допустимым сделать две попытки радикальной хирургической обработки с имплантацией антимикробного спейсера. Если переустановка антимикробного спейсера потерпела неудачу, последующие действия выполняли в зависимости от присутствия у пациента нижеперечисленных факторов:

- трудноизлечимый возбудитель ППИ и/или микробная ассоциация с Грам(-) патогенами;
- неудовлетворительное состояние мягких тканей в области оперативного вмешательства;
- выраженные костные дефекты.

При наличии одного или более критериев пациенту рекомендовали после очередной санации выполнить артродезирование коленного сустава

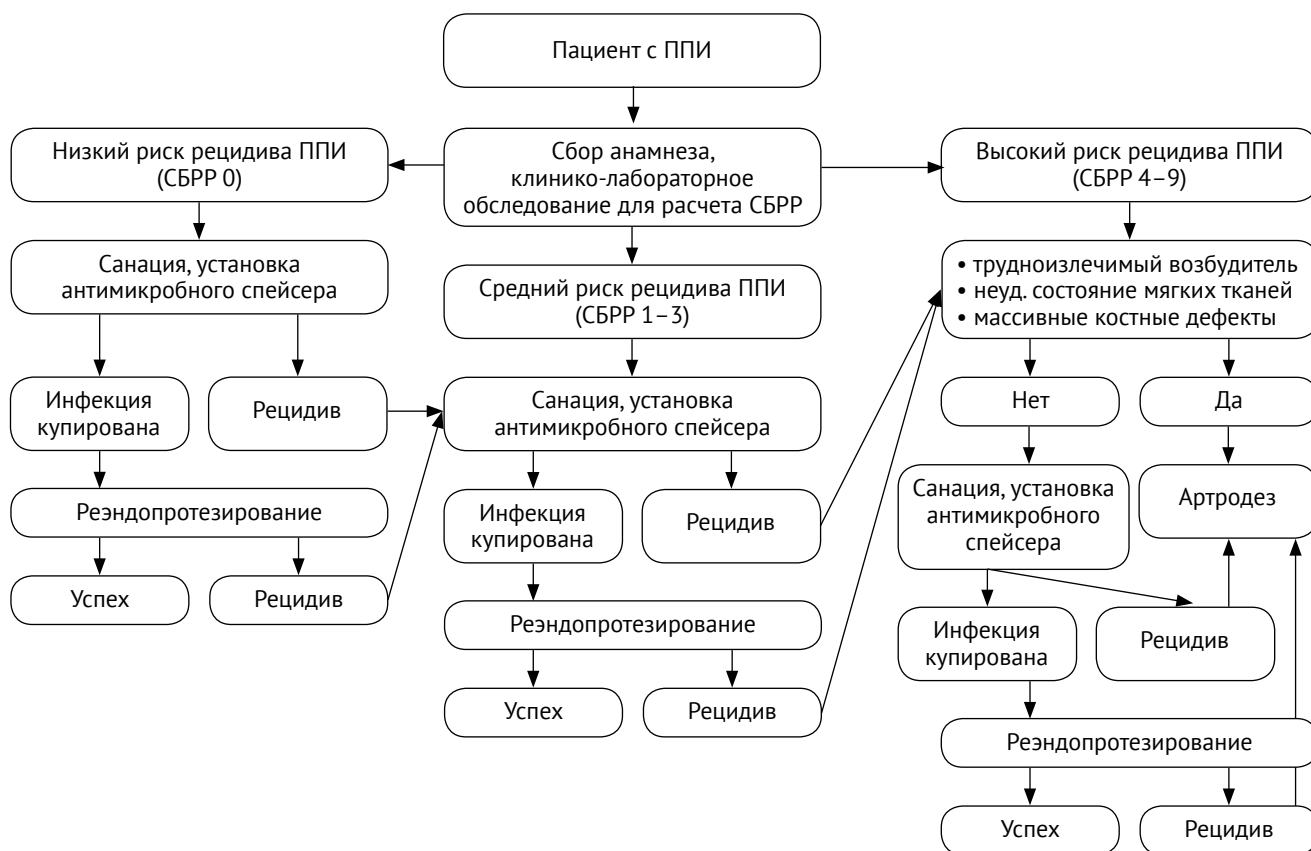


Рисунок 3. Алгоритм выбора хирургической тактики этапного лечения ППИ коленного сустава

Figure 3. Surgical algorithm for staged treatment of periprosthetic knee joint infection

в связи с бесперспективностью дальнейшего этапного хирургического лечения. В случае если дополнительных факторов не было выявлено, предпринимали еще одну попытку имплантации спейсера с дальнейшим реэндопротезированием. При неудаче было рекомендовано артродезирование. Если рецидив развивался после ревизионного эндопротезирования, также допускалась еще одна попытка этапного хирургического лечения, при негативном исходе выполняли артродез.

В случае среднего риска рецидива ППИ (СБРР 1–3) после первой попытки хирургического лечения и последующего рецидива на любом этапе дальнейшая санация и реимплантация могла быть выполнена только, если не было факторов, изложенных выше.

Дополнительные критерии оценивали при первичном поступлении пациентов с ППИ в случае высокого риска рецидива (СБРР 4–9). Если они не были выявлены, можно было предпринять одну попытку санации с дальнейшим реэндопротезированием. Наличие же хотя бы одного фактора являлось поводом к выполнению пациенту артродеза после санирующего вмешательства.

Перспективная часть исследования

Среди 100 пациентов с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава, включенных в проспективную часть исследования, преобладали женщины ($p = 0,03$). Медиана возраста пациентов составила 65 лет [59; 75], гендерное распределение было сопоставимо с пациентами ретроспективной части исследования (табл. 4).

Сопоставимыми оказались и остальные показатели, отраженные в таблице 4. Поздняя гематогенная инфекция была характерна для подавляющей доли пациентов, также как и идиопатический гонартроз как причина первичного эндопротезирования. Абсолютному большинству пациентов проспективной группы был имплантирован артикулирующий антимикробный спейсер (96 из 100).

В целом структура возбудителей у пациентов ретро- и проспективной частей исследования была сопоставимой. Обращает на себя внимание лишь большая доля метициллин-резистентного штамма *S. epidermidis* (MRSE) — 61,7%, но это не оказало влияния на эффективность санации (20 успешно пролеченных пациентов и один рецидив) (табл. 5).

Таблица 4

Характеристика пациентов, n (%)

Параметр	Ретроспективная часть исследования ($n = 161$)	Перспективная часть исследования ($n = 100$)	p
Пол			
Мужчины	41 (25,5)	34 (34)	0,03
Женщины	120 (74,5)	66 (66)	
Тип ППИ			
Ранняя	46 (28,5)	20 (20)	0,04
Отсроченная	48 (29,9)	29 (29)	
Поздняя	67 (41,6)	51 (51)	
Исходная патология			
Идиопатический гонартроз	103 (64,0)	69 (69)	0,46
Посттравматический гонартроз	37 (23,0)	21 (21)	
Ревматоидный артрит	21 (13,0)	10 (10)	

Таблица 5

Структура возбудителей ППИ у пациентов про- и ретроспективной частей исследования, n (%)

Возбудитель	Перспективная часть исследования	Ретроспективная часть исследования	p
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	39 (30,7)	63 (32,6)	0,72
<i>Staphylococcus aureus</i>	31 (24,4)	62 (32,1)	0,13
Другие КоНС	10 (7,9)	20 (10,4)	0,45
<i>Streptococcus</i> sp.	5 (3,9)	4 (2,1)	0,44
fam. <i>Enterobacteriaceae</i>	8 (6,3)	12 (6,2)	0,97
<i>Enterococcus</i> sp.	11 (8,7)	12 (6,2)	0,40
Неферментирующие	6 (4,7)	3 (1,6)	0,11
<i>Corynebacterium</i>	3 (2,4)	5 (2,6)	0,91
<i>Propionibacterium</i> sp.	10 (7,9)	5 (2,6)	0,03
<i>Candida</i> sp.	0 (0)	1 (0,5)	0,26
Другие	4 (3,1)	6 (3,1)	0,99
Всего	127 (100)	193 (100)	0,72

У пациентов проспективной части исследования медиана ИК на момент поступления составила 9,3 балла. Значения индекса, соответствующие различным степеням риска, представлены на рисунке 4а.

Медиана СБРР в проспективной когорте пациентов была 1,2 балла, что также соответствует умеренному риску рецидива. Трактовка результатов с использованием ключа СБРР по степеням риска отображена на рисунке 4б.

Летальный исход, зарегистрированный в 6 случаях, не был связан с инфекционным процессом. Медиана ИК у этих пациентов была 10,3 балла, причем у 5 из 6 пациентов зарегистрирована субкомпенсированная сердечно-сосудистая патология, а также ожирение 3-й степени и более. Медиана СБРР у вышеупомянутой когорты пациентов составила 2 балла.

Из 100 пациентов с ППИ КС после первого этапа лечения успех был достигнут у 95 пациентов — эффективность 95,0%. Из 5 пациентов с неблагоприятным исходом высокий риск рецидива (СБРР 4) был установлен в 2 случаях. Из них одному пациенту выполнен артродез коленного сустава как оптимальное решение для сохранения опороспособности нижней конечности с учетом сохранности мягких тканей в области оператив-

ного вмешательства, отсутствия массивных костных дефектов и возбудителя, поддающегося антибактериальной терапии. Еще одному пациенту в связи с отсутствием дополнительных факторов риска была выполнена успешная санация с переустановкой антимикробного цементного спейсера и последующим реэндопротезированием.

У оставшихся трех пациентов СБРР соответствовал умеренному риску при отсутствии дополнительных факторов риска — этим пациентам были успешно выполнены переустановка спейсера и реэндопротезирование.

Таким образом, купирование инфекции достигнуто в 88%, рецидив — в 12% случаев. Умерло по причинам, не связанным с ППИ, 6 пациентов (рис. 5).

В дальнейшем подсчитана эффективность эрадикации инфекции в ретро- и проспективной когортах в зависимости от риска рецидива, оцененного по сумме полученного СБРР (табл. 6).

Если в ретроспективной группе прослеживалась взаимосвязь между эффективностью эрадикации инфекции и категорией риска рецидива ППИ, то у пациентов проспективной группы эффективность при низком и среднем риске рецидива была сопоставимой.

Степень риска (ИК)



Риск СБРР



Рисунок 4. Распределение пациентов по степени риска:

а — по индексу коморбидности; б — в соответствии с ключом СБРР

Figure 4. Patients' distribution by risk level:

а — according to the comorbidity index; б — according to the total risk score for recurrence prediction

Таблица 6

Эффективность эрадикации ППИ в зависимости от значения СБРР, %

Риск по СБРР	Ретроспективная часть исследования	Проспективная часть исследования	p (между группами)
Низкий	100	95,6	0,5300
Средний	83,2	94,2	0,0200
Высокий	5,9	83,6	0,0001

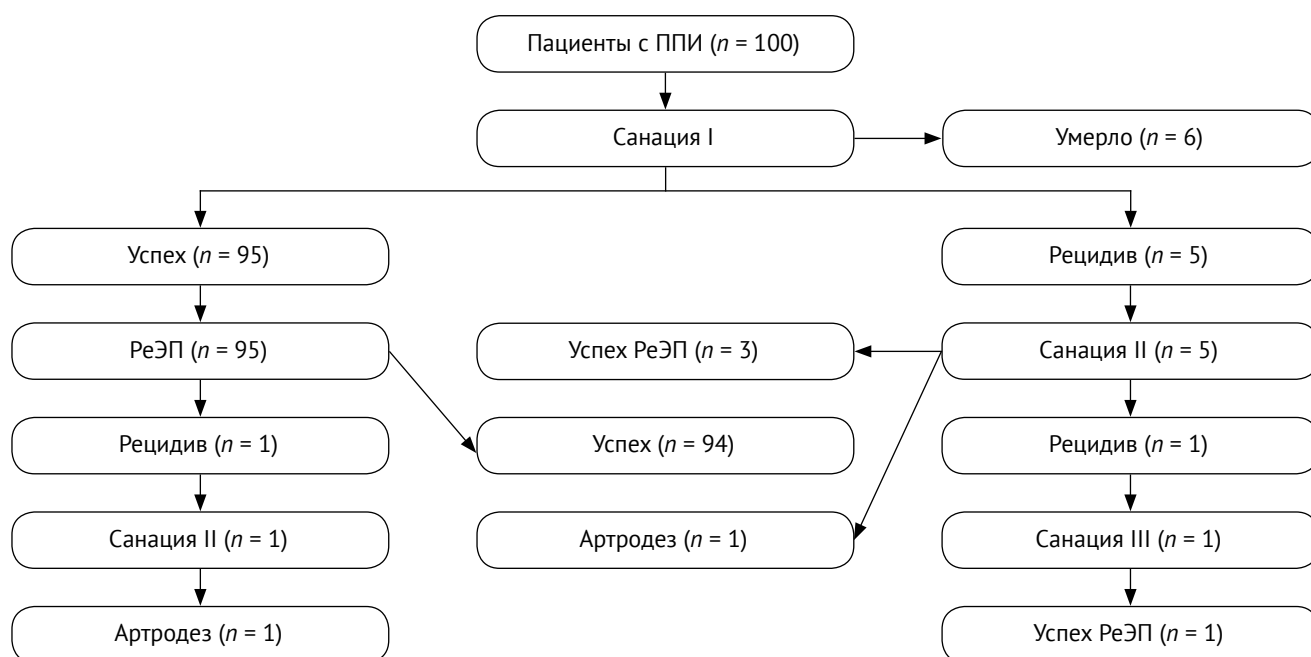


Рисунок 5. Результаты этапного лечения ППИ у пациентов проспективной части исследования

Figure 5. Outcomes of staged treatment of periprosthetic joint infection in patients from the prospective part of the study

ОБСУЖДЕНИЕ

Определение категорий пациентов с повышенным риском развития ППИ после первичного эндопротезирования является неотъемлемой частью алгоритма предоперационного обследования. С учетом того, что большая доля известных факторов риска является модифицируемой, можно заблаговременно минимизировать их потенциальное негативное влияние на итоговый результат эндопротезирования. С этой целью по итогам согласительной конференции по ППИ после определения наиболее значимых факторов был разработан калькулятор риска, позволяющий отнести пациента к той или иной категории риска манифестации ППИ [8].

В дальнейшем специалисты стали обращать все большее внимание на факторы, влияющие на риск развития рецидива ППИ после выполнения санитизирующего вмешательства и этапа ревизионного эндопротезирования. Помимо анализа структуры этих факторов, степени их влияния на эффективность эрадикации инфекции, а также сравнения с факторами риска манифестации, одним из наиболее важных является ответ на вопрос: какое количество попыток этапного лечения врач может предпринять после первого эпизода рецидива инфекционного процесса?

В ходе анализа влияния степени коморбидности на результаты этапного лечения ППИ ранее нами был установлен ряд факторов, значимо чаще присутствующих у пациентов с рецидива-

ми ППИ [1]. Например, мы выяснили, что наличие у пациента в анамнезе тромбоза, рожистого воспаления оперируемой конечности вносит свой вклад в развитие рецидива инфекции, что подтверждают данные С. Klemm с соавторами, установивших, что статус конечности 3 по McPherson (сосудистая патология конечности, наличие множественных послеоперационных рубцов, свищевого хода, регионарный болевой синдром) является наиболее весомым при использовании калькулятора, предложенного группой авторов [2]. Более того, свой вклад в усугубление статуса оперированной конечности вносят предшествующие первичному эндопротезированию хирургические вмешательства на сегменте и их количество. Вышеупомянутыми авторами доказано негативное влияние наличия в анамнезе более трех открытых операций. Наше исследование подтвердило эту закономерность, и этот фактор учитывали при подсчете СБРР.

Аналогичный эффект оказывают попытки санитизирующих вмешательств с сохранением компонентов эндопротеза после манифестации инфекционного процесса. А. Rajgopal с соавторами показали, что дальнейшее этапное лечение сопровождается большей частотой рецидивов ППИ, нарушений течения раневого процесса и худшими функциональными результатами [9]. Прогрессивное снижение эффективности каждой последующей санитизирующей операции было показано нами в ходе первой части исследования [1].

Продолжительность госпитализации пациентов, которым планируется выполнение первичного эндопротезирования, в дооперационном периоде для оптимизации сопутствующих заболеваний или в ожидании результатов бактериологического исследования положительно коррелирует с повышенным риском манифестации ППИ, причем авторы не обозначают конкретных сроков, превысив которые риск значительно увеличивается [10, 11]. Особенно опасная ситуация складывается, когда речь идет о переводе пациента из другого стационара, при этом пожилой возраст является в этой ситуации отягчающим фактором [12]. Полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что длительное пребывание пациентов в стационаре увеличивает вероятность не только манифестации, но и рецидива ППИ, причем статистический анализ показал, что период госпитализации более 34 дней существенно снижает вероятность положительного исхода. Реорганизация предоперационной подготовки, а именно выполнение бактериологического анализа и коррекция сопутствующей патологии на амбулаторном этапе, могла бы снизить сроки госпитализации и потенциальные риски.

Необходимость имплантации блоковидного антимикробного цементного спейсера возникает в сложной клинической ситуации — при дефекте мягких тканей, наличии массивных костных дефектов, повреждении разгибательного аппарата — и сопровождается высокой травматичностью оперативного вмешательства, вследствие чего снижается эффективность санирующей операции. Метаанализ J.P. Sina с соавторами, включивший 41 исследование, доказал, что использование неартикулирующих спейсеров повышает риск рецидива инфекции и других послеоперационных осложнений (переломы конструкций, перипротезные переломы, неврологические нарушения) [13]. По-видимому, решение об имплантации подобных конструкций должно приниматься строго по показаниям, когда установка артикулирующего спейсера невозможна.

По нашим данным, таким же неблагоприятным предиктором является массивная потеря костной массы метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей (типы 2B, 3 по AORI) после удаления компонентов антимикробного спейсера. Эта ситуация требует установки значительного количества аугментов, а чаще — опорных метафизарных конусов или структурных аллотрансплантатов. В ряде случаев, когда в зону дефекта попадает бугристость большеберцовой кости, происходит нарушение целостности связки надколенника, что требует ее дальнейшей реконструкции. Вышеперечисленные факторы, по нашему мнению, увеличивают травматичность, продолжительность оперативного

вмешательства и, как следствие, интраоперационную кровопотерю, повышая риск неблагоприятного исхода.

Данные о структуре возбудителей, полученные в ретроспективной части нашего исследования, показали, что выявление у пациентов с ППИ трудноизлечимых возбудителей негативно сказывается на дальнейшем прогнозе первого этапа хирургического лечения и итоговой эффективности, при этом данный фактор показал себя и как независимый фактор риска. Ряд авторов подтверждают данную закономерность. Так, S.W. Jhan с соавторами сообщают о более чем четырехкратном возрастании риска рецидива при выявлении Грам(-) возбудителей [14]. Аналогичным образом влияет и присутствие полимикробной инфекции, о чем сообщают A.C. Steinicke с соавторами, причем доля подобных случаев растет с каждой попыткой имплантации спейсера: от 18% всех случаев при манифестации ППИ до 27% и 32% при первом и повторном рецидиве соответственно [15]. Наши данные свидетельствуют о высокой доле MRSE штамма *S. epidermidis* (61,7%) в проспективно исследуемой когорте. M.R. Nays с соавторами также сообщают о смещении структуры возбудителей ППИ в сторону метициллин-резистентных штаммов стафилококков [16].

Возможность определить потенциальный риск предстоящего хирургического лечения на этапе поступления пациента с ППИ является очень важной опцией, позволяющей уберечь как пациента, так и врача от необоснованных вмешательств, потенциальная эффективность которых крайне мала [17, 18]. С этой целью рядом авторов были созданы калькуляторы, учитывающие наиболее значимые факторы риска рецидива инфекции. Взяв калькулятор СБРР за основу, мы интегрировали его в алгоритм принятия решений о хирургической тактике лечения и провели его апробацию на проспективной когорте пациентов, которым были присвоены различные категории риска. Различия во взаимосвязи между степенью риска рецидива в ретро- и проспективной когортах, по нашему мнению, могут быть связаны с большей частотой имплантации неартикулирующих спейсеров, длительным ожиданием этапа реэндопротезирования и большим количеством попыток этапного реэндопротезирования у пациентов ретроспективной группы.

Многие исследователи сообщают о влиянии множества других факторов, помимо уже установленных, на исход хирургического лечения ППИ. К ним относят мужской пол, молодой возраст, наличие иммунодефицита, длительность антибиотикотерапии, нарушение течения раневого процесса (гематома, расхождение краев раны) в раннем послеоперационном периоде, а также выявление

нового возбудителя в интраоперационных посевах [19, 20, 21, 22, 23, 24]. В ряде работ при помощи статистических инструментов были разработаны калькуляторы, которые включали наиболее значимые факторы и позволяли определить категорию риска рецидива у конкретного пациента [2, 25, 26].

Спектр ключевых факторов, влияющих на эффективность этапного лечения, достаточно широк, и авторы сходятся во мнении лишь в ряде параметров. К ним относятся наличие у пациента сахарного диабета, повышенный уровень С-реактивного белка, возраст пациента. По ряду других параметров мнения различаются. В. Zhang с соавторами доказали влияние Грам(-) микроорганизмов на эффективность эрадикации, что совпадает с нашими данными, однако С. Klemt с соавторами указывают лишь на случаи ППИ, вызванной *Enterococcus* sp. [2, 25]. В ходе нашего исследования доказано влияние открытых хирургических вмешательств на сегменте, предшествовавших первичному эндопротезированию. Схожие данные демонстрируют С. Klemt с соавторами, при этом делая акцент на их количестве (3 и более), в то же время указывая на еще большее влияние предшествующих неуспешных попыток санирующих вмешательств [2]. Говоря о вкладе сопутствующей патологии, вышеупомянутые авторы выделяют в качестве факторов риска определенные нозологии: метастатическое поражение, ВИЧ, диабет, депрессия,

системные заболевания, в то время как наше исследование показало самостоятельное значимое влияние на исход лечения не только наличия, но и выраженности сопутствующей патологии, что можно оценить при помощи предложенного нами индекса коморбидности независимо от СБРР.

Ограничения исследования

Ограничением нашего исследования является не включение в исследование пациентов, поступающих на этапе рецидива ППИ, однако планируется дальнейшее проспективное исследование, которое охватит более обширную когорту пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами алгоритм позволил суммировать результат определения СБРР и наличие независимых факторов риска неблагоприятного исхода. Клиническая апробация такого подхода помогла выбрать оптимальную тактику лечения в неоднозначных клинических ситуациях, что повысило эффективность этапного лечения. Однако проспективная часть исследования показала ограниченную прогностическую эффективность предложенного алгоритма, что требует проведения дальнейших исследований, по-видимому, включающих более широкий спектр клинико-лабораторных, клинических и инструментальных данных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Преображенский П.М. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Божкова С.А. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста рукописи.

Каземирский А.В. — сбор, анализ и интерпретация полученных 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. Не требуется.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Preobrazhensky P.M. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, drafting the manuscript.

Bozhkova S.A. — study concept and design, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Kazemirsky A.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. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Расчет индекса коморбидности как фактора риска рецидива перипротезной инфекции после установки спейсера коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):7-18. doi: 10.17816/2311-2905-1718.
Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(1):7-18. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1718
- Klemm C., Tirumala V., Smith E.J., Padmanabha A., Kwon Y.M. Development of a Preoperative Risk Calculator for Reinfection Following Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2021;36(2):693-699. doi: 10.1016/j.arth.2020.08.004.
- Sultan A.A., Mahmood B., Samuel L.T., George J., Faour M., Pelt C.E. et al. Patients with a History of Treated Septic Arthritis are at High Risk of Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2019;477(7):1605-1612. doi: 10.1097/CORR.0000000000000688.
- Rodriguez-Merchan E.C., Delgado-Martinez A.D. Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Primary Total Knee Arthroplasty. *J Clin Med*. 2022;11(20):6128. doi: 10.3390/jcm11206128.
- Warwick H.S., Tan T.L., Weiser L., Shau D.N., Barry J.J., Hansen E.N. Comparison of Static and Articulating Spacers After Periprosthetic Joint Infection. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2023;7(2):e22.00284. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-22-00284.
- Parvizi J., Gehrke T.; International Consensus Group on Periprosthetic Joint Infection. Definition of periprosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2014;29(7):1331. doi: 10.1016/j.arth.2014.03.009.
- Engh G.A., Ammeen D.J. Classification and preoperative radiographic evaluation: knee. *Orthop Clin North Am*. 1998;29(2):205-217. doi: 10.1016/S0030-5898(05)70319-9.
- Tan T.L., Maltenfort M.G., Chen A.F., Shahi A., Higuera C.A., Siqueira M. et al. Development and Evaluation of a Preoperative Risk Calculator for Periprosthetic Joint Infection Following Total Joint Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(9):777-785. doi: 10.2106/JBJS.16.01435.
- Rajgopal A., Panda I., Rao A., Dahiya V., Gupta H. Does Prior Failed Debridement Compromise the Outcome of Subsequent Two-Stage Revision Done for Periprosthetic Joint Infection Following Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2018;33(8):2588-2594. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.087.
- González-Vélez A.E., Díaz-Agero Pérez C., Robustillo-Rodela A., Monge-Jodrá V. Incidence and associated factors of surgical site infections after hip arthroplasty. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)*. 2011;55(4):270-276. doi: 10.1016/S1988-8856(11)70318-2.
- Société de Pathologie Infectieuse de Langue Française (SPILF); Collège des Universitaires de Maladies Infectieuses et Tropicales (CMIT); Groupe de Pathologie Infectieuse Pédiatrique (GPIP); Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR); Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFOT); Société Française d'Hygiène Hospitalière (SFHH) et al. Recommendations for bone and joint prosthetic device infections in clinical practice (prosthesis, implants, osteosynthesis). Société de Pathologie Infectieuse de Langue Française. *Med Mal Infect*. 2010;40(4):185-211. doi: 10.1016/j.medmal.2009.12.009.
- Lee J., Singletary R., Schmader K., Anderson D.J., Bolognesi M., Kaye K.S. Surgical site infection in the elderly following orthopaedic surgery. Risk factors and outcomes. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:1705-1712. doi: 10.2106/JBJS.E.01156.
- Sina J.P., Sabah S.A., Schrednitzki D., Price A.J., Hamilton T.W., Alvand A. Indications and techniques for non-articulating spacers in massive bone loss following prosthetic knee joint infection: a scoping review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(9):5793-5805. doi: 10.1007/s00402-023-04893-z.
- Jhan S.W., Lu Y.D., Lee M.S., Lee C.H., Wang J.W., Kuo F.C. The risk factors of failed reimplantation arthroplasty for periprosthetic hip infection. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):255. doi: 10.1186/s12891-017-1622-1.
- Steinicke A.C., Schwarze J., Gosheger G., Moellenbeck B., Ackmann T., Theil C. Repeat two-stage exchange arthroplasty for recurrent periprosthetic hip or knee infection: what are the chances for success? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(4):1731-1740. doi: 10.1007/s00402-021-04330-z.
- Hays M.R., Kildow B.J., Hartman C.W., Lyden E.R., Springer B.D., Fehring T.K. et al. Increased Incidence of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus in Knee and Hip Prosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2023;38(6S):S326-S330. doi: 10.1016/j.arth.2023.02.025.
- Шпиняк С.Н., Барабаш А.П., Гиркало М.В. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование при перипротезной инфекции коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2016;3(19):58-61.
Shpinyak S.P., Barabash A.P., Girkalo M.V. Two-stage revisionary endoprosthesis in periprosthetic infection of a knee joint. *Department of Traumatology & Orthopedics*. 2016;3(19):58-61. (In Russian).
- Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Емельянов В.Ю. Среднесрочные результаты лечения перипротезной инфекции коленного сустава с применением спейсера с комбинированным углеродно-серебряным антибактериальным покрытием. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2024;14(1):47-54. doi: 10.20340/vmi-rvz.2024.1.CLIN.1
Malyuchenko L.I., Nikolaev N.S., Emel'yanov V.Yu. Treatment of periprosthetic knee joint infection using a spacer with a mixed carbonsilver antibacterial coating in the medium term. *Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ» (Rehabilitation, Doctor and Health)*. 2024;14(1):47-54. (In Russian). doi: 10.20340/vmi-rvz.2024.1.CLIN.1.
- Chen Y.C., Lin Y.C., Chang C.H., Lee S.H., Chang Y. Risk Factors for Treatment Failure in Patients Who Have Knee Periprosthetic Joint Infection Treated With Two-Stage Exchange Arthroplasty as Well as Their Fate. *J Arthroplasty*. 2023;38(2):355-360. doi: 10.1016/j.arth.2022.08.033.

20. Ekhtiari S., Gazendam A., Saidahmed A., Petrucci D., Winemaker M.J., de Beer J.D. et al. Risk factors for recurrence of periprosthetic joint infection following operative management: a cohort study with average 5-year follow-up. *Ann Jt.* 2022;8:2. doi: 10.21037/aoj-22-4.
21. Wang Q., Huang J., Chen X., Jin Y. Risk factors of reinfection after prosthesis removal and antibiotic bone cement spacer implantation for the treatment of periprosthetic joint infection. *BMC Infect Dis.* 2022;22(1):905. doi: 10.1186/s12879-022-07908-z.
22. Sakellariou V.I., Poultsides L.A., Vasilakakos T., Sculco P., Ma Y., Sculco T.P. Risk Factors for Recurrence of Periprosthetic Knee Infection. *J Arthroplasty.* 2015;30(9):1618-1622. doi: 10.1016/j.arth.2015.04.005.
23. Lee W.S., Park K.K., Cho B.W., Park J.Y., Kim I., Kwon H.M. Risk factors for early septic failure after two-stage exchange total knee arthroplasty for treatment of periprosthetic joint infection. *J Orthop Traumatol.* 2024;25(1):6. doi: 10.1186/s10195-024-00750-w.
24. Грищук А.Н., Леонова С.Н., Камека А.Л. Использование алгоритма выбора хирургической тактики при перипротезной инфекции крупных суставов. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(6):199-204. doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.24
- Grishchuk A.N., Leonova S.N., Kameka A.L. Using an Algorithm to Choose the Surgical Tactics for the Treatment of Periprosthetic Infection of Large Joints. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(6):199-204. (In Russian) doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.24
25. Zhang B., Liu Z., Liu S., Liu B., Li M., Li W. et al. Retrospective Study from a Single Center to Identify Risk Factors Associated with Reinfection in Patients Undergoing 2-Stage Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *Med Sci Monit.* 2022;28:e936973. doi: 10.12659/MSM.936973.
26. Tikhilov R., Bozhkova S., Denisov A., Labutin D., Shubnyakov I., Razorenov V. et al. Risk factors and a prognostic model of hip periprosthetic infection recurrence after surgical treatment using articulating and non-articulating spacers. *Int Orthop.* 2016;40:1381-1387. doi: 10.1007/s00264-015-3072-4.

Сведения об авторах

✉ Преображенский Петр Михайлович — канд. мед. наук
 Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
 ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
 eLibrary SPIN: 1243-7268
 e-mail: Pedrro@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук,
 профессор
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
 eLibrary SPIN: 3086-3694
 e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Каземирский Александр Викторович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>
 eLibrary SPIN: 4183-6094
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru

Authors' information

✉ Petr M. Preobrazhensky — Cand. Sci. (Med.)
 Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,
 195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
 eLibrary SPIN: 1243-7268
 e-mail: Pedrro@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
 eLibrary SPIN: 3086-3694
 e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Alexander V. Kazemirsky — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>
 eLibrary SPIN: 4183-6094
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru



Indices of Systemic Inflammation for Predicting Early Infections After Major Joint Arthroplasty

Lyudmila V. Lyubimova¹, Evgeniya A. Mikishanina^{1,2}, Nikolay S. Nikolaev^{1,2},
Evgeniy A. Lyubimov¹, Elena V. Preobrazhenskaya¹

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

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

Abstract

Background. Infectious complications after arthroplasty pose a serious problem for both the patient and the health facility. Therefore, their prognosis is of great clinical importance.

The aim of the study — to determine the feasibility of using systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) to predict the development of early periprosthetic joint infection at the stage of planning major joint arthroplasty.

Methods. A single-center retrospective non-randomized comparative study of cases of primary hip or knee arthroplasty (n = 6036) was conducted: Group 1 — patients without subsequent development of infection at a period of ≤ 4 weeks after surgery (n = 5843); Group 2 — with subsequent development of periprosthetic joint infection (n = 193). Threshold values of quantitative indicators (BMI, age, inflammation indices SII, SIRI, and AISI) were calculated. The contribution of variables (including categorical ones such as sex and joint) to the risk of developing early infection was determined using AI-driven machine learning based on multivariate logistic regression.

Results. The study groups were comparable in terms of sex, BMI, and operated joints, but differed in terms of age (p = 0.0067). The values of SIRI, SII, and AISI were statistically significantly higher in Group 2. SII (with a logistic regression coefficient of 0.2108) was the most significant factor in predicting the development of infection. The obtained SII and SIRI threshold values were 498.9 and 0.8 (respectively), with an AUC of 0.55 (95% CI: 0.54–0.56). The constructed model for predicting the risk of early infection after arthroplasty based on multivariate logistic regression showed an average accuracy level of AUC = 0.62 (95% CI: 0.30–0.72), indicating a low risk of infection with a coefficient between 0.30 and 0.50, and a high risk with a coefficient between 0.51 and 0.72.

Conclusion. The use of systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) in a mathematical model for predicting early periprosthetic infection can help in taking necessary measures for preoperative preparation of the patient before primary arthroplasty to reduce the incidence of this infectious complication.

Keywords: systemic inflammation indices; SIRI; SII; AISI; early infection; infection risk prediction; arthroplasty.

Cite as: Lyubimova L.V., Mikishanina E.A., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Preobrazhenskaya E.V. Indices of Systemic Inflammation for Predicting Early Infections After Major Joint Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):41–52. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17754>.

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

Submitted: 07.08.2025. Accepted: 01.09.2025. Published online: 22.09.2025.

© Eco-Vector, 2025



Индексы системного воспаления в прогнозировании ранних инфекций после эндопротезирования крупных суставов

Л.В. Любимова¹, Е.А. Микишанина^{1,2}, Н.С. Николаев^{1,2}, Е.А. Любимов¹,
Е.В. Преображенская¹

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

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

Реферат

Актуальность. Развитие инфекционных осложнений после эндопротезирования — серьезная проблема как для пациента, так и для лечебного учреждения, в связи с чем их прогнозирование имеет важное клиническое значение.

Цель исследования — определить возможность использования индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) для прогноза развития ранней перипротезной инфекции на этапе планирования эндопротезирования крупных суставов.

Материал и методы. Проведено одноцентровое ретроспективное нерандомизированное сравнительное исследование случаев первичного эндопротезирования тазобедренного или коленного сустава ($n = 6036$): группа 1 — пациенты без последующего развития инфекции на сроке ≤ 4 нед. после операции ($n = 5843$); группа 2 — с последующим развитием перипротезной инфекции ($n = 193$). Рассчитаны пороговые значения количественных показателей (ИМТ, возраста, индексов воспаления SII, SIRI, AISI). Определен вклад признаков (в т. ч. категориальных — пол, сустав) в риск развития ранней инфекции методом машинного обучения с помощью искусственного интеллекта на основе многофакторной логистической регрессии.

Результаты. Группы исследования были сопоставимы по полу, ИМТ, оперированным суставам, различаясь по возрасту ($p = 0,0067$). Показатели индексов системного воспаления SIRI, SII, AISI у пациентов из группы 2 были статистически значимо выше. Наиболее значимым фактором в прогнозе развития инфекции является индекс SII с коэффициентом логистической регрессии 0,2108. Полученные пороговые значения SII и SIRI составляли 498,9 и 0,8 соответственно, AUC = 0,55 (95% ДИ: 0,54–0,56). Построенная модель прогноза развития ранней инфекции после эндопротезирования на основе многофакторной логистической регрессии показала средний уровень точности AUC = 0,62 (95% ДИ: 0,30–0,72), определив низкий риск инфекции при коэффициенте от 0,30 до 0,50, высокий — в пределах 0,51–0,72.

Заключение. Использование индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) в математической модели прогноза развития ранней перипротезной инфекции может помочь принять необходимые меры по предоперационной подготовке пациента к первичному эндопротезированию и снизить частоту ее возникновения.

Ключевые слова: индексы системного воспаления; SIRI; SII; AISI; ранняя инфекция; прогноз риска инфекций; эндопротезирование.

Для цитирования: Любимова Л.В., Микишанина Е.А., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Преображенская Е.В. Индексы системного воспаления в прогнозировании ранних инфекций после эндопротезирования крупных суставов. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):41-52. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17754>.

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

Рукопись получена: 07.08.2025. Рукопись одобрена: 01.09.2025. Статья опубликована онлайн: 22.09.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Infectious complications after arthroplasty are a serious problem both for the patient and for the healthcare institution, which makes the prediction of such complications clinically significant [1]. Among the serum markers of inflammation, it is important to identify the most informative ones to develop a simple and effective method for detecting the risk of infections at the stage of patient preparation for arthroplasty.

A complete blood count (CBC) is a simple, widely available, inexpensive, and informative method of investigation, used by physicians in everyday practice for the diagnosis of various diseases, including infectious ones. However, the informativeness of CBC results regarding individual blood cell elements is limited.

In recent years, in different fields of medicine, combinations of individual CBC parameters have increasingly been used to assess the prognosis of disease severity; these have been termed “novel integral markers of inflammation”. They include the Systemic Immune-Inflammation Index (SII), the Systemic Inflammation Response Index (SIRI), and the Aggregate Index of Systemic Inflammation (AISI). These indices combine several blood parameters, which increases their informativeness compared to individual markers. They comprehensively reflect the activity of leukocytes, neutrophils, monocytes, and platelets, which play a key role in the infectious process [2, 3, 4].

The SII index mathematically relates platelets, neutrophils, and lymphocytes and, as has been shown, is a good predictor of systemic inflammatory response syndrome and sepsis in patients with odontogenic abscess [2].

The calculation of the SIRI index is based on neutrophil, monocyte, and lymphocyte counts. This index has demonstrated its usefulness in predicting successful re-implantation of prosthesis after two-stage revision procedures (“1.5-stage revision arthroplasties”) in chronic cases of periprosthetic joint infection (PJI) [3].

The AISI index, which reflects the ratio of neutrophils, lymphocytes, monocytes, and platelets, is a tool for predicting disease severity and mortality in various inflammatory processes [4]. The AISI index is a more accurate predictor of

odontogenic abscess severity compared to other systemic inflammatory markers and CRP. Its introduction into clinical practice may improve early identification of high-risk patients, leading to better treatment outcomes and a reduced likelihood of complications [5].

In the field of orthopedics and traumatology, these biomarkers are useful for the quantitative assessment of surgical trauma severity and for developing recommendations for various osteosynthesis protocols [6, 7].

We hypothesized that the inflammatory indices SIRI, SII, and AISI, due to their ability to reflect systemic inflammation and immune imbalance, may be useful in predicting early infectious complications at the site of surgical intervention (arthroplasty). The hypothesis of this study is that these indices may indicate latent inflammation and prior colonization of the nasopharynx, gastrointestinal tract, urinary tract, and other organs by pathogenic microorganisms, which contribute to the development of early PJI.

The aim of the study – to determine the feasibility of using systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) to predict the development of early periprosthetic joint infection at the stage of planning major joint arthroplasty.

METHODS

A single-center retrospective non-randomized comparative study was conducted at the Federal Center of Traumatology, Orthopedics, and Arthroplasty (Cheboksary), hereinafter referred to as the Center.

The sample included the cases of primary hip or knee arthroplasty ($n = 6036$) performed at the Center, based on the data from the Medialog medical information system (MIS).

Inclusion criteria: patient age 18 years and older; ICD-10 codes M17.0-M17.9 and M16.0-M16.9.

Exclusion criteria: revision procedures, infectious arthritis, systemic diseases.

Group 1 included patients without subsequent infection within 4 weeks or less after primary arthroplasty performed in 2023 ($n = 5843$); Group 2 included patients with early PJI ($n = 193$), operated between 2015 and 2023 (due to the extremely small number of observed cases of early PJI) (Table 1).

Table 1

Baseline characteristics of the study groups

Parameter		Group 1	Group 2	p
Sex	male, n	2102	78	0.2350
	female, n	3741	115	
Joint	knee, n	2895	99	0.6860
	hip, n	2948	94	
Age, years, Me [Q ₁ ; Q ₃]		64 [57; 70]	62 [54; 68]	0.0067
BMI, kg/m ² , Me [Q ₁ ; Q ₃]		30.5 [27.2; 34.1]	31.0 [26.7; 34.5]	0.6153

Follow-up data were obtained from the MIS. The mean follow-up period for patients in both groups was 3.6 years.

The study groups were comparable in terms of sex, BMI, and the ratio of operated knee to hip joints. Group 2 differed statistically significantly from Group 1 in age, with a predominance of younger patients.

In addition to demographic characteristics (sex, age) and BMI, the following parameters were assessed: laboratory data (CBC with differential — neutrophils, monocytes, lymphocytes, platelets) at hospital admission prior to primary knee or hip arthroplasty; admission diagnosis (ICD-10). Systemic inflammation indices were calculated using the following formulas:

$SIRI = \text{neutrophil count} \times \text{monocyte count} \div \text{lymphocyte count}$;

$SII = \text{neutrophil count} \times \text{platelet count} \div \text{lymphocyte count}$;

$ASI = \text{neutrophil count} \times \text{monocyte count} \times \text{platelet count} \div \text{lymphocyte count}$.

All blood cell counts used in the calculations were expressed in absolute numbers.

At the first stage of the study, quantitative parameters were calculated, including systemic inflammation indices, with an assessment of the sensitivity and specificity of each factor and their threshold values. To improve the accuracy of infection prediction, the parameters were combined into a multivariate regression model. The contribution of categorical variables (sex, joint) to the development of early infectious complications was determined using logistic regression.

At the second stage, the multivariate risk model for early infectious complications after knee and hip arthroplasty was tested using

machine learning based on artificial intelligence, which allowed the verification of the results obtained at the first stage. Weighted logistic regression was chosen as the model for testing the proposed algorithm for predicting early infectious complications (due to the presence of categorical data, binary classification, and data imbalance caused by the rarity of early infections). This model effectively addresses class imbalance, improves calibration of predicted probabilities, and automatically encodes categorical data.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using the MedCalc software package and the built-in statistics library in Python. The normality of distribution of continuous variables was assessed using the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests (for a sample size of $n = 193$). For quantitative variables with a non-normal distribution, the median (Me) and interquartile range [Q₁; Q₃] were calculated. For categorical variables, intergroup significance was assessed using the χ^2 test or Fisher's exact test. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. To determine the diagnostic performance of the proposed serum biomarkers (threshold values, AUC, 95% CI, sensitivity, and specificity), a receiver operating characteristic (ROC) curve was constructed. The Youden index (Youden index = sensitivity + specificity – 1, range 0-1) was used to determine the optimal threshold value for each biomarker. Multivariate analysis was performed by constructing a multivariate regression model based on weighted logistic regression. To assess the impact of the data on the outcome variable (infection occurrence), Cramer's V coefficient was applied.

RESULTS

Systemic inflammation indices (SIRI, SII, AISI) in patients of Group 2 were significantly higher compared with Group 1 (Table 2).

Based on program analysis of all examined cases, threshold values for age, BMI, SIRI, SII, and AISI associated with early infection were identified. Among the studied parameters, AISI had the highest diagnostic value (AUC = 0.56 with a sensitivity of 54.4% and a specificity of 56.8%) (Table 3).

Figure 1 shows the ROC curves of quantitative factors (systemic inflammation indices SIRI, SII, and AISI, BMI, age) as predictors of early infection after major joint arthroplasty. The AUC of the ROC curve of sensitivity and specificity ranges from 0 to 1, reflecting the correlation of the examined parameter with the presence of infection. The closer the AUC value is to 1, the higher the informativeness of the integral parameter.

To improve the accuracy of predicting infectious complications, we decided to analyze a combination of several independent and objective patient-related factors: sex, BMI, age,

joint, SII, and SIRI. The AISI index was excluded from the analysis due to its high correlation with other systemic inflammation indices (SII and SIRI).

During model testing, the optimal ratio for splitting the dataset into training and testing samples was selected: 80% of the data were used for training ($n_1 = 4828$), and 20% for testing ($n_2 = 1208$).

The model was based on the logistic (sigmoid) function:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

where $z = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots$, $X_1, X_2, \dots$ are the factors; a_1, a_2 – estimated coefficients, e – constant value; p – the probability of belonging to one of the classes (“no infection” or “infection”).

For the purpose of model construction during machine learning, categorical variables (sex, joint) were encoded numerically. Quantitative variables were also binarized. If the actual value of the variable corresponded to the calculated threshold, it was assigned “1” (high risk of infection). Values below the threshold were assigned “0” (low risk of infection) (Table 4).

Table 2

Comparison of systemic inflammation indices in the study groups, Me [Q_1 ; Q_3]

Systemic inflammation index	Group 1	Group 2	p
SIRI	1.1 [0.8; 1.6]	1.2 [0.9; 1.8]	0.0195
SII	484.0 [349.8; 676.2]	533.9 [363.6; 770.7]	0.0191
AISI	280.1 [185.7; 427.4]	326.6 [201.2; 489.3]	0.0054

Table 3

ROC analysis of systemic inflammation indices, age, and BMI

Parameter	Age, years	BMI, kg/m ²	SIRI	SII	AISI
Threshold values	≤ 61	> 32.5	> 0.8	> 498.9	> 312.2
AUC (95% CI)	0.56 (0.55-0.57)	0.51 (0.50-0.52)	0.55 (0.54-0.56)	0.55 (0.54-0.56)	0.56 (0.55-0.57)
Sensitivity (95% CI)	48.2 (41.0-55.5)	40.9 (33.9-48.2)	86.5 (80.9-91.0)	58.0 (50.7-65.1)	54.4 (47.1-61.6)
Specificity (95% CI)	61.4 (60.2-62.7)	64.7 (63.5-66.0)	22.1 (21.0-23.2)	52.7 (51.4-54.0)	56.8 (55.5-58.0)
Positive predictive value, %	4.0	3.7	3.5	3.9	4.0
Negative predictive value, %	97.3	97.1	98.0	97.4	97.4
Accuracy, %	61.0	64.0	24.1	52.9	56.7

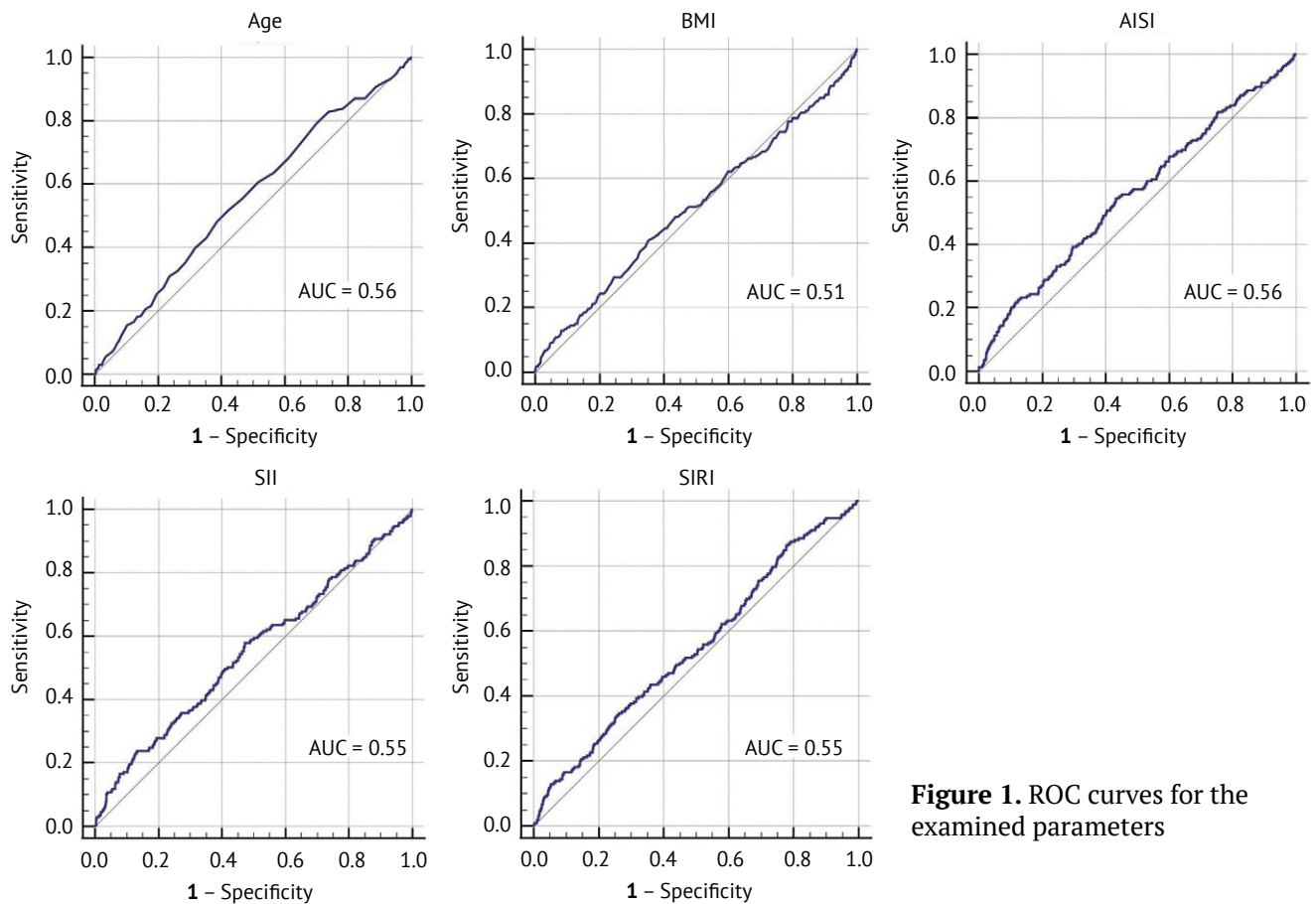


Figure 1. ROC curves for the examined parameters

Table 4

Infection risk prediction model after arthroplasty based on multivariate logistic regression

Variable	Coefficient	Value of the variable	
Quantitative variables			
		0	1
Age	0.1827	> 61	≤ 61
BMI	0.1263	≤ 32.5	> 32.5
SIRI	0.1532	≤ 0.8	> 0.8
SII	0.2108	≤ 498.9	> 498.9
Categorical variables			
Sex	-0.1365	Female	Male
	0.1260		
Joint	-0.1712	Hip	Knee
	0.1607		

Figure 2 graphically presents the model coefficients, reflecting the importance of the predictors. A positive coefficient indicates a positive “weight” of the predictor in the occurrence of the adverse event, while a negative coefficient reflects a reduced probability of the

adverse event (infection risk). Thus, “female sex” and “hip joint” did not increase the risk of early infection, whereas all other factors contributed to an increased risk. The most significant predictor of infection was the SII index, with a logistic regression coefficient of 0.2108.

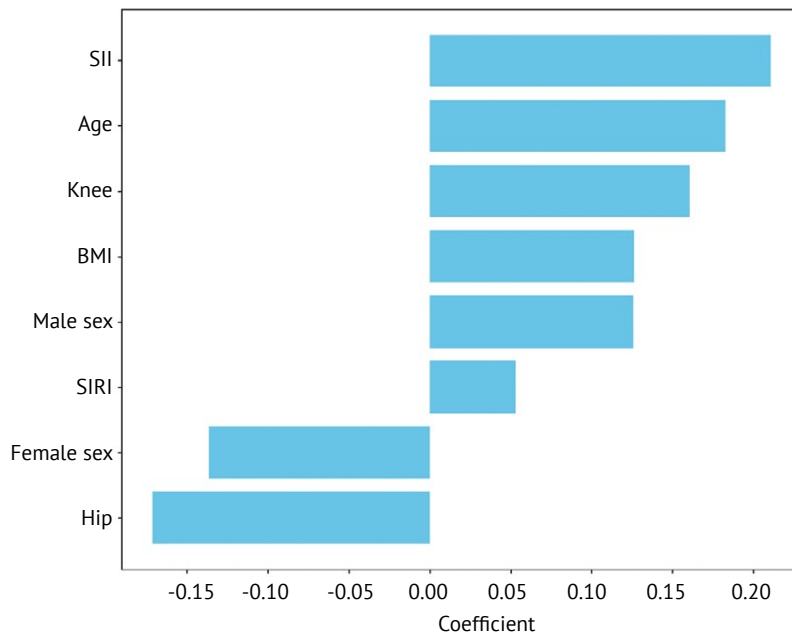


Figure 2. Representation of the impact of variables on the risk of early infectious complications

Based on the coefficients obtained from the logistic function, a ROC curve was constructed for multivariate analysis: AUC = 0.62 (95% CI: 0.30-0.72), with a sensitivity of 55.2% and a specificity of 65.6%. The model estimates the probability that a patient with the studied combination of predictors will belong to the “infection” or “no infection” group. This probability ranged from 0.30 to 0.72. A cutoff point of 0.5 was selected as the threshold for classification between the two groups (Figure 3).

According to the results of testing the predictive algorithm for early infectious complications, a confusion matrix was obtained for the testing dataset ($n_2 = 1208$) (Table 5).

The model was tested on 1208 cases of primary arthroplasty, of which 41 actually resulted in early infection. The model correctly predicted infection in 23 of these cases, while 18 cases were

incorrectly classified as “no infection”. The model correctly predicted 681 cases without infection, whereas the actual number was 1167.

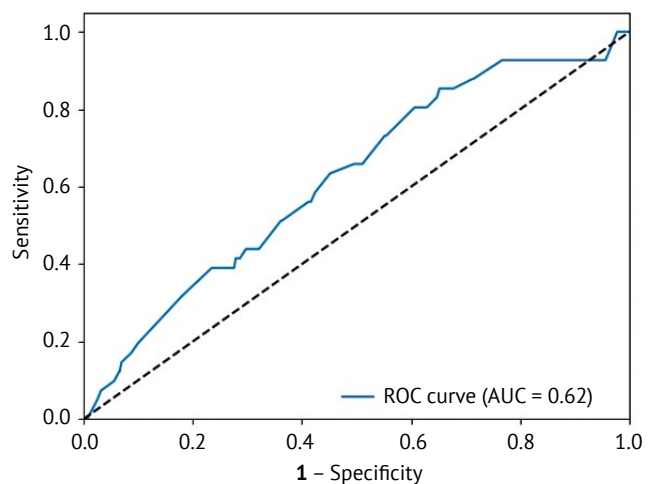


Figure 3. ROC curve for multivariate analysis

Table 5

Confusion matrix for the testing dataset

Predicted values	Patient groups	True values		
		with infection	without infection	total
	Group 2 (with infection)	23	486	509
	Group 1 (without infection)	18	681	699
	Total	41	1167	1208

An additional analysis of the confusion matrix stratified by affected joint was performed (Table 6).

The sensitivity of the method was 57.9% for the hip joint and 54.5% for the knee joint, while the specificity was equal (58.4%). The model demonstrated similar sensitivity and specificity

for both joints. The influence of the categorical variable (affected joint) on infection occurrence was evaluated using Cramer's V coefficient, which revealed a weak association between the variables ($p = 0.16$). The resulting mathematical model demonstrates moderate predictive accuracy (in the range of 0.6-0.7).

Table 6

Extended contingency table with the affected joint

Predicted values	Patient group		True values		
			with infection	without infection	total
	Group 2 (with infection)	knee hip	13 10	278 208	291 218
	Group 1 (without infection)	knee hip	9 9	279 402	288 411
		Total	41	1167	1208

DISCUSSION

The prediction of infectious complications is of great importance in clinical practice, as the number of arthroplasty procedures is steadily increasing each year, which in turn leads to a higher incidence of infections [1, 8].

In the search for mechanisms to reduce the incidence of postoperative infections, researchers have investigated various patient-related factors. It has been demonstrated that modifiable risk factors for PJI include anemia, *diabetes mellitus*, and obesity, whereas advanced age and male sex represent non-modifiable risk factors [9, 10, 11, 12]. In our study, using a mathematical model, we confirmed the findings of other authors, showing that male sex, age over 61 years, and obesity (BMI > 32.5 kg/m²) are risk factors for the development of early infection after arthroplasty.

The American College of Surgeons (ACS-NSQIP) developed the Surgical Risk Calculator to predict postoperative complications (including infectious ones). However, researchers have concluded that this tool does not provide accurate predictions of complications in patients undergoing arthroplasty [13, 14].

Russian researchers proposed an infection risk prediction model after arthroplasty based on the analysis of 14 factors, which reduced the incidence of subsequent infections from 7.5%

(in the retrospective study group) to 4.1% in the prospective study group [15]. This finding encourages further research into patient-related risk factors that can be applied to infection risk prediction.

Individual parameters of the white blood cell differential are not always specific and may be elevated for reasons unrelated to infection (e.g., postoperative stress), but in combination they provide a more accurate assessment. It is known that measuring the counts of individual blood elements, particularly leukocytes, has limited diagnostic value in routine verification of PJI due to low sensitivity (55%) and specificity (66%), although some clinicians still use a CBC because of its easy accessibility [16].

The number of neutrophils in serum increases in many infectious diseases and is an important parameter in infection diagnostics; however, this indicator is used only in combination with other diagnostic tools for the identification of PJI [17].

S. Zareifar et al. demonstrated the role of platelets in the infectious process, showing that as their count increases, their mean volume decreases in patients with active infectious diseases compared with recovered patients [18].

Monocytes, after migrating to the site of infection, differentiate into macrophages and dendritic cells, which are essential for phagocytosis of pathogens and elimination of damaged cells.

However, they are particularly important in the control and clearance of fungal, viral, and protozoal infections [19].

Lymphocytes are responsible for the specific immune response, and a reduction in their levels may indicate suppressed adaptive immune function, which can lead to more severe infections. Moreover, it has been demonstrated that persistent lymphopenia lasting four days after the diagnosis of sepsis may predict both early and late mortality and can serve as a biomarker of sepsis-induced immunosuppression [20].

In 2014, B. Hu et al. proposed the systemic immune-inflammation index (SII) as a prognostic marker in patients undergoing radical resection of hepatocellular carcinoma [21]. Subsequently, SII has shown promise as a prognostic indicator in various inflammatory conditions, including malignant tumors, coronary artery disease, acute ischemic stroke, and several chronic systemic disorders [22]. Consequently, the potential application of SII in infectious diseases is currently under active investigation. The usefulness of SII in identifying patients at increased risk of severe infections is determined by the different roles played by blood components (lymphocytes, neutrophils, and platelets) in shaping the immune response. Lymphocytes are the only cells in the body capable of accurately recognizing and responding to diverse antigens. They play a key role in most chronic inflammatory disorders, particularly autoimmune diseases and conditions associated with persistent antigens. Neutrophils are crucial in fighting infections, whereas platelets are responsible for blood clotting and are also involved in inflammatory and defense processes [23]. Given that the index incorporates several blood cell components (lymphocytes, neutrophils, and platelets), SII provides a broader reflection of the balance between systemic inflammation and immune status. In our study, the role of SII was confirmed as the most significant factor in predicting infection after arthroplasty.

Compared with traditional markers (CRP and ESR), which are often elevated in chronic diseases but do not always predict early infection, systemic inflammation indices take into account multiple blood cell parameters, which may be more specific for latent inflammation. For instance, in 2024, F. Moldovan published a study on the role of serum markers in the differential diagnosis

of PJI and aseptic loosening, in which ROC analysis yielded cutoff points and AUCs for SII (605.31; AUC = 0.851; 95% CI 0.758-0.943), SIRI (83.34; AUC = 0.810; 95% CI 0.712-0.909), and AISI (834.86; AUC = 0.822; 95% CI 0.726-0.917), demonstrating the high diagnostic significance of these indices in infection detection [4].

To predict the development of late complications in patients with trauma and other diseases, the CAR index (the ratio of C-reactive protein to albumin) has been proposed, with higher values associated with an increased risk of infection, sepsis, and mortality [24]. We were unable to evaluate this parameter for predicting early infections after arthroplasty, as CRP and albumin tests were not included in the standard preoperative assessment.

The statistically significant differences we identified in the values of integral inflammatory markers between the study groups served as the basis for their inclusion in a multivariate model for predicting infectious complications in patients scheduled for major joint arthroplasty. We observed that the AISI index demonstrated a high correlation with other systemic inflammation indices (SII and SIRI) and was therefore excluded from the multivariate prognostic model. The threshold values of SII and SIRI obtained in our study differed from those reported by F. Moldovan [4], amounting to 498.9 and 0.8, respectively, with an AUC = 0.55 (95% CI: 0.54-0.56).

The multivariate model we developed is proposed for preoperative screening of patient susceptibility to early PJI. When the calculated coefficient fell below the empirically selected cutoff of 0.5 (range 0.30-0.50), the risk of infection was considered low; values exceeding this threshold (0.51-0.72) indicated a high risk of infection. The actual cutoff can only be determined empirically through prospective model testing in clinical practice. For patients with calculated values between 0.51 and 0.72, it is necessary to optimize correctable risk factors before surgery to reduce the likelihood of early PJI.

Practical application of the mathematical model lies in the assessment of the individual risk of postoperative infection. Based on this assessment, a set of preventive measures can be implemented: preoperatively — optimization of glycemic control in patients with diabetes, eradication of chronic infection foci (oral

cavity, urinary tract), and smoking cessation; postoperatively — nutritional support, extended antibiotic prophylaxis (up to 72 hours), and close monitoring of the surgical site.

Study limitations

This study was single-center in design. For implementation in clinical practice, prospective studies are required to confirm the value of systemic inflammation indices in predicting early periprosthetic infection. Comorbidities (autoimmune, oncological) which could have influenced the study results were not taken into account.

CONCLUSION

The use of systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) in a mathematical model for predicting early periprosthetic infection, combined with preventive measures applied during the preoperative preparation stage for primary arthroplasty, may reduce the incidence of this infectious complication. Considering the insufficient accuracy of the predictive model, further investigation of additional factors influencing the risk of infectious complications in the early postoperative period is required.

DISCLAIMERS

Author contribution

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

Mikishanina E.A. — mathematical modelling, editing the manuscript.

Nikolaev N.S. — study concept, scientific guidance.

Lyubimov E.A. — data acquisition, analysis and interpretation.

Preobrazhenskaya E.V. — statistical data processing, drafting the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary), protocol No 14, 01.07.2025.

Consent for publication. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

1. Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A. Periprosthetic Joint Infection as a Socio-Economic Problem of Modern Orthopedics. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2023;78(6):601-608. (In Russian). doi: 10.15690/vramn8370.
2. Pricop M., Ancusa O., Talpos S., Urechescu H., Bumbu B.A. The Predictive Value of Systemic Immune-Inflammation Index and Symptom Severity Score for Sepsis and Systemic Inflammatory Response Syndrome in Odontogenic Infections. *J Pers Med*. 2022;12(12):2026. doi: 10.3390/jpm12122026.
3. Vitiello R., Smimmo A., Matteini E., Micheli G., Fantoni M., Ziranu A. et al. Systemic Inflammation Response Index (SIRI) and Monocyte-to-Lymphocyte Ratio (MLR) Are Predictors of Good Outcomes in Surgical Treatment of Periprosthetic Joint Infections of Lower Limbs: A Single-Center Retrospective Analysis. *Healthcare (Basel)*. 2024;12(9):867. doi: 10.3390/healthcare12090867.
4. Moldovan F. Role of Serum Biomarkers in Differentiating Periprosthetic Joint Infections from Aseptic Failures after Total Hip Arthroplasties. *J Clin Med*. 2024; 13(19):5716. doi: 10.3390/jcm13195716.
5. Tarle M., Raguž M., Lukšić I. A Comparative Study of the Aggregate Index of Systemic Inflammation (AISI) and C-Reactive Protein (CRP) in Predicting Odontogenic Abscesses Severity: A Novel Approach to Assessing Immunoinflammatory Response. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(19):2163. doi: 10.3390/diagnostics14192163.
6. Moldovan F. Correlation between Peripheral Blood Markers and Surgical Invasiveness during Humeral Shaft Fracture Osteosynthesis in Young and Middle-Aged Patients. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(11):1112. doi: 10.3390/diagnostics14111112.
7. Moldovan F. Sterile Inflammatory Response and Surgery-Related Trauma in Elderly Patients with Subtrochanteric Fractures. *Biomedicines*. 2024;12(2):354. doi: 10.3390/biomedicines12020354.
8. Hauer G., Rasic L., Klim S., Leitner L., Leithner A., Sadoghi P. Septic complications are on the rise and aseptic loosening has decreased in total joint arthroplasty: an updated complication based analysis using worldwide arthroplasty registers. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024;144(12):5199-5204. doi: 10.1007/s00402-024-05379-2.

9. Lespasio M., Mont M., Guarino A. Identifying risk factors associated with postoperative infection following elective lower-extremity total joint arthroplasty. *Perm J*. 2020;24:1-3. doi: 10.7812/TPP/20.013.
10. Ren X., Ling L., Qi L., Liu Z., Zhang W., Yang Z. et al. Patients' risk factors for periprosthetic joint infection in primary total hip arthroplasty: a meta-analysis of 40 studies. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):776. doi: 10.1186/s12891-021-04647-1.
11. Resende V.A.C., Neto A.C., Nunes C., Andrade R., Espregueira-Mendes J., Lopes S. Higher age, female gender, osteoarthritis and blood transfusion protect against periprosthetic joint infection in total hip or knee arthroplasties: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(1):8-43. doi: 10.1007/s00167-018-5231-9.
12. Myasoedov A.A., Toropov S.S., Berezin G.V., Karelkin V.V., Totoev Z.A., Shubnyakov I.I. et al. Risk Factors for Prosthetic Joint Infection after Primary Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):40-47. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-40-47.
13. Edelstein A.I., Kwasny M.J., Suleiman L.I., Khakhkhar R.H., Moore M.A., Beal M.D. et al. Can the American college of surgeons risk calculator predict 30-day complications after knee and hip arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2015;30(9 Suppl):5-10. doi: 10.1016/j.arth.2015.01.057.
14. Wingert N.C., Gotoff J., Parrilla E., Gotoff R., Hou L., Ghanem E. The ACS NSQIP risk calculator is a fair predictor of acute periprosthetic joint infection. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(7):1643-1648. doi: 10.1007/s11999-016-4717-3.
15. Vorokov A.A., Fadeev E.M., Spichko A.A., Aliev B.G., Murzin E.A., Khaidarov V.M. et al. Possibilities of forecasting surgical site infection after hip and knee replacement. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2020;22(12):106-111. (In Russian). doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-12-106-111.
16. Toossi N., Adeli B., Rasouli M.R., Huang R., Parvizi J. Serum white blood cell count and differential do not have a role in the diagnosis of periprosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2012;27(8 Suppl):51-54.e1. doi: 10.1016/j.arth.2012.03.021.
17. Thachil J., Bates I. Approach to the Diagnosis and Classification of Blood Cell Disorders. In: Bain B.J., Bates I., Laffan M.A. (eds.) *Dacie and Lewis Practical Haematology*. 12th ed. Elsevier; 2017. p. 497-510. doi: 10.1016/B978-0-7020-6696-2.00023-0.
18. Zareifar S., Farahmand Far M.R., Golfeshan F., Cohan N. Changes in platelet count and mean platelet volume during infectious and inflammatory disease and their correlation with ESR and CRP. *J Clin Lab Anal*. 2014;28(3):245-248. doi: 10.1002/jcla.21673.
19. Shi C., Pamer E.G. Monocyte recruitment during infection and inflammation. *Nat Rev Immunol*. 2011;11(11):762-774. doi: 10.1038/nri3070.
20. Drewry A.M., Samra N., Skrupky L.P., Fuller B.M., Compton S.M., Hotchkiss R.S. Persistent lymphopenia after diagnosis of sepsis predicts mortality. *Shock*. 2014;42(5):383-391. doi: 10.1097/SHK.0000000000000234.
21. Hu B., Yang X.R., Xu Y., Sun Y.F., Sun C., Guo W. et al. Systemic Immune-Inflammation Index Predicts Prognosis of Patients after Curative Resection for Hepatocellular Carcinoma. *Clin Cancer Res*. 2014;20(23):6212-6222. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-14-0442.
22. Li C., Tian W., Zhao F., Li M., Ye Q., Wei Y. et al. Systemic immune-inflammation index, SII, for prognosis of elderly patients with newly diagnosed tumors. *Oncotarget*. 2018;9(82):35293-35299. doi: 10.18632/oncotarget.24293.
23. Mikhak Z., Agace W.W., Luster A.D. Lymphocyte Trafficking to Mucosal Tissues. In: Mestecky J., Strober W., Russell M.W., Cheroutre H., Lambrecht B.N., Kelsall B.L. (eds.) *Mucosal Immunology*. 4th ed. Academic Press; 2015. p. 805-830. doi: 10.1016/B978-0-12-415847-4.00040-9.
24. Egiazyryan K.A., Ershov D.S., Lysko A.M., Yudaev N.D. CAR index as a predictor of late complications in patients with polytrauma and other pathologies. *Polytrauma*. 2024;4:85-91. (In Russian). doi: 10.24412/1819-1495-2024-4-85-91.

Authors' information

✉ Lyudmila V. Lyubimova

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

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

eLibrary SPIN: 5462-6973

e-mail: borisova-80@mail.ru

Evgeniya A. Mikishanina — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0003-4408-1888>

eLibrary SPIN: 3727-5392

e-mail: evaeva_84@mail.ru

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

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

eLibrary SPIN: 8723-9840

e-mail: nikolaevns@mail.ru

Evgeniy A. Lyubimov

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

eLibrary SPIN: 7759-8083

e-mail: elyubimov@mail.ru

Elena V. Preobrazhenskaya

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

eLibrary SPIN: 1525-3912

e-mail: alenka_22@bk.ru

Научная статья

УДК 616.711.5/.6-089.84-06

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>

Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений

В.С. Куфтов¹, В.Д. Усиков²¹ ГАУЗ «Брянская городская больница № 1», г. Брянск, Россия² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез является современным методом стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника. Систематический анализ ошибок и осложнений позволяет выявлять предикторы риска, совершенствовать технику установки винтов и снижать частоту послеоперационных осложнений.

Цель исследования — провести анализ ошибок и осложнений при репозиционно-стабилизирующем транспедикулярном остеосинтезе грудного и поясничного отделов позвоночника и определить факторы риска их развития.

Материал и методы. Проведено ретроспективное исследование 228 пациентов (медиана возраста 38,5 лет) с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, оперированных в период 2003–2023 гг. Пациенты разделены на две группы: основная (с репозицией поврежденного сегмента до рассчитанных целевых показателей) и контрольная (без расчета целевых показателей). Оценивались пол, возраст, время от травмы, морфология повреждения, неврологический статус и объем хирургического вмешательства. По компьютерным томограммам анализировались морфометрические параметры: AVH — передняя высота тела позвонка; PVH — задняя высота тела позвонка; угол α — сегментарный угол; A-VDCH — передняя высота позвоночно-дискового комплекса; P-VDCH — задняя высота позвоночно-дискового комплекса. Сроки до наступления осложнений анализировались методом Каплана–Майера, а влияние факторов риска — с помощью регрессионной модели.

Результаты. У 32 (14,0%) пациентов выявлены осложнения: интраоперационные — у 2 (0,9%), ранние послеоперационные — у 8 (3,5%), поздние механические — у 22 (9,7%). Между группами зафиксированы статистически значимые различия по частоте осложнений ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$). Риск осложнений в контрольной группе был в 3,9 раза выше, чем в основной (OR = 3,948; 95 % ДИ 1,326–11,757; $p = 0,014$).

Заключение. Наиболее частыми осложнениями были механические, обусловленные ошибками при репозиции позвоночника. Восстановление рассчитанных целевых показателей, включая размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, статистически значимо снижало частоту осложнений у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

Ключевые слова: переломы позвоночника; грудной и поясничный отделы; транспедикулярный остеосинтез; ошибки и осложнения.

Для цитирования: Куфтов В.С., Усиков В.Д. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):53–65. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>.

Куфтов Владимир Сергеевич; e-mail: kuftov@mail.ru

Рукопись получена: 15.10.2025. Рукопись одобрена: 10.11.2025. Статья опубликована онлайн: 17.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Thoracic and Lumbar Spine Injuries: Analysis of Errors and Complications

Vladimir S. Kuftov¹, Vladimir D. Usikov²

¹ Bryansk City Hospital No 1, Bryansk, Russia

² Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Percutaneous pedicle screw fixation is a modern method of stabilizing the thoracic and lumbar spine. Systematic analysis of errors and complications makes it possible to identify risk predictors, improve screw installation techniques, and reduce the incidence of postoperative complications.

The aim of the study — to analyze errors and complications during percutaneous pedicle screw fixation of the thoracic and lumbar spine and to identify risk factors for their development.

Methods. A retrospective study was conducted on 228 patients (median age 38.5 years) with single-level injuries of the thoracic and lumbar spine who underwent surgery between 2003 and 2023. The patients were divided into two groups: the main group, in which reposition of the damaged segment was performed to the calculated target parameters, and the control group, in which target parameters were not calculated. The following factors were assessed: sex, age, time from injury, morphology of injury, neurological status, and volume of surgical intervention. Morphometric parameters were analyzed using CT scans: AVH — anterior vertebral body height; PVH — posterior vertebral body height; angle α — segmental angle; A-VDCH — anterior vertebral-disc complex height; P-VDCH — posterior vertebral-disc complex height. The time to complication onset was analyzed using the Kaplan-Mayer method. The impact of risk factors was assessed by building a regression model.

Results. Complications were detected in 32 (14.0%) patients: intraoperative — in 2 (0.9%), early postoperative — in 8 (3.5%), late (mechanical) — in 22 (9.7%). Statistically significant differences in the incidence of complications were found between the groups ($\chi^2 = 7.471$, $p = 0.006$). The risk of complications in the control group was 3.9 times higher than in the main group (HR = 3.948; 95% CI 1.326-11.757; $p = 0.014$).

Conclusions. The most common complications were mechanical ones caused by errors in spinal reposition. Restoration of the calculated target parameters, including the measurements of the vertebral-disc complex and segmental angle, significantly reduced the incidence of complications in patients with thoracic and lumbar spine injuries.

Keywords: spinal fractures; thoracic and lumbar spine; percutaneous pedicle screw fixation; errors and complications.

Cite as: Kuftov V.S., Usikov V.D. Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Thoracic and Lumbar Spine Injuries: Analysis of Errors and Complications. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):53-65. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>.

✉ Vladimir S. Kuftov; e-mail: kuftov@mail.ru

Submitted: 15.10.2025. Accepted: 10.11.2025. Published online: 17.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника являются одной из наиболее актуальных проблем современной травматологии и нейрохирургии, они встречаются у 10–20% пациентов с острыми травмами позвоночника [1, 2]. Эти повреждения нередко сопровождаются нестабильностью позвоночника, компрессией спинного мозга и нарушением функции нервальных структур, что делает своевременное хирургическое вмешательство особенно значимым [3, 4].

Исторически для стабилизации позвоночника применялись различные металлические конструкции и внешние фиксаторы, однако их использование не всегда обеспечивало достаточную устойчивость и безопасность [5]. Внедрение транспедикулярного остеосинтеза, предложенного R. Roy-Camille, открыло новую эру в хирургии позвоночника, позволив добиться прочной фиксации позвонков [6]. С момента внедрения методика операций претерпела существенные изменения: были разработаны методы чрескожной установки винтов, внедрены навигационные системы, трехмерная компьютерная томография и роботизированные платформы [7]. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез продемонстрировал высокую эффективность в обеспечении стабильности позвоночника и коррекции деформаций [8]. Тем не менее ошибки установки винтов встречаются у 5–10% пациентов [9, 10].

Анализ современной литературы показывает, что в последние годы профиль осложнений транспедикулярной фиксации изменился преимущественно вследствие технических инноваций. Перкутанные подходы и робот-ассистирование позволили снизить операционную травматичность и повысить точность установки имплантатов, однако полностью исключить риск послеоперационных осложнений не удалось [11, 12]. Наиболее тяжелые осложнения (повреждение спинного мозга, магистральных сосудов, цементная эмболия) встречаются редко, но требуют высокой квалификации хирурга, тщательной предоперационной подготовки и строгого соблюдения техники операции [13, 14].

Несмотря на значительный накопленный опыт в изучении ошибок и осложнений транспедикулярной фиксации [15, 16], остается актуальной задача выявления факторов, влияющих на эффективность и исходы хирургического лечения.

Цель исследования — провести анализ ошибок и осложнений при репозиционно-стабилизирующем транспедикулярном остеосинтезе грудного и поясничного отделов позвоночника и определить факторы риска их развития.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — ретроспективное одноцентровое когортное.

Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез выполнен у 228 пациентов по поводу повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника в Брянской городской больнице № 1 в период с 2003 по 2023 г.

Критерии включения:

- мужчины и женщины в возрасте от 16 до 70 лет;
- одноуровневые повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника;
- морфологические типы повреждений (AO Spine): A2, A3, A4, B, C;
- неврологический статус (ASIA): A, B, C, D, E.

Критерии не включения:

- нетравматические переломы;
- многоуровневые повреждения;
- врожденные аномалии развития или деформации позвоночника;
- ранее выполненные операции на позвоночнике.

Медиана возраста пациентов составила 38,50 лет [27,00; 51,75] (16,00–70,00).

Все пациенты были распределены на две репрезентативные группы: основную (108 пациентов) и контрольную (120 пациентов). В контрольной группе применялись традиционные методы репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. В основной группе выполняли предоперационное планирование с математическими расчетами необходимых целевых параметров в виде размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла.

В ходе оперативного вмешательства в основной группе стремились к достижению рассчитанных целевых параметров. Для фиксации поврежденного отдела позвоночника применялись транспедикулярные конструкции из титана BT6 диаметром 6 мм для верхне- и среднегрудного отделов, 7 мм — для нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника.

Минимальный период наблюдения включал ранний послеоперационный период, максимальный период составил 19 лет. Медиана периода наблюдения: в контрольной группе — 56,50 [11,50; 86,75] (1,00–236,00) мес.; в основной — 42,50 [24,50; 62,00] (1,00; 122,00) мес.

Сбор данных осуществлялся путем изучения медицинской документации пациентов, результатов неврологических осмотров и рентгенологических методов исследования. Оценивалось время от момента полученной травмы до операции, морфология повреждения по классификации AO Spine, неврологический статус по ASIA. Учитывался объем оперативного вмешательства: количество

винтов, используемых для фиксации; выполнение ламинэктомии и вентрального этапа вмешательства. Эти показатели, наряду с демографическими

данными (пол, возраст), использовались в качестве предикторов при анализе вероятности перелома металлоконструкций (табл. 1).

Таблица 1

Основные характеристики групп пациентов, *n* (%)

Параметр	Группа		<i>p</i>
	основная (<i>n</i> = 108)	контрольная (<i>n</i> = 120)	
Возраст, лет Me [Q ₁ ; Q ₃] min-max	39,00 [28,00; 52,00] 16,00–69,00	37,00 [25,00; 51,00] 16,00–70,00	0,421**
Пол женский мужской	48 (44,4) 60 (55,6)	51 (42,5) 69 (57,5)	0,767*
Локализация выше ThXII ThXII-LII ниже LII	17 (15,7) 84 (77,8) 7 (6,5)	13 (10,8) 95 (79,2) 12 (10,0)	0,387*
Тип перелома по AO Spine A3 A4 B1 B2 C	20 (18,5) 65 (60,2) 2 (1,9) 8 (7,4) 13 (12,0)	30 (25,0) 58 (48,3) 3 (2,5) 11 (9,2) 18 (15,0)	0,509***
Неврологический статус по ASIA A B C D E	8 (7,4) 2 (1,9) 26 (24,1) 16 (14,8) 56 (51,8)	8 (6,7) 4 (3,3) 28 (23,3) 17 (14,2) 63 (52,5)	0,968*
Количество фиксирующих винтов 4 5 6	4 (3,7) 18 (16,7) 86 (79,6)	16 (13,3) 34 (28,3) 70 (58,3)	0,001*
Выполнена ламинэктомия	33 (30,6)	56 (46,7)	0,013*
Вентральный этап операции	1 (0,9)	10 (8,3)	0,009*

* — критерий χ^2 Пирсона; ** — критерий Манна–Уитни; *** точный критерий Фишера–Фримана–Холтона.

Рентгенологический анализ включал изучение данных компьютерной томографии до и после операции с оценкой морфометрических параметров:

– AVH (anterior vertebral body height) — передняя высота тела позвонка;

– PVH (posterior vertebral body height) — задняя высота тела позвонка;

– A-VDCH (anterior vertebral-disc complex height) — передняя высота позвоночно-дискового комплекса (расстояние между передним краем нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка и передним краем верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, включающее тело поврежденного позвонка и смежные межпозвоночные диски);

– P-VDCH (posterior vertebral-disc complex height) — задняя высота позвоночно-дискового комплекса (расстояние между задним краем нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка и задним краем верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, включающее тело поврежденного позвонка и смежные межпозвоночные диски)¹;

– угол α — сегментарный угол, образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего от поврежденного позвонка.

Достигнутые во время операции угловые и линейные параметры сравнивались с рассчитанными значениями. Методика расчетов основана

¹ В настоящей работе показатели размеров тела позвонка со смежными дисками обозначены как A-VDCH и P-VDCH, в предыдущих наших статьях эквивалентные показатели описывались как Mta и Mtp соответственно [17].

на размерах смежных позвонков и межпозвоночных дисков и описана в одной из наших предыдущих работ [17].

Ошибки репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза анализировали по данным контрольных СКТ и МРТ. Признаки инфекционных и неврологических осложнений нами учитывались при наличии соответствующих записей в истории болезни пациента. Осложнения в отдаленном периоде, связанные с переломом или миграцией металлоконструкции, оценивались по данным рентгенографии и СКТ: отражались промежуток времени, когда осложнения еще не было и когда оно было выявлено.

Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS Statistics 27.0.1 (IBM, США). Предварительно каждая из сравниваемых количественных переменных оценивалась на предмет ее соответствия закону нормального распределения, для чего использовались критерии Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Было установлено, что распределение значений количественных переменных отличается от нормального, в связи с этим для их описания и анализа применялись непараметрические методы. В качестве описательных статистик указывали медиану (Me), межквартильный размах [Q_1 ; Q_3] и крайние значения в выборке (min – max). При сравнении количественных переменных использовался критерий Манна–Уитни. Качественные переменные описывались с помощью представления абсолютного числа событий с долей от общего количества наблюдений в выборке, выраженной в процентах. Анализ качественных переменных производился путем построения таблиц сопряженности с расчетом критерия χ^2 Пирсона или точного критерия Фишера–Фримана–Холтона.

Анализ сроков до наступления осложнений проводили с использованием метода Каплана–Майера. Различия между полученными кривыми оценивали с помощью теста Манталя–Кокса (Log-rank test). Для определения влияния принадлежности пациентов к основной или контрольной группе и расчета отношения рисков (ОР) применяли регрессию Кокса.

Изучение влияния факторов на риск развития осложнений (перелом или миграция металлоконструкций) проводилось с помощью построения регрессионной модели. В связи с бинарным исходом применялась многофакторная логистическая регрессия. Регрессионный анализ был направлен на выявление предикторов, статистически значимо влияющих на риск развития осложнений, а также на оценку выраженности этого влияния путем анализа отношения шансов (ОШ) с его 95% дове-

рительным интервалом (95% ДИ). В связи с малым числом событий в основной группе регрессионная модель была построена для всех наблюдений. При построении модели применялся пошаговый метод исключения незначимых предикторов на основе теста отношения правдоподобия. Для оценки различий влияния факторов между основной и контрольной группами была дополнительно построена регрессионная модель с включением взаимодействий между принадлежностью к группе и предикторами.

Критический уровень статистической значимости для настоящего исследования был выбран $\alpha = 0,05$, то есть нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У 32 (14,0%) прооперированных пациентов выявлены различные осложнения. Из них интраоперационные, связанные с выполнением транспедикулярного остеосинтеза в виде проведения винтов мимо анатомических ориентиров, выявлены у 2 (0,9%) пациентов.

Ранние послеоперационные осложнения выявлены у 8 (3,5%) пациентов, включая смещение верхних винтов в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка у 3 (1,3%) пациентов; воспалительный процесс в глубоких тканях — у 4 (1,8%); ликворный свищ — у 1 (0,4%).

В анализ осложнений не включались воспалительные изменения в поверхностных тканях как не повлиявшие на фиксацию, проведение реабилитации и результаты лечения.

Поздние (механические) осложнения диагностированы у 22 (9,7%) пациентов: в 20 (8,8%) случаях — переломы металлоконструкции и в 2 (0,9%) — миграция фиксирующих штанг.

Осложнения в основной группе выявлены у 8 (7,4%) пациентов (25,0% от всех осложнений): 6 случаев были связаны с выполнением транспедикулярного остеосинтеза, один — с воспалительным процессом в глубоких тканях раны и один — с ликворным свищом. В контрольной группе осложнения наблюдались у 24 (20,0%) пациентов (75,0% всех осложнений): 21 случай связан с выполнением транспедикулярного остеосинтеза и 3 случая — с воспалительным процессом в глубоких тканях. Частота осложнений в группах исследования различалась статистически значимо ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$).

Интраоперационные осложнения в виде мальпозиции винтов зарегистрированы у 2 пациентов контрольной группы при фиксации среднегрудного отдела. Винты проходили над корнем дуги и латерально, что нарушало стабильность конструкции. Оба пациента были повторно прооперированы после выявления дефекта на контрольной СКТ.

Ранние послеоперационные осложнения в виде смещения верхних винтов и их миграции в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка отмечались у 3 (1,3%) пациентов. В одном случае через 6 мес. после операции была выявлена резорбция костной ткани вокруг верхних винтов и смещение их под верхнюю кортикальную пластинку. Клинически это проявлялось нестабильностью в сегменте с утратой достигнутой деформации на 8,1°. Пациенту вторым этапом был выполнен межтеловой корпородез цилиндрическим кейджем с аутокостью, от которого он первоначально воздерживался. У двух женщин старше 60 лет смещение винтов было связано со сниженной минеральной плотностью кости; ввиду отсутствия болевого синдрома и неврологических нарушений повторные вмешательства не проводились.

Воспалительный процесс в глубоких тканях развился после операции у 4 (1,8%) пациентов. Предпосылками послужили социальный статус и нарушение ортопедического режима, а также нарушения в иммунной системе при туберкулезе и ВИЧ. В связи с отсутствием эффекта консервативных методов лечения конструкция у всех пациентов была удалена. В 1 (0,4%) наблюдении после операции открылся ликворный свищ. Данное осложнение возникло в результате ранения твердой мозговой оболочки костным фрагментом по переднебоковой поверхности. В момент операции дефект не был выявлен. Признаки ликвореи появились через 2 нед., что потребовало повторной операции с герметизацией твердой мозговой оболочки.

Самыми частыми были механические осложнения: переломы и миграция фиксирующей штанги (22 случая из 32; 68,8%). Они диагностировались в медианные сроки от 14,5 [12,0; 24,0] мес. до 35,0 [26,3; 45,5] мес. после операции.

Сведения о пациентах с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующих штанг представлены в приложении, опубликованном как дополнительный материал в электронной версии статьи на сайте журнала.

Медиана возраста 22 пациентов (9 мужчин и 13 женщин) с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующей штанги составила 29,0 [21,5; 42,3] лет. Осложнения выявлялись преимущественно при контрольных КТ-исследованиях и у 13 пациентов носили бессимптомный характер, лишь у 9 (40,9%) пациентов сопровождалось субъективными жалобами — дискомфортом или болями в месте операции. Наиболее часто данные осложнения встречались при повреждениях в груднопоясничном отделе, преимущественно на уровне L1 позвонка (72,7%).

На рисунке 1 представлены кривые Каплана–Майера, построенные на основании сроков обнаружения переломов металлоконструкции или миграции штанг. В качестве времени наступления события мы брали сроки выявления осложнения при обследовании (указаны в приложении). По результатам проведенного теста Манталя–Кокса (Log-rank test) обнаружены статистически значимые различия между изучавшимися группами ($\chi^2 = 7,092$; $p = 0,008$). Риск осложнений у пациентов контрольной группы был в 3,9 раза выше по сравнению с основной (OR = 3,948; 95% ДИ 1,326–11,757; $p = 0,014$).

Для оценки влияния факторов на вероятность перелома металлоконструкции в послеоперационном периоде с помощью многофакторной логистической регрессии была построена регрессионная модель. В модель были включены следующие предикторы: пол, возраст, принадлежность к основной или контрольной группе, неврологические нарушения по ASIA, тип перелома

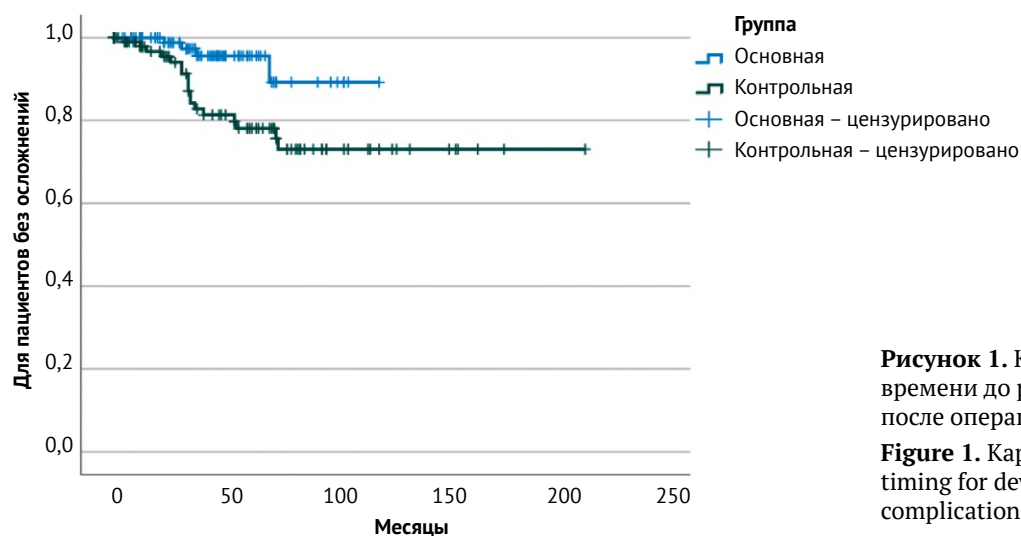


Рисунок 1. Кривые Каплана–Майера времени до развития осложнений после операции

Figure 1. Kaplan-Meier curves showing timing for development of postoperative complications

по АО Spine, количество фиксирующих винтов, локализация, выполнение вентрального этапа и ламинэктомии. Полученные в результате построе-

ния регрессионной модели коэффициенты, отношения шансов, а также значения p представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели полученной регрессионной модели

Фактор	Регрессионный коэффициент	p	ОШ для регрессионного коэффициента	95% ДИ для ОШ
Группа	1,497	0,009	4,468	1,451–13,760
Возраст	-0,036	0,037	0,964	0,932–0,998
Константа	-1,929	0,013	0,145	–

При построении модели применялся пошаговый метод исключения незначимых предикторов на основе теста отношения правдоподобия. Представленная модель получена на 10-м шаге построения и является статистически значимой ($\chi^2 = 13,766$; $p = 0,001$).

Переломы металлоконструкции регистрировались при всех типах повреждений по классификации АО Spine, чаще при типе A4 (59,1%), что соответствует его преобладанию в исследуемой выборке (53,9%). Отсутствие вентрального этапа хирургического лечения могло способствовать развитию данных осложнений, хотя переломы отмечались и при двухэтапных операциях у 3 (13,6%) пациентов.

По числу фиксирующих винтов осложнения отмечены при 4-винтовой фиксации в 18,2% случаев, при 5-винтовой — в 27,3%, и при 6-винтовой — в 54,5%; при этом данные варианты фиксации применялись у 7,9%, 21,9% и 70,2% пациентов соответственно.

Распределение пациентов с переломами металлоконструкций по шкале ASIA было сопоставимо с общей выборкой: A — 4,5%; C — 27,3%; D — 22,7%; E — 45,5%.

Медианный срок, на котором были прооперированы пациенты, у которых произошел перелом металлоконструкции, составил 9,00 [4,75; 15,75] (2,00–49,00) дней с момента полученной травмы. В основной группе — 11,00 [2,50; 21,75] (2,00–23,00) дней, в контрольной — 9,00 [5,00; 12,00] (3,00–49,00) дней. Статистически значимой разницы по данному параметру обнаружено не было ($p = 0,902$).

Таким образом, было отмечено, что принадлежность к основной или контрольной группе статистически значимо ($p = 0,009$) влияет на риск осложнений, при этом в контрольной группе риск развития перелома металлоконструкции или миграции у пациентов был в 4,5 раза выше по сравнению с основной (ОШ 4,468; 95% ДИ 1,451–13,760).

Кроме того, возраст пациента также показал статистически значимую обратную зависимость

с риском осложнений ($p = 0,037$): увеличение возраста на 1 год уменьшало шансы развития перелома или миграции имплантата на 3,6% (ОШ 0,964; 95% ДИ 0,932–0,998).

Для оценки возможных различий влияния предикторов между группами была дополнительно построена модель с включением взаимодействий между принадлежностью к группе и другими переменными. Однако добавление взаимодействий не привело к статистически значимому улучшению подгонки модели по сравнению с базовой ($\chi^2 = 15,210$; $p = 0,764$) и сопровождалось нестабильностью оценок.

Следует отметить, что на шаге 9 из модели был исключен предиктор ламинэктомия. Исходя из этого, можно предположить, что при увеличении мощности статистических методов, связанной с расширением выборки и ростом числа событий, указанный фактор мог бы продемонстрировать статистически значимое влияние на вероятность развития осложнений.

Послеоперационные значения A-VDCH и P-VDCH часто отличались от рассчитанных параметров, что свидетельствовало о недостаточной или избыточной дистракции оперированного сегмента. У 11 (50%) пациентов значения A-VDCH выходили за пределы 95–105% от расчетных, аналогично у 9 (40,9%) — по показателю P-VDCH.

Передняя (AVH) и задняя (PVH) высота тел позвонков не всегда восстанавливались пропорционально изменениям A-VDCH и P-VDCH. Недостаточное восстановление высоты при достигнутых расчетных значениях позвоночно-дискового комплекса приводило к увеличению костного дефекта и способствовало переломам конструкции. Так, у 10 (45,5%) пациентов после операции A-VDCH больше AVH, а у 3 (13,6%) P-VDCH больше PVH более чем на 5%. Наоборот, у отдельных пациентов наблюдалась недостаточная дистракция (AVH больше A-VDCH — 3 случая; PVH больше P-VDCH — 9 случаев).

Неравномерная дистракция (разница A-VDCH — P-VDCH более 5%) была отмечена у 10 (45,5%)

пациентов и приводила к отклонению сегментарного угла от расчетного в среднем на $5,0 \pm 3,7^\circ$. После перелома конструкции угол изменялся на $7,8 \pm 3,4^\circ$ с потерей достигнутой коррекции в среднем $6,9 \pm 4,7^\circ$.

Переломы продольных штанг наблюдались в 18,2% случаев. Подобно винтам, штанги разрушались в местах максимального напряжения, а именно недалеко от узла фиксации с винтом. Элементы конструкции несколько чаще ломались каудально от поврежденных позвонков.

Недостаточно прочное затягивание гайки и прилегание штанги не под прямым углом к винту приводили к неполноценной фиксации штанги и ее последующей миграции. В нашем исследовании это наблюдалось у 2 (9,1%) пациентов. При повреждении I позвонка миграция штанги происходила каудально в сроки от 3 до 5 мес. (потеря коррекции деформации $9,7^\circ$). При повреждении LII позвонка штанга мигрировала краниально в сроки от 13 до 24 мес. (потеря коррекции деформации $3,4^\circ$). После выявления данного осложнения пациент с миграцией штанги каудально был реоперирован, а вторая пациентка отказалась от операции.

Таким образом, при лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника полностью избежать развития различных осложнений не удалось. Большинство осложнений было связано с техническими и биомеханическими ошибками, однако все осложнения стационарного периода были своевременно устранены и не оказали значимого влияния на конечный результат лечения, лишь удлинив сроки реабилитации.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время транспедикулярная фиксация является широко распространенным методом внутренней стабилизации, позволяющим восстановить анатомическое положение позвоночника и обеспечить его высокую стабильность. Оценка состояния оперированного сегмента и проведение морфометрического анализа становятся возможными благодаря СКТ [18].

Ошибки, возникающие при транспедикулярной фиксации, традиционно делят на тактические, технические и биомеханические. Тактические ошибки связаны с этапом планирования транспедикулярного остеосинтеза и чаще всего обусловлены недооценкой степени нестабильности повреждения, анатомических особенностей позвонков, состояния смежных сегментов и протяженности фиксации [19, 20].

Технические ошибки возникают во время выполнения операции и связаны с установкой винтов и сборкой конструкции [21]. Их частота повышается при ограниченной визуализации, особенно

чрескожной установке винтов [22]. Частота мальпозиции винтов и перфорации кортикальной пластинки достигает 15% [23]. Точность установки педикулярных винтов является ключевым фактором успешного исхода: даже незначительное смещение может привести к повреждению спинного мозга, корешков, сосудистых структур или органов, прилежащих к позвоночнику [24]. В нашем исследовании лишь в двух случаях потребовалась реоперация из-за мальпозиции винтов, что было связано с недостаточной визуализацией анатомических ориентиров при выраженной деформации позвоночника. Применение навигационных и роботизированных систем позволяет снизить риск неправильной траектории установки винтов до 2–5% [25].

Биомеханические ошибки обусловлены неадекватной жесткостью конструкции, недооценкой сагиттального профиля при коррекции деформации и отсутствием контроля за восстановлением высоты тела поврежденного позвонка [26].

Осложнения транспедикулярной фиксации подразделяются на интраоперационные (неправильное позиционирование винтов, повреждение сосудов и органов, кровотечение), ранние послеоперационные (инфекция, ликворея) и отдаленные (нестабильность и перелом металлоконструкции). Частота осложнений в различных исследованиях и метаанализах существенно варьирует в зависимости от критериев включения пациентов [27, 28]. Наиболее тяжелые осложнения — повреждение спинного мозга, цементная эмболия, массивные сосудистые повреждения — встречаются редко, но требуют тщательной предоперационной подготовки и строгого соблюдения хирургической техники [29].

Отклонение винта от ножки позвонка остается распространенным явлением, связанным с техническими ошибками, и может привести к неврологическим осложнениям. Однако клинически значимые неврологические нарушения встречаются редко. Систематические обзоры показывают, что отклонение винта менее чем на 2 мм, как правило, не вызывает неврологических расстройств [30], тогда как смещение более 4 мм способно привести к повреждению корешков [31]. Частота подобных осложнений также напрямую зависит от опыта хирурга [32].

Инфекционные осложнения после транспедикулярной фиксации встречаются в 2–5% случаев и зависят от объема вмешательства, характера травмы и сопутствующей патологии [33, 34]. Полученные нами данные по частоте инфекций сопоставимы с результатами других исследований. Глубокие инфекции требуют агрессивного лечения, включая антибактериальную терапию и, при необходимости, ревизию или удаление кон-

струкции [35]. Сохранение имплантата возможно, если инфекция развилась в течение первых 3 мес. после операции; при более позднем возникновении инфекции показано его удаление [36].

По данным А.Г. Мартикяна с соавторами, разрыв твердой мозговой оболочки диагностируется у 32,9% пациентов с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника, а в 9,1% случаев в послеоперационном периоде отмечается ликворея [37]. Вероятность разрыва твердой мозговой оболочки повышается при наличии неврологического дефицита, выраженной компрессии позвоночного канала и увеличении межпедикулярного расстояния. В нашем исследовании частота послеоперационной ликвореи была ниже, что, вероятно, связано с ретроспективным характером анализа и возможным недоучетом случаев, купированных без повторных оперативных вмешательств.

В отдаленные сроки частота механических осложнений, связанных с переломом или миграцией имплантатов, достигает 28%, в среднем составляя около 14% [38, 39]. Эти осложнения чаще наблюдаются при высокой нагрузке на конструкцию, короткосегментарной фиксации и остеопорозе у пожилых пациентов. Цементирование винтов и удлинение конструкции повышают прочность фиксации [40]. По нашим данным, у пациентов пожилого возраста частота механических осложнений была ниже, вероятно, вследствие меньшей физической активности.

В литературе появляются сообщения о необходимости удаления имплантатов в среднем через год [41]. Примерно в трети случаев, когда имплант не был удален по истечении восьми лет, он ломался [42].

По данным G. Shokouhi с соавторами, выполнение ламинэктомии при повреждениях в грудно-поясничном отделе позвоночника не приводило к нарастанию угла деформации через 6 мес. по сравнению с закрытой декомпрессией [43], что подтверждают результаты нашего исследования в более поздние сроки.

Продолжаются дискуссии о факторах риска несостоятельности только задней фиксации. К ним относят показатель более 7 баллов по классификации распределения нагрузки [44], предоперационный угол Кобба $>15^\circ$, а также высокий индекс массы тела. Усиление конструкции возможно за счет использования кобальтохромовых стержней, которые обладают большей прочностью по сравнению с титановыми аналогами того же диаметра [45].

Неоднозначной остается необходимость выполнения спондилодеза после транспедикулярной фиксации ввиду риска синдрома смежного

уровня [46]. Показания к укреплению вентральной колонны зависят от жесткости задней стабилизации, степени повреждения передней колонны и межпозвоночного диска [47]. В ряде случаев передний спондилодез можно отложить или избежать вовсе, поскольку он не снижает риск переломов имплантов в отдаленном периоде [48, 49].

Миграция фиксирующих стержней, как правило, связана с техническими ошибками — недостаточной адаптацией продольных штанг к пазам головок винтов или ослаблением фиксирующих гаек. Данные об этом осложнении немногочисленны и чаще представлены в виде отдельных клинических наблюдений [50, 51].

Стремление к восстановлению исходной анатомии поврежденного сегмента позвоночника в грудном и поясничном отделах способствует снижению частоты биомеханических ошибок и сохранению достигнутой коррекции деформации. Установлено, что восстановление высоты тела поврежденного позвонка и сагиттального индекса во время операции обеспечивает в отдаленном периоде стабильность коррекции и предотвращает вторичное снижение высоты позвонка после удаления имплантата [52].

Ограничения исследования

Из-за относительно небольшого размера выборки, результаты исследования могут быть в некоторой степени искажены. В будущем для подтверждения наших выводов планируется провести проспективное рандомизированное контролируемое исследование

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее частыми осложнениями, определяющими риск неудовлетворительного исхода, являлись механические — переломы и миграция металлоконструкций. Восстановление исходной анатомии позвоночника во время репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза статистически значимо снижало частоту осложнений.

Факторами, не оказавшими статистически значимого влияния на частоту осложнений, были сроки с момента получения травмы до операции, характер морфологических повреждений, исходный неврологический статус, выполнение ламинэктомии и переднего спондилодеза.

Разработка комплексной системы профилактики осложнений и оптимизация предоперационного этапа позволят снизить их частоту и улучшить результаты хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Куфтов В.С. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Усиков В.Д. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста рукописи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

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

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kuftov V.S. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

Usikov V.D. — study concept and design, drafting and editing the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Gelalis I.D., Paschos N.K., Pakos E.E., Politis A.N., Arnaoutoglou C.M., Karageorgos A.C. et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J.* 2012;21(2):247-255. doi: 10.1007/s00586-011-2011-3.
- Warmann S. Thoracolumbar spine fractures : Classification and stability. *Radiologie (Heidelb).* 2025;65(11):841-846. (In German). doi: 10.1007/s00117-025-01502-5.
- Mandelka E., Gierse J., Zimmermann F., Gruetzner P.A., Franke J., Vetter S.Y. Implications of navigation in thoracolumbar pedicle screw placement on screw accuracy and screw diameter/pedicle width ratio. *Brain Spine.* 2023;3:101780. doi: 10.1016/j.bas.2023.101780.
- Гринь А.А., Богданова О.Ю., Кайков А.К., Кордонский А.Ю. Хирургическое лечение пациентов с множественной позвоночно-спинномозговой травмой на грудном и поясничном уровнях (обзор литературы). *Нейрохирургия.* 2018;20(1):64-75. doi: 10.17650/1683-3295-2018-20-1-64-75. Grin' A.A., Bogdanova O.Yu., Kajkov A.K., Kordonskij A.Yu. Surgical treatment of patients with multiple vertebral-spinal trauma at thoracic and lumbar levels (literature review). *Russian Journal of Neurosurgery.* 2018;20(1):64-75. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2018-20-1-64-75.
- McCormick J., Aebi M., Toby D., Arlet V. Pedicle screw instrumentation and spinal deformities: have we gone too far? *Eur Spine J.* 2013;Suppl 2(Suppl 2):S216-S224. doi: 10.1007/s00586-012-2300-5.
- Roy-Camille R., Roy-Camille M., Demeulenaere C. Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med (1893).* 1970;78(32):1447-1448. (In French).
- Fan Y., Du J.P., Liu J.J., Zhang J.N., Qiao H.H., Liu S.C. et al. Accuracy of pedicle screw placement comparing robot-assisted technology and the free-hand with fluoroscopy-guided method in spine surgery: An updated meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(22):e10970. doi: 10.1097/MD.00000000000010970.
- Макаревич С.В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы. *Хирургия позвоночника.* 2018;15(4):95-106. doi: 10.14531/2018.4.95-106. Makarevich S.V. Historical aspects of transpedicular fixation of the spine: literature review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2018;15(4):95-106. (In Russian). doi: 10.14531/2018.4.95-106.
- Alqurashi A., Alomar S.A., Bakhaidar M., Alfiky M., Baesa S.S. Accuracy of Pedicle Screw Placement Using Intraoperative CT-Guided Navigation and Conventional Fluoroscopy for Lumbar Spondylosis. *Cureus.* 2021;13(8):e17431. doi: 10.7759/cureus.17431.
- Ковалев Е.В., Кириленко С.И., Мазуренко А.Н., Дубровский В.В. Индивидуальные навигационные шаблоны для установки транспедикулярных винтов в хирургии позвоночника: систематический обзор. *Проблемы здоровья и экологии.* 2022;19(3):5-17. doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-01. Kovalev E.V., Kirilenko S.I., Mazurenko A.N., Dubrovski U.V. Individual navigation templates for pedicle screw placement in spine surgery: a systematic review. *Health and Ecology Issues.* 2022;19(3):5-17. (In Russian). doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-01.

11. Han Y., Ma J., Zhang G., Huang L., Kang H. Percutaneous monoplane screws versus hybrid fixed axial and polyaxial screws in intermediate screw fixation for traumatic thoracolumbar burst fractures: a case – control study. *J Orthop Surg Res.* 2024;19(1):85. doi: 10.1186/s13018-024-04547-9.
12. Malham G.M., Wells-Quinn T.A., Nowitzke A.M., Mobbs R.J., Sekhon L.H. Challenges in contemporary spinal robotics: encouraging spine surgeons to drive transformative changes in the development of future robotic platforms. *J Spine Surg.* 2024;10(3):540-547. doi: 10.21037/jss-24-4.
13. Mac-Thiong J.M., Parent S., Poitras B., Joncas J., Hubert L. Neurological outcome and management of pedicle screws misplaced totally within the spinal canal. *Spine.* 2013;38(3):229-237. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826980a9.
14. Hsiao M.C., Huang S.J., Kao T.H. Pseudoaneurysm formation of segmental artery with retroperitoneal hematoma after percutaneous transpedicular screws insertion. *J Clin Neurosci.* 2023;113:20-21. doi: 10.1016/j.jocn.2023.04.018.
15. Афаунов А.А., Чайкин Н.С. К вопросу о предикторах осложнений при хирургическом лечении больных с позвоночно-спинномозговой травмой в нижнегрудном и поясничном отделах позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2023;20(4):6-21. doi: 10.14531/ss2023.4.6-21.
Afaunov A.A., Chaikin N.S. On the issue of predictors of complications of surgical treatment of patients with spinal cord injury in the lower thoracic and lumbar spine. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2023;20(4):6-21. (In Russian). doi: 10.14531/ss2023.4.6-21.
16. Бердюгин К.А., Чертков А.К., Штадлер Д.И., Климов М.Е., Бердюгина О.В., Бетц А.Е. и др. Ошибки и осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями. *Фундаментальные исследования.* 2012;4-2:425-431. Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29836>.
Berdyugin K.A., Chertkov A.K., Stadler D.I., Klimov M.E., Berdyugina O.V., Bets A.E. et al. Mistakes and complications of transpedicular fixation of spine. *Fundamental research.* 2012;4-2:425-431. (In Russian). Available from: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29836>.
17. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Монашенко Д.Н. Ретроспективный анализ восстановления анатомии поврежденного позвоночно-двигательного сегмента в грудном и поясничном отделах транспедикулярным репозиционным устройством. *Хирургия позвоночника.* 2022;19(3):38-48. doi: 10.14531/ss2022.3.38-48.
Usikov V.D., Kuftov V.S., Monashenko D.N. Retrospective analysis of restoration of the anatomy of the damaged thoracic and lumbar spinal motion segment using transpedicular repositioning device. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2022;19(3):38-48. (In Russian). doi: 10.14531/ss2022.3.38-48.
18. Шевченко Е.Г., Агурина Н.В., Зяблова Е.И., Басанкин И.В., Ясакова Е.П., Топилина С.В. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке состояния позвоночника после оперативных вмешательств с использованием метода транспедикулярного остеосинтеза. *Инновационная медицина Кубани.* 2018;(2):17-23.
Shevchenko E.G., Agurina N.V., Zhablova E.I., Basankin I.V., Yasakova E.P., Topilina S.V. Possibilities of multispiral CT to assess postoperative spinal condition following transpedicular osteosynthesis technique. *Innovative Medicine of Kuban.* 2018;(2):17-23. (In Russian).
19. Усиков В.В., Усиков В.Д. Ошибки и осложнения внутреннего транспедикулярного остеосинтеза при лечении больных с нестабильными повреждениями позвоночника, их профилактика и лечение. *Травматология и ортопедия России.* 2006;(1):21-26.
Usikov V.V., Usikov V.D. Errors and complications of internal transpedicular osteosynthesis in the treatment of patients with unstable injuries of spinal column, their prevention and treatment. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2006;(1):21-26. (In Russian)
20. Mohi Eldin M.M., Ali A.M. Lumbar transpedicular implant failure: a clinical and surgical challenge and its radiological assessment. *Asian Spine J.* 2014;8(3):281-297. doi: 10.4184/asj.2014.8.3.281.
21. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М. Оперативное лечение детей с осложненными переломами позвонков грудной и поясничной локализации. *Травматология и ортопедия России.* 2010;16(2):48-50. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-48-50.
Vissarionov S.V., Bel'anchikov S.M. The surgical treatment of children with complicated fractures of thoracic and lumbar vertebrae. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2010;16(2):48-50. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-48-50.
22. Conrads N., Grunz J.P., Huflage H., Luetkens K.S., Feldle P., Grunz K. et al. Accuracy of pedicle screw placement using neuronavigation based on intraoperative 3D rotational fluoroscopy in the thoracic and lumbar spine. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023; 143(6):3007-3013. doi: 10.1007/s00402-022-04514-1.
23. Gautschi O.P., Schatlo B., Schaller K., Tessitore E. Clinically relevant complications related to pedicle screw placement in thoracolumbar surgery and their management: a literature review of 35,630 pedicle screws. *Neurosurg Focus.* 2011;31(4):E8. doi: 10.3171/2011.7.FOCUS11168.
24. Naik A., Smith A.D., Shaffer A., Krist D.T., Moawad C.M., MacInnis B.R. et al. Evaluating robotic pedicle screw placement against conventional modalities: a systematic review and network meta-analysis. *Neurosurg Focus.* 2022;52(1):E10. doi: 10.3171/2021.10.FOCUS21509.
25. Riewruja K., Tanasansomboon T., Yingsakmongkol W., Kotheeranurak V., Limthongkul W., Chokesuwattanasakul R. et al. A Network Meta-Analysis Comparing the Efficacy and Safety of Pedicle Screw Placement Techniques Using Intraoperative Conventional, Navigation, Robot-Assisted, and Augmented Reality Guiding Systems. *Int J Spine Surg.* 2024;18(5):551-570. doi: 10.14444/8618.
26. Cai P., Xi Z., Deng C., Li J., Zhang X., Zhou Y. Fixation-induced surgical segment's high stiffness and the damage of posterior structures together trigger a higher risk of adjacent segment disease in patients with lumbar interbody fusion operations. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):371. doi: 10.1186/s13018-023-03838-x.
27. Sarraj M., Alqahtani A., Thornley P., Koziarz F., Bailey C.S., Freire-Archer M. et al. Management of deep surgical site infections of the spine: a Canadian nationwide survey. *J Spine Surg.* 2022;8(4):443-452. doi: 10.21037/jss-22-47.

28. Mohamad N.H., Salim A.A., Yusof M.I., Khoh P.S., Lim H.S., Bahrin Z. et al. Prevalence, Implications, and Risk Factors of Traumatic Dural Tears in Thoracic and Lumbar Fractures: A Retrospective Study. *Cureus*. 2024;16(7):e64351. doi: 10.7759/cureus.64351.
29. Janssen I., Ryang Y.M., Gempt J., Bette S., Gerhardt J., Kirschke J.S. et al. Risk of cement leakage and pulmonary embolism by bone cement-augmented pedicle screw fixation of the thoracolumbar spine. *Spine J*. 2017;17(6):837-844. doi: 10.1016/j.spinee.2017.01.009.
30. Mulyadi R., Hutami W.D., Suganda K.D., Khalisha D.F. Risk of neurologic deficit in medially breached pedicle screws assessed by computed tomography: a systematic review. *Asian Spine J*. 2024;18(6):903-912. doi: 10.31616/asj.2024.0325.
31. Han X., Tian W., Liu Y., Liu B., He D., Sun Y. et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial. *J Neurosurg Spine*. 2019;30(5):615-622. doi: 10.3171/2018.10.SPINE18487.
32. Gubian A., Kausch L., Neumann J.O., Kiening K., Ishak B., Maier-Hein K. et al. CT-Navigated Spinal Instrumentations-Three-Dimensional Evaluation of Screw Placement Accuracy in Relation to a Screw trajectory plan. *Medicina (Kaunas)*. 2022;58(9):1200. doi: 10.3390/medicina58091200.
33. Song Y., Ma Y., Li F. Comparative study on the accuracy, safety and clinical effect of CT navigation and traditional open screw placement in the treatment of thoracic fracture. *Pak J Med Sci*. 2023;39(4):1140-1143. doi: 10.12669/pjms.39.4.3925.
34. Kasliwal M.K., Tan L.A., Traynelis V.C. Infection with spinal instrumentation: Review of pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Surg Neurol Int*. 2013;29;4(Suppl 5):S392-403. doi: 10.4103/2152-7806.120783.
35. Шаповалов В.К., Басанкин И.В., Афаунов А.А., Гюльзатян А.А., Тахмязян К.К., Тайурский Д.А. и др. Применение вакуумных систем при ранней имплант-ассоциированной инфекции, развившейся после декомпрессивно-стабилизирующих операций при поясничном спинальном стенозе. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(3):53-60. doi: 10.14531/ss2021.3.53-60.
36. Shapovalov V.K., Basankin I.V., Afaunov A.A., Gulzatyan A.A., Takhmazyan K.K., Tayursky D.A. et al. Use of vacuum systems for early implant-associated infection after decompression and stabilization surgery for lumbar spinal stenosis. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2021;18(3):53-60. (In Russian). doi: 10.14531/ss2021.3.53-60.
37. Yüdistira A., Asmiragani S., Imran A.W., Sugiarto M.A. Surgical Site Infection Management following Spinal Instrumentation Surgery: Implant Removal vs. Implant Retention: an Updated Systematical Review. *Acta Inform Med*. 2022;30(2):115-120. doi: 10.5455/aim.2022.30.115-120.
38. Мартикян А.Г., Гринь А.А., Талыпов А.Э., Кордонский А.Ю., Львов И.С., Левина О.А. и др. Тактика лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждении твердой мозговой оболочки. *Нейрохирургия*. 2022;24(2):35-42. doi: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.
39. Martikyan A.G., Grin A.A., Talypov A.E., Kordonskiy A.Yu., Lvov I.S., Levina O.A. et al. Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2022;24(2):35-42. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.
40. Hakalo J., Wroński J. Complications of a transpedicular stabilization of thoraco-lumbar burst fractures. *Neurol Neurochir Pol*. 2006;40(2):134-139.
41. Alimohammadi E., Bagheri S.R., Joseph B., Sharifi H., Shokri B., Khodadadi L. Analysis of factors associated with the failure of treatment in thoracolumbar burst fractures treated with short-segment posterior spinal fixation. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):690. doi: 10.1186/s13018-023-04190-w.
42. Cao L., Xu H.J., Yu Y.K., Tang H.H., Fang B.H., Chen K. Comparative analysis of the safety and efficacy of fenestrated pedicle screw with cement and conventional pedicle screw with cement in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: A meta-analysis. *Chin J Traumatol*. 2025;28(2):101-112. doi: 10.1016/j.cjtee.2024.07.013.
43. Smits A.J., den Ouden L., Jonkergouw A., Deunk J., Bloemers F.W. Posterior implant removal in patients with thoracolumbar spine fractures: long-term results. *Eur Spine J*. 2017;26(5):1525-1534. doi: 10.1007/s00586-016-4883-8.
44. Verheyden A.P., Spiegl U.J., Ekkerlein H., Gercek E., Hauck S., Josten C. et al. Treatment of Fractures of the Thoracolumbar Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J*. 2018;8(2 Suppl):34S-45S. doi: 10.1177/2192568218771668.
45. Shokouhi G., Iranmehr A., Ghoilpour P., Fattahi M.R., Mousavi S.T., Bitaraf M.A. et al. Indirect Spinal Canal Decompression Using Ligamentotaxis Compared With Direct Posterior Canal Decompression in Thoracolumbar Burst Fractures: A Prospective Randomized Study. *Med J Islam Repub Iran*. 2023;37:59. doi: 10.47176/mjiri.37.59.
46. Khaledian N., Bagheri S.R., Sharifi H., Alimohammadi E. The efficacy of machine learning models in forecasting treatment failure in thoracolumbar burst fractures treated with short-segment posterior spinal fixation. *J Orthop Surg Res*. 2024;19(1):211. doi: 10.1186/s13018-024-04690-3.
47. Bowden D., Michielli A., Merril M., Will S. Systematic review and meta-analysis for the impact of rod materials and sizes in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2022;10(6):1245-1263. doi: 10.1007/s43390-022-00537-1.
48. Lan T., Chen Y., Hu S.Y., Li A.L., Yang X.J. Is fusion superior to non-fusion for the treatment of thoracolumbar burst fracture? A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sci*. 2017;22(5):828-833. doi: 10.1016/j.jos.2017.05.014.
49. Javadnia P., Ramazani Y., Moradinazar M., Salimi N., Moradi S., Alimohammadi E. Predictors of failure in posterior short segment instrumentation for thoracolumbar burst fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2025;20(1):736. doi: 10.1186/s13018-025-06149-5.
50. Sharif S., Shaikh Y., Yaman O., Zileli M. Surgical Techniques for Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine*. 2021;18(4):667-680. doi: 10.14245/ns.2142206.253.

49. Spiegl U., Pätzold R., Krause J., Perl M. Current surgical treatment concepts for traumatic thoracic and lumbar vertebral fractures in adults with good bone quality. *Unfallchirurgie (Heidelb)*. 2025;128(3):167-180. (In German). doi: 10.1007/s00113-024-01505-2.
50. Krishnan P., Das S. Implant Disassembly Due to Pedicle Screw Nut Loosening. *J Neurosci Rural Pract*. 2021;12(4):813-814. doi: 10.1055/s-0041-1735245.
51. Penchev P., Petrov P.P., Ivanov K., Ilyov I., Hyusein R.R., Velchev V. et al. Use of the «Two-Three Click» Protocol in Screw Stabilization of a Patient With Loosened Nuts and Dislocation of Rods – A Case Report. *Cureus*. 2024;16(6):e63373. doi: 10.7759/cureus.63373.
52. Chen L., Liu H., Hong Y., Yang Y., Hu L. Minimally Invasive Decompression and Intracorporeal Bone Grafting Combined with Temporary Percutaneous Short-Segment Pedicle Screw Fixation for Treatment of Thoracolumbar Burst Fracture with Neurological Deficits. *World Neurosurg*. 2020;135:e209-e220. doi: 10.1016/j.wneu.2019.11.123.

Сведения об авторах

✉ Куфтов Владимир Сергеевич — канд. мед. наук
 Адрес: Россия, 241035, г. Брянск, ул. Камозина, д. 11
<https://orcid.org/0000-0002-0548-8944>
 eLibrary SPIN: 1558-5875
 e-mail: kuftov@mail.ru

Усиков Владимир Дмитриевич — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-7350-6772>
 eLibrary SPIN: 3499-8679
 e-mail: usikov@list.ru

Authors' information

✉ Vladimir S. Kuftov — Cand. Sci. (Med.)
 Address: 11, Kamozina st., Bryansk, 241035, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-0548-8944>
 eLibrary SPIN: 1558-5875
 e-mail: kuftov@mail.ru

Vladimir D. Usikov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-7350-6772>
 eLibrary SPIN: 3499-8679
 e-mail: usikov@list.ru

Научная статья

УДК 616.717.46-001.5-089.84

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17722>

Среднесрочные результаты остеосинтеза и эндопротезирования у пациентов с четырехфрагментарными переломами проксимального отдела плечевой кости

К.А. Егиязарян, Д.С. Ершов, Е.П. Тычина, И.И. Михайлов, Н.М. Кондырев

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

Реферат

Актуальность. Четырехфрагментарные переломы проксимального отдела плечевой кости (ПОПК) представляют наибольшие трудности при выборе метода лечения.

Цель исследования — сравнить среднесрочные клинические исходы хирургического лечения пациентов с четырехфрагментарными переломами хирургической шейки плечевой кости после неосложненного остеосинтеза и неосложненного эндопротезирования с использованием разработанной системы субъективной оценки результатов лечения.

Материал и методы. В ретроспективное исследование были включены пациенты в возрасте 18–90 лет с четырехфрагментарными переломами и переломовывихами ПОПК давностью до 14 сут. Пациенты были разделены на две группы: группа остеосинтеза (О, $n = 23$) и группа эндопротезирования (Э, $n = 25$). В обеих группах через 12 мес. с момента выполнения операции был проведен опрос с использованием специально разработанной системы субъективной оценки результатов лечения.

Результаты. Значимой разницы между группами в субъективной оценке результатов лечения через год после остеосинтеза ПОПК и эндопротезирования плечевого сустава выявлено не было. Однако у пациентов в группах были выделены разные критерии в качестве более значимых, которые влияли на субъективную оценку результата лечения перелома. В группе эндопротезирования ими стали ограничение движений в верхней конечности и процент восстановления функции верхней конечности. В группе остеосинтеза прогностически важными в оценке лечения стали уровень боли по 10-балльной ВАШ и личный вклад в реабилитацию оперированной руки после операции.

Заключение. При выполнении наконного остеосинтеза у пациентов с четырехфрагментарным переломом проксимального отдела плечевой кости можно ожидать сопоставимых с реверсивным эндопротезированием плечевого сустава результатов лечения. Исследование показывает важность субъективной оценки качества жизни и удовлетворенности пациентов, которые становятся важными компонентами принятия клинических решений при лечении четырехфрагментарных переломов проксимального отдела плечевой кости.

Ключевые слова: перелом проксимального отдела плечевой кости; реверсивное эндопротезирование плечевого сустава; наконный остеосинтез; ORIF; качество жизни.

Для цитирования: Егиязарян К.А., Ершов Д.С., Тычина Е.П., Михайлов И.И., Кондырев Н.М. Среднесрочные результаты остеосинтеза и эндопротезирования у пациентов с четырехфрагментарными переломами проксимального отдела плечевой кости. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):66-75. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17722>.

Ершов Дмитрий Сергеевич; e-mail: ershov0808@gmail.com

Рукопись получена: 25.05.2025. Рукопись одобрена: 25.09.2025. Статья опубликована онлайн: 15.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Four-Part Proximal Humerus Fractures Treated With Osteosynthesis and Reverse Shoulder Arthroplasty: Mid-Term Results

Karen A. Egiazaryan, Dmitry S. Ershov, Ekaterina P. Tychina, Ivan I. Mikhailov, Nikolaj M. Kondyrev

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Background. Four-part fractures of the proximal humerus (PHF) present great difficulties in selecting an appropriate treatment method.

The aim of the study — to compare the mid-term clinical outcomes of surgical treatment in patients with four-part fractures of the surgical neck of the humerus after uncomplicated osteosynthesis and arthroplasty, using the results of a newly developed subjective outcome assessment system.

Methods. The retrospective study included patients aged 18 to 90 years with four-part fractures and fracture-dislocations of the proximal humerus, with injury duration of up to 14 days. Patients were divided into two groups: the osteosynthesis group (O, n = 23) and the arthroplasty group (A, n = 25). In both groups, 12 months after the surgery, we conducted a survey using a specially developed subjective assessment system.

Results. No significant difference was found between the groups in the subjective assessment of treatment outcomes one year after osteosynthesis of PHF and reverse shoulder arthroplasty. However, in patients from both groups, different criteria were identified as more significant in subjective assessment of the fracture treatment outcome. In A group, following criteria were significant: restricted range of motion in the upper limb and the percentage of functional recovery of the upper limb. In O group, the most prognostically important criteria for treatment assessment were the VAS point and the patients' self-assessment of their contribution to the rehabilitation of the operated arm after surgery.

Conclusion. In four-part fractures of the proximal humerus, plate osteosynthesis can be expected to yield treatment outcomes comparable to those of reverse shoulder arthroplasty. Our study highlights the importance of subjective assessment of quality of life and patient satisfaction, which have become key components in clinical decision-making in the treatment of four-part fractures of the proximal humerus.

Keywords: proximal humerus fracture; reverse shoulder arthroplasty; plate osteosynthesis; ORIF; quality of life.

Cite as: Egiazaryan K.A., Ershov D.S., Tychina E.P., Mikhailov I.I., Kondyrev N.M. Four-Part Proximal Humerus Fractures Treated With Osteosynthesis and Reverse Shoulder Arthroplasty: Mid-Term Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):66-75. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17722>.

✉ Dmitry S. Ershov; e-mail: ershov0808@gmail.com

Submitted: 25.05.2025. Accepted: 25.09.2025. Published online: 15.10.2025.

ВВЕДЕНИЕ

По данным современной литературы, переломы проксимального отдела плечевой кости (ПОПК) находятся на 7-м месте и составляют до 10% от всех переломов у взрослых [1, 2]. У пожилых людей переломы ПОПК находятся на третьем месте [3, 4, 5, 6]. Характер травмы различается: у молодых пациентов она связана с высокоэнергетической травмой, у пожилых — с низкоэнергетической, чаще всего обусловленной остеопорозом [7]. Гендерное распределение достигает соотношения 1:3 в пользу женщин [8]. У пациентов с политравмой наблюдаются более сложные переломы проксимального отдела плечевой кости [9, 10].

Для описания переломов ПОПК применяются разные классификации, из которых наиболее востребованными являются классификации Association of Osteosynthesis (AO) и Neer [11, 12]. Четырехфрагментарные переломы ПОПК (Neer 4) и переломы типа C (AO) являются наиболее «сложными». Большинство переломов ПОПК удачно лечатся консервативно, за исключением переломов типа Neer 3 и 4 [13]. Четырехфрагментарные переломы — наиболее трудные с точки зрения не только «модели» перелома (повышается риск аваскулярного некроза головки плечевой кости), но и выбора хирургической тактики [14, 15, 16].

На сегодняшний день у пациентов молодого возраста с четырехфрагментарными переломами ПОПК рекомендуется выполняться накостный остеосинтез [17, 18]. Пожилым пациентам рекомендуют выполнение реверсивного эндопротезирования плечевого сустава (РЭПС) [14, 16, 18].

Появление пластин с угловой стабильностью привело к тому, что данный метод хирургического лечения используется при лечении пациентов с двух-, трех- и четырехфрагментарными переломами ПОПК со смещением отломков [17]. Артропластика верхней конечности появилась сравнительно недавно. Метод гораздо менее развит, чем артропластика нижней конечности, является высокотехнологичным и требует от хирурга соответствующих навыков [19, 20, 21].

Отсутствие четких показаний к тому или иному хирургическому методу лечения переломов ПОПК и разные подходы к выбору лечения встречаются во множестве публикаций, касающихся сравнения РЭПС и накостного остеосинтеза, артропластики и накостного остеосинтеза, РЭПС и гемиартропластики [22].

Цель исследования — сравнить среднесрочные клинические исходы хирургического лечения пациентов с четырехфрагментарными переломами хирургической шейки плечевой кости после неосложненного остеосинтеза и неосложненного эндопротезирования с использованием разрабо-

танной системы субъективной оценки результатов лечения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Работа была выполнена в Университетской клинике травматологии и ортопедии РНИМУ им. Н.И. Пирогова при ГКБ № 1 им. Н.И. Пирогова (г. Москва). В ретроспективное исследование были включены пациенты в возрасте 18–90 лет с четырехфрагментарными переломами и переломовывихами ПОПК давностью до 14 сут., прооперированные в период с 2020 по 2023 г.

Оперативное вмешательство было выполнено в объеме остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью или РЭПС. Операция проводилась в течение первой недели после поступления пациента в стационар; минимальное количество дней после травмы — 1 день; максимальное — 21 день.

Критерии не включения: множественные и сочетанные повреждения; открытые переломы или переломовывихи плечевой кости; установление факта нарушения функции поврежденной верхней конечности до текущей травмы; системные воспалительные заболевания; заболевания соединительной ткани; сопутствующая патология, которая, по мнению исследователя, не позволит пройти курс реабилитации после операции; неспособность или активное нежелание соблюдать рекомендации врача; беременность или лактация.

Критерии исключения: отказ в послеоперационном периоде от дальнейшего участия в исследовании, потеря связи с пациентом.

Пациенты в зависимости от выполненной операции были разделены на две группы: группа остеосинтеза (группа О, $n = 23$) и группа эндопротезирования (группа Э, $n = 25$). Пациенты в группе О имели показания к РЭПС, которое не было выполнено по причине отказа пациентов от эндопротезирования. Критерием включения в группу О являлся хороший рентгенографический результат лечения, соответствующий двум критериям: восстановление геометрии кости и корректное расположение пластины и винтов.

В ходе работы была использована специально разработанная нами система субъективной оценки результата лечения, по которой было проведено анкетирование пациентов. Опрос включал следующие параметры: оценка наиболее выраженного остаточного болевого синдрома по 10-балльной визуально-аналоговой шкале (ВАШ) при движениях рукой или во время сна, оценка ограничения движений в руке в баллах, оценка личного вклада в реабилитацию оперированной руки в баллах, оценка степени восстановления оперированной руки в процентах, оценка результата лечения перелома по 5-балльной шкале (табл. 1).

Таблица 1

Субъективные критерии, использованные пациентами для оценки результата лечения

Субъективный критерий	Задание для пациента и описание оценки критерия
10-балльная визуальная аналоговая шкала	Оцените остаточный болевой синдром от 0 до 10 при движениях рукой или во время сна, где 0 — боль полностью отсутствует, 10 — максимально возможная в вашем представлении боль
Ограничение движений в верхней конечности	Вам нужно дать оценку ограничения движений в оперированном плечевом суставе в баллах (1–4): 1 — нет, могу двигать оперированной рукой как здоровой; 2 — движения в руке немного ограничены; 3 — движения в руке значительно ограничены; 4 — совсем не могу двигать рукой
Оценка личного вклада в реабилитацию оперированной руки после операции	Вам нужно дать оценку личного вклада в реабилитацию оперированной руки в баллах (0–4): 0 — не прилагал(а) усилий к разработке движений в суставе; 1 — были некоторые попытки разработки движений в суставе; 2 — уделял(а) внимание разработке движений в суставе; 3 — очень старался(ась), но думаю, что при большем усердии можно было достичь лучшего результата; 4 — занимался(ась) разработкой движений весь необходимый период восстановления, приложил(а) максимально возможные усилия
Процент восстановления функции верхней конечности	Оцените восстановление функции руки в сравнении с исходным состоянием до травмы от 0 до 100%, где 100% — полное восстановление
Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	Оценка результата лечения перелома по 5-балльной шкале, где 1 — очень плохо, 5 — отлично.

Опрос проводился через 12 мес. с момента выполнения операции. Так как анкетирование было ключевым этапом исследования, потеря связи с пациентом являлась критерием исключения из исследования.

Статистический анализ

Статистический анализ был проведен с использованием языка программирования Python 3.10.9 (библиотеки *scipy*, *pandas*, *seaborn*).

Внутри каждой группы была построена матрица корреляций признаков с применением критерия Кендалла. Внутри групп по критерию Кендалла были определены коэффициенты корреляции признаков. Значения коэффициента 0,1–0,3 соответствовали слабой корреляции; 0,3–0,5 — умеренной корреляции; 0,5–0,7 — сильной корреляции; 0,7–1,0 — очень сильной корреляции. Корреляция могла быть в диапазоне от 0,0 до +1,0 и от 0 до -1,0. Положительное значение коэффициента трактовалось как прямая зависимость одного признака от другого — увеличение одного значения соответствовало увеличению другого. Отрицательное значение коэффициента соответствовало обратной зависимости — при уменьшении одного значения происходило увеличение другого и наоборот.

Для оценки различий между группами Э и О был применен тест Манна–Уитни с подсчетом *r*-критерия. Статистическая значимость установлена на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По критериям включения в исследование был включен 81 пациент: 46 пациентов с остеосинтезом и 35 — с РЭПС. Было опрошено 48 пациентов: 23 — в группе О (50%) и 25 — в группе Э (71,4%). Средний возраст опрошенных пациентов на момент выполнения операции составил $64,5 \pm 7,2$ года в группе О, $66 \pm 9,7$ лет — в группе Э.

Результаты по остаточному болевому синдрому были сопоставимы в обеих группах. Среднее значение ВАШ в группе О составило 1,34 балла, в группе Э — 1,09 балла (рис. 1). При проведении теста Манна–Уитни не было выявлено статистически значимых различий между группами по уровню боли ($p = 0,76$).

Ограничения движений в оперированном плечевом суставе были отмечены пациентами в обеих группах с одинаковой частотой: 18 (78%) в группе О и 20 (80%) в группе Э. В обеих группах не было пациентов, которые оценили ограничения движений как «совсем не могу двигать рукой» и поставили максимальный балл (4) ограничению движений (рис. 2). Больше половины пациентов посчитали, что они или полностью восстановили движения, или имеют небольшие ограничения. При проведении теста Манна–Уитни не было выявлено статистически значимых различий между группами по уровню ограничения движений ($p = 0,72$).



Рисунок 1. Результаты оценки остаточного болевого синдрома:

a, b — наличие остаточного болевого синдрома; c — интенсивность остаточного болевого синдрома по ВАШ

Figure 1. Residual pain syndrome (RPS): a, b — presence of RPS; c — intensity of RPS according to the VAS

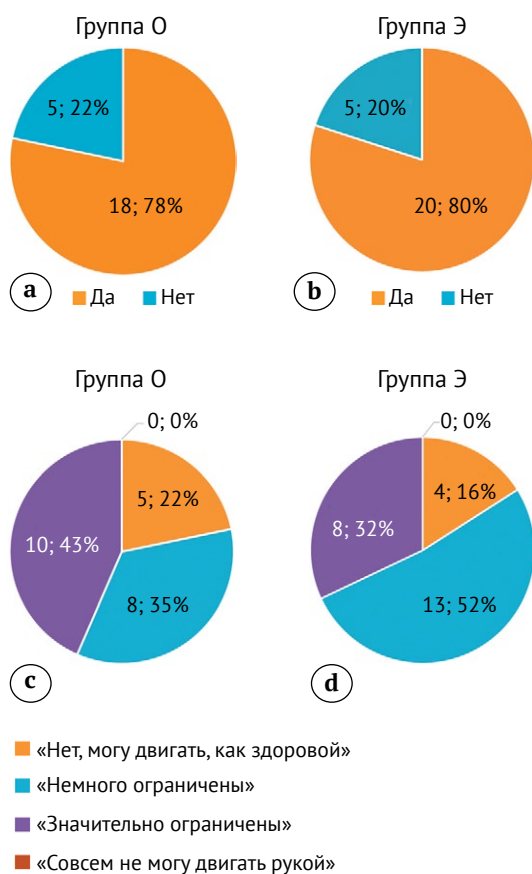


Рисунок 2. Результаты оценки ограничения движений в верхней конечности:

a, b — наличие ограничения движений;

c, d — степень ограничения движений в плечевом суставе

Figure 2. Restricted range of motion in the upper limb:

a, b — presence of movement limitation;

c, d — degree of movement limitation in the shoulder

Группы О и Э отличались по выполнению реабилитационных мероприятий после операции. В группе О все пациенты отметили, что в той или иной мере занимались реабилитацией. В группе Э, в отличие от группы О, 7 пациентов (28%) оценили приложенные усилия к реабилитации как «не прилагал(а) усилий к разработке движений в суставе» или «были некоторые попытки разработки движений в суставе», что подразумевало практически полное отсутствие реабилитации (рис. 3). Статистически значимых различий в прилагаемых усилиях по проведению реабилитационных мероприятий между группами при проведении теста Манна – Уитни выявлено не было ($p = 0,8$).

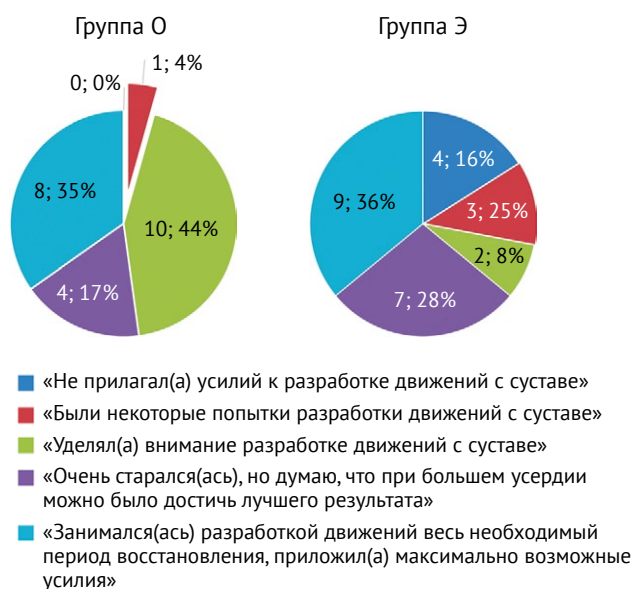


Рисунок 3. Оценка пациентами приложенных усилий к реабилитации плечевого сустава после операции

Figure 3. Patients' self-assessment of their contribution to the rehabilitation of the shoulder after surgery

Доля пациентов, которые оценили результат лечения по 5-балльной шкале на 4 и 5, была практически одинаковой в обеих группах — 87% в группе О и 88% в группе Э (рис. 4). При проведении теста Манна–Уитни также не было выявлено статистически значимых различий между группами ($p = 0,54$).

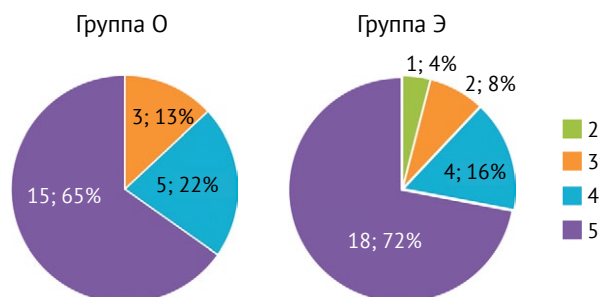


Рисунок 4. Оценка результата лечения по 5-балльной шкале

Figure 4. Assessment of treatment outcome using a 5-point scale

Средний процент оценки восстановления верхней конечности после операции был схожим в обеих группах: в группе О составил $76 \pm 14\%$, в группе Э — $77 \pm 17\%$ (рис. 5). По тесту Манна–Уитни статистически значимых различий также не было выявлено ($p = 0,66$).

В группах О и Э была определена зависимость увеличения остаточного уровня боли по ВАШ при увеличении степени ограничения движений. Общим для обеих групп также было снижение оценки результата лечения по 5-балльной шкале при увеличении степени ограничения движений. Степень ограничения движений в верхней конечности была прямо пропорциональна проценту восстановления функции верхней конечности как в группе О, так и в группе Э. В обеих группах результат лечения по 5-балльной шкале имел прямую корреляцию с процентом восстановления функции конечности (табл. 2).

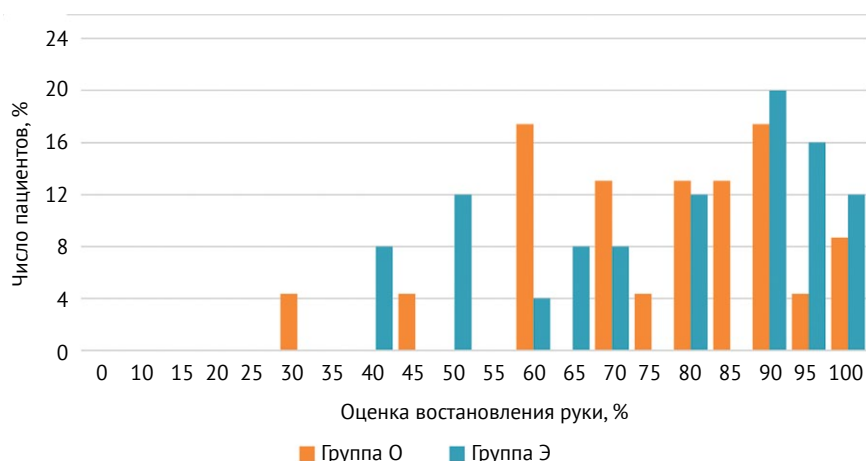


Рисунок 5. Процент восстановления функции верхней конечности

Figure 5. Percentage of functional recovery of the upper limb

Матрица корреляций признаков в группе О

Таблица 2

Признак 1	Признак 2	Коэффициент корреляции	p
Ограничение движений в верхней конечности	Остаточный болевой синдром по 10-балльной ВАШ	0,32	0,0800
Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	Остаточный болевой синдром по 10-балльной ВАШ	-0,67	0,0003
Процент восстановления функции верхней конечности	Остаточный болевой синдром по 10-балльной ВАШ	-0,35	0,0400
Ограничение движений в верхней конечности	Процент восстановления функции верхней конечности	-0,67	0,0001
Ограничение движений в верхней конечности	Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	-0,5	0,0100
Ограничение движений в верхней конечности	Оценка личного вклада в реабилитацию оперированной руки после операции	-0,38	0,0460
Процент восстановления функции верхней конечности	Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	0,57	0,0010

В группе О дополнительно была оценена зависимость между восстановлением функции верхней конечности и остаточным болевым синдромом (чем ниже был процент восстановления руки, тем выше балл по остаточному болевому синдрому ВАШ), между оценкой результата лечения по 5-балльной шкале и остаточным болевым синдромом (чем выше был балл по ВАШ, тем ниже

была оценка результата лечения), между оценкой ограничения в движениях верхней конечности и оценкой вовлеченности в процесс реабилитации (чем выше была оценка личного вклада в реабилитацию оперированной руки, тем ниже был балл ограничения движений в верхней конечности) (табл. 3).

Таблица 3

Матрица корреляций признаков в группе Э

Признак 1	Признак 2	Коэффициент корреляции	p
Ограничение движений в верхней конечности	Остаточный болевой синдром по 10-балльной ВАШ	0,32	0,070
Ограничение движений в верхней конечности	Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	-0,36	0,050
Ограничение движений в верхней конечности	Процент восстановления функции верхней конечности	-0,72	0,0001
Оценка результата лечения по 5-балльной шкале	Процент восстановления функции верхней конечности	0,48	0,004

ОБСУЖДЕНИЕ

Публикации, посвященные сравнению хирургических тактик лечения переломов проксимального отдела плеча, неоднозначны по результатам и отличаются по включенным в исследование пациентам. R.G. Alrabaa с соавторами проанализировали результаты лечения 384 158 пациентов с переломом ПОПК в период с 2010 по 2019 г. и пришли к выводу, что у пациентов, которым был проведен накостный остеосинтез, было больше осложнений и повторных операций по сравнению с пациентами, которым было проведено РЭПС. Однако в исследование были включены пациенты со всеми типами переломов ПОПК, а также оценивали исключительно наличие осложнений, повторные операции, обращения в отделение неотложной помощи и повторные госпитализации [22]. B.I. Yahuasa с соавторами проанализировали результаты лечения 425 пациентов (средний возраст 65 ± 13 лет, диапазон 18–93 лет; с двух-, трех- и четырехфрагментарными переломами ПОПК), которым были проведены накостный остеосинтез, РЭПС и гемиартропластика. Группы отличались по частоте повторных оперативных вмешательств (наименьшая частота — у группы РЭПС), а также по радиологическим признакам сращения (они были выше в группе накостного остеосинтеза). В объеме движений после операции различий между группами выявлено не было [23]. Под наблюдением A. Klug с соавторами находились 60 пациентов со сложными переломами ПОПК, средний возраст которых составил $73,2 \pm 6,4$ года. В выводах, также как у R.G. Alrabaa с соавторами и B.I. Yahuasa с соавторами, отмечается связь РЭПС с меньшим количеством осложнений и ревизионных вмешательств.

Однако A. Klug с соавторами отметили лучшие функциональные результаты в группе накостного остеосинтеза [24].

V.K. Kancherla с соавторами отмечают, что появление компрессионных пластин является весомым аргументом рассмотреть их в качестве метода хирургического лечения при четырехфрагментарных переломах как альтернатива РЭПС. Однако данный метод требует соответствующих хирургических навыков [17].

Важной особенностью нашего исследования явился критерий включения с учётом оценки качества остеосинтеза по данным рентгенологического исследования. Мы предположили, что некорректная установка пластины и винтов могла повлиять на результат лечения, поэтому в исследование были включены только пациенты с «хорошими» рентгенологическими результатами после выполненного накостного остеосинтеза (была восстановлена геометрия проксимального отдела плечевой кости, металлофиксатор был расположен корректно).

Второй особенностью исследования стала оценка полученных результатов оперативного лечения самими пациентами по разработанным субъективным шкалам. Субъективная оценка является актуальной для патологий, где преимущества различных хирургических методов лечения до конца не исследованы. Субъективные оценки пациентами включают такие показатели, как восприятие состояния здоровья, уровень боли, функциональные ограничения и общее качество жизни. Эти аспекты часто не учитываются в традиционных клинических исследованиях, что может ограничить всеобъемлющую оценку полученных результатов [25, 26, 27, 28, 29].

G. Massagnano с соавторами проанализировали результаты лечения 63 пациентов, прооперированных методами накостного остеосинтеза и РЭПС. Помимо оценки двигательной функции, также оценивались субъективные составляющие с использованием шкал General Anxiety Disorder-7 и Caregiver Strain. Авторы пришли к выводу, что накостный остеосинтез и РЭПС являются эффективными методами лечения сложных переломов ПОПК, и для выбора метода лечения рекомендуется анализ психологического состояния пациента [30].

В нашем исследовании не было выявлено значимой разницы между результатами лечения пациентов в сравниваемых группах. Однако имелись статистически значимые отличия по связи исследованных критериев внутри каждой из групп. Так, в обеих группах была прямая зависимость оценки лечения по 5-балльной шкале от оценки восстановления верхней конечности в процентах (чем выше оценивалось восстановление руки в процентах, тем выше была оценка лечения по 5-балльной шкале). Восстановление верхней конечности в процентах также зависело от объема ограничения движений (чем более значимым было ограничение движений, тем ниже был процент восстановления руки). В группе О дополнительно была выявлена обратная зависимость между уровнем реабилитации и ограничением двигательной функции (чем меньше было приложено усилий по реабилитации, тем большую степень ограничений движений отмечали пациенты). Данная тенденция абсолютно отсутствовала у пациентов после эндопротезирования. Семь (28%) пациентов после эндопротезирования посчитали, что не прилагали дополнительных усилий к реабилитации. В группе О такую оценку дал только один (4%) пациент, остальные 22 (96%) прикладывали усилия по реабилитации. Несмотря на эту разницу в реабилитации оценка результатов лечения была сопоставима в обеих группах. В группе О, в отличие от группы Э, на субъективную оценку восстановления верхней конечности в процентах и оценку результата лечения также влиял уровень боли (чем выше была

оценка остаточного болевого синдрома по ВАШ, тем ниже были процент восстановления верхней конечности и оценка результата лечения).

Пациентам, которым выполняется остеосинтез, необходимо проходить реабилитацию для увеличения объема движений [31, 32]. Это позволит снизить вероятность сохранения болевого синдрома и получения низкой оценки результата лечения. В то же время выполнение РЭПС позволяет рассчитывать на хорошие и отличные результаты лечения вне зависимости от приложенных усилий к восстановлению движений. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что при выборе тактики лечения четырехфрагментарных переломов ПОПК целесообразно оценивать потенциал реабилитации у пациентов. При низком потенциале реабилитации РЭПС является более предпочтительным методом лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При четырехфрагментарных переломах проксимального отдела плечевой кости оперативное лечение дает обнадеживающие результаты. В качестве лечения можно выбирать накостный остеосинтез и ожидать результатов лечения сопоставимых с реверсивным эндопротезированием плечевого сустава. Важным условием для этого является проведение остеосинтеза с получением хорошего рентгенологического результата, а также прохождением реабилитационных мероприятий. При выполнении остеосинтеза или реверсивного эндопротезирования плечевого сустава у пациентов с четырехфрагментарными переломами проксимального отдела плечевой кости по классификации Neer не у всех достигается полное восстановление верхней конечности. Это важно учитывать во время беседы при выборе метода оперативного лечения.

Наше исследование подчеркивает важность субъективной оценки качества жизни и удовлетворенности пациентов, которые становятся важными компонентами принятия клинических решений при лечении четырехфрагментарных переломов проксимального отдела плечевой кости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Егизарян К.А. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

Ершов Д.С. — сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи, статистическая обработка данных.

Тычина Е.П. — сбор, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Михайлов И.И. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

DISCLAIMERS

Author contribution

Egizaryan K.A. — study concept and design, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Ershov D.S. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript, statistical data processing, editing the manuscript.

Tychina E.P. — data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

Mikhailov I.I. — data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Кондырев Н.М. — сбор, анализ и интерпретация данных, 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 участие в исследовании и публикацию результатов.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Kondyrev N.M. — data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Roux A., Decroocq L., El Batti S., Bonneville N., Moineau G., Trojani C. et al. Epidemiology of proximal humerus fractures managed in a trauma center. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98(6):715-719. doi: 10.1016/j.otsr.2012.05.013.
- Passaretti D., Candela V., Sessa P., Gumina S. Epidemiology of proximal humeral fractures: a detailed survey of 711 patients in a metropolitan area. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017;26(12):2117-2124. doi: 10.1016/j.jse.2017.05.029.
- Iglesias-Rodríguez S., Domínguez-Prado D.M., García-Reza A., Fernández-Fernández D., Pérez-Alfonso E., García-Piñeiro J. et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):402. doi: 10.1186/s13018-021-02551-x.
- Launonen A.P., Lepola V., Saranko A., Flinkkilä T., Laitinen M., Mattila V.M. Epidemiology of proximal humerus fractures. *Arch Osteoporos.* 2015;10:209. doi: 10.1007/s11657-015-0209-4.
- Rupp M., Walter N., Pfeifer C., Lang S., Kerschbaum M., Krusch W. et al. The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany—an Analysis From 2009 through 2019. *Dtsch Arztebl Int.* 2021;118(40):665-669. doi: 10.3238/arztebl.m2021.0238.
- Stolberg-Stolberg J., Köppe J., Rischen R., Freistühler M., Faldum A., Katthagen J.C. et al. The Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures in Elderly Patients. *Dtsch Arztebl Int.* 2021;118(48):817-823. doi: 10.3238/arztebl.m2021.0326.
- Pencle F., Varacallo M.A. Proximal Humerus Fracture. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470346/>.
- Clement N.D., Duckworth A.D., McQueen M.M., Court-Brown C.M. The outcome of proximal humeral fractures in the elderly: predictors of mortality and function. *Bone Joint J.* 2014;96-B(7):970-977. doi: 10.1302/0301-620X.96B7.32894.
- Fram B.R., Strony J.T., Chen R.E., Namdari S., Krieg J.C. Proximal humerus fractures: Postoperative protocols and factors affecting treatment decisions among shoulder and elbow and orthopedic trauma surgeons. *J Orthop.* 2023;49:75-80. doi: 10.1016/j.jor.2023.11.062.
- Апагуни А.Э., Арзуманов С.В. Лечение переломов плеча при политравме. *Политравма.* 2011;(1):41-47.
- Apaguni A.E., Arzumanov S.V. Treatment of shoulder fractures in polytrauma. *Polytrauma.* 2011;(1):41-47. (In Russian).
- Neer C.S. 2nd. Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am.* 1970;52(6):1077-1089.
- Müller M.E., Nazarian S., Koch P. Classification AO des Fractures. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 1987. 163 p.
- McLean A.S., Price N., Graves S., Hatton A., Taylor F.J. Nationwide trends in management of proximal humeral fractures: an analysis of 77,966 cases from 2008 to 2017. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019;28(11):2072-2078. doi: 10.1016/j.jse.2019.03.034.
- Bosch T.P., Beeres F.J.P., Ferree S., Schipper I.B., Camenzind R.S., Hoepelman R.J. et al. Reverse Shoulder Arthroplasty versus Non-Operative Treatment of Three-Part and Four-Part Proximal Humerus Fractures in the Elderly Patient: A Pooled Analysis and Systematic Review. *J Clin Med.* 2024;13(11):3344. doi: 10.3390/jcm13113344.
- Miltenberg B., Masood R., Katsiaunis A., Moverman M.A., Puzzitiello R.N., Pagani N.R. et al. Fracture dislocations of the proximal humerus treated with open reduction and internal fixation: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022;31(10):e480-e489. doi: 10.1016/j.jse.2022.04.018.
- Rudran B., Little C., Duff A., Poon H., Tang Q. Proximal humerus fractures: anatomy, diagnosis and management. *Br J Hosp Med (Lond).* 2022;83(7):1-10. doi: 10.12968/hmed.2021.0554.
- Kancherla V.K., Singh A., Anakwenze O.A. Management of Acute Proximal Humeral Fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25(1):42-52. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00240.
- Buckley R.E., Moran C.G., Apivatthakakul T. AO principles of fracture management. Georg Thieme Verlag; 2018. doi: 10.1055/b-006-149767.
- Skirving A.P. Total shoulder arthroplasty – current problems and possible solutions. *J Orthop Sci.* 1999;4(1):42-53. doi: 10.1007/s007760050073.
- Tolat A., Sinha A. Upper limb arthroplasty – An update. *J Orthop.* 2022;36:18. doi: 10.1016/j.jor.2022.12.001.

21. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Ершов Д.С., Кондырев Н.М., Бадриев Д.А. Возможности эндопротезирования у пациентов с последствиями травм плечевого сустава. *Хирургическая практика*. 2022;(2):60-66. doi: 10.38181/2223-2427-2022-1-60-66. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Ершов Д.С., Кондырев Н.М., Бадриев Д.А. Possibilities of endoprosthetics in patients with the consequences of shoulder joint injuries. *Surgical practice*. 2022;(2):60-66. (In Russian.) doi: 10.38181/2223-2427-2022-1-60-66.
22. Alrabaa R.G., Ma G., Truong N.M., Lansdown D.A., Feeley B.T., Zhang A.L. et al. Trends in Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures and Analysis of Postoperative Complications Over a Decade in 384,158 Patients. *JBJS Open Access*. 2022;7(4):e22.00008. doi: 10.2106/JBJS.OA.22.00008.
23. Yahuaca B.I., Simon P., Christmas K.N., Patel S., Gorman R.A. 2nd, Mighell M.A. et al. Acute surgical management of proximal humerus fractures: ORIF vs. hemiarthroplasty vs. reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29(7S):S32-S40. doi: 10.1016/j.jse.2019.10.012.
24. Klug A., Harth J., Hoffmann R., Gramlich Y. Surgical treatment of complex proximal humeral fractures in elderly patients: a matched-pair analysis of angular-stable plating vs. reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29(9):1796-1803. doi: 10.1016/j.jse.2020.01.073.
25. Amarilla-Donoso F.J., López-Espuela F., Roncero-Martín R., Leal-Hernández O., Puerto-Parejo L.M., Aliaga-Vera I. et al. Quality of life in elderly people after a hip fracture: a prospective study. *Health Qual Life Outcomes*. 2020;14(1):71. doi: 10.1186/s12955-020-01314-2.
26. Pandey R., Raval P., Manibanakar N., Nanjayan S., McDonald C., Singh H. Proximal humerus fractures: A review of current practice. *J Clin Orthop Trauma*. 2023;43:102233. doi: 10.1016/j.jcot.2023.102233.
27. Haraldstad K., Wahl A., Andenæs R., Andersen J.R., Andersen M.H., Beisland E. et al. A systematic review of quality of life research in medicine and health sciences. *Qual Life Res*. 2019;28(10):2641-2650. doi: 10.1007/s11136-019-02214-9.
28. Hernández-Segura N., Marcos-Delgado A., Pinto-Carral A., Fernández-Villa T., Molina A.J. Health-Related Quality of Life (HRQOL) Instruments and Mobility: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(24):16493. doi: 10.3390/ijerph192416493.
29. Zwart M., Azagra-Ledesma R., Díaz-Herrera M.Á., Pujol J., Saez M., Aguyé-Batista A. Health-Related Quality of Life in Men with Fractures and Fear of Falling in General Population: A Cross-Sectional Study. *J Clin Med*. 2025;14(3):925. doi: 10.3390/jcm14030925.
30. Maccagnano G., Solarino G., Pesce V., Vicenti G., Coviello M., Nappi V.S. et al. Plate vs reverse shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures: The psychological health influence the choice of device? *World J Orthop*. 2022;13(3):297-306. doi: 10.5312/wjo.v13.i3.297.
31. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Гордиенко Д.И., Григорьев А.В., Овчаренко Н.В. Среднесрочные результаты лечения переломов проксимального отдела плечевой кости методом внутрикостного остеосинтеза. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(4):81-88. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-81-88. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Гордиенко Д.И., Григорьев А.В., Овчаренко Н.В. Midterm Treatment Outcomes of Proximal Humerus Fractures by Intramedullary Fixation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(4):81-88. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-81-88.
32. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Ершов Д.С., Куруч Е.А., Кузнецов В.Н., Овчаренко Н.В. Среднесрочные результаты хирургического лечения пациентов с переломами плечевой кости. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):68-79. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-68-79. Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Ершов Д.С., Куруч Е.А., Кузнецов В.Н., Овчаренко Н.В. Surgical Treatment of Humerus Fracture-Dislocations: Medium-Term Results. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(4): 68-79. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-68-79.

Сведения об авторах

✉ Ершов Дмитрий Сергеевич – канд. мед. наук, доцент
Адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
eLibrary SPIN: 9839-1206
e-mail: ershov0808@gmail.com

Егиазарян Карен Альбертович – д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
eLibrary SPIN: 5488-5307
e-mail: egkar@mail.ru

Тычина Екатерина Павловна
<https://orcid.org/0009-0006-9697-672X>
eLibrary SPIN: 6678-0152
e-mail: ekaterinn.ty@gmail.com

Михайлов Иван Ильич
<https://orcid.org/0000-0003-1153-000X>
e-mail: mikhailov.ivan01@gmail.com

Кондырев Николай Михайлович
<https://orcid.org/0000-0001-8002-0260>
e-mail: nkondyrev@gmail.com

Authors' information

✉ Dmitry S. Ershov — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor
Address: 1, Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7005-2752>
eLibrary SPIN: 9839-1206
e-mail: ershov0808@gmail.com

Karen A. Egiazaryan — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>
eLibrary SPIN: 5488-5307
e-mail: egkar@mail.ru

Ekaterina P. Tychina
<https://orcid.org/0009-0006-9697-672X>
eLibrary SPIN: 6678-0152
e-mail: ekaterinn.ty@gmail.com

Ivan I. Mikhailov
<https://orcid.org/0000-0003-1153-000X>
e-mail: mikhailov.ivan01@gmail.com

Nikolaj M. Kondyrev
<https://orcid.org/0000-0001-8002-0260>
e-mail: nkondyrev@gmail.com



Beyond Mechanism: Comparable Complication Rates in High- and Low-Energy Distal Femoral Fractures Suggest Complex Risk Interplay

Snir Balziano¹, Eyal Ginesin²

¹Chaim Sheba Medical Center at Tel Hashomer, Ramat Gan, Israel

²Rambam Health Care Campus, Haifa, Israel

Abstract

Background. Distal femoral fractures traditionally present in two distinct populations: young males with high-energy trauma and elderly females with low-energy injuries. Despite inherent differences between these groups, direct outcome comparisons remain limited.

The aim of the study — to compare complication rates between surgically treated high- and low-energy distal femoral fractures and to assess whether injury mechanism independently influences outcomes.

Methods. A retrospective review of surgically treated distal femoral fractures at a single center over a decade was conducted. Cases were categorized into high- and low-energy mechanisms. Patient demographics, comorbidities, fracture characteristics, fixation methods, and annual incidence were analyzed. Primary outcomes included nonunion, infection, and hardware failure.

Results. A total of 162 cases were analyzed, with an overall complication rate of 12.3%: nonunion (6.8%), infection (3.1%), and hardware failure (2.5%). Complication rates were comparable between high- and low-energy groups ($p = 0.551$).

Conclusions. Despite distinct demographic profiles and injury mechanisms, complication rates were similar between groups, suggesting a complex balance of risk factors. This finding challenges the assumption that injury mechanism predicts outcomes and emphasizes the importance of personalized perioperative care addressing patient-specific risk factors rather than injury mechanism alone.

Keywords: distal femoral fractures; complications; high-energy trauma; low-energy trauma.

Cite as: Balziano S., Ginesin E. Beyond Mechanism: Comparable Complication Rates in High- and Low-Energy Distal Femoral Fractures Suggest Complex Risk Interplay. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):76-83. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17763>.

✉ Snir Balziano; e-mail: SBalaziano@gmail.com

Submitted: 06.09.2025. Accepted: 21.10.2025. Published online: 07.11.2025.



Только ли механизм травмы? Сопоставимая частота осложнений при высоко- и низкоэнергетических переломах дистального отдела бедренной кости как показатель сложной взаимосвязи факторов риска

С. Бальзиано¹, Э. Джинезин²

¹ Chaim Sheba Medical Center at Tel Hashomer, г. Рамат-Ган, Израиль

² Rambam Health Care Campus, г. Хайфа, Израиль

Реферат

Актуальность. Переломы дистального отдела бедренной кости (ДОБК), как правило, встречаются у молодых мужчин в результате высокоэнергетической травмы и у пожилых женщин при низкоэнергетической травме. Несмотря на существенные различия между этими группами населения, данных о сравнении исходов их лечения недостаточно.

Цель исследования — сравнить частоту осложнений при хирургическом лечении высоко- и низкоэнергетических переломов дистального отдела бедренной кости и оценить, влияет ли механизм травмы на исход лечения независимо от других факторов.

Материал и методы. Был проведен одноцентровый ретроспективный анализ результатов хирургического лечения переломов ДОБК за десятилетний период. Все наблюдения были разделены на группы высоко- и низкоэнергетических травм. Анализировали демографические данные пациентов, сопутствующие заболевания, характеристики переломов, методы фиксации и ежегодную частоту случаев. Были выявлены следующие осложнения: несращение, инфекция и несостоятельность металлоконструкции.

Результаты. Всего было проанализировано 162 случая. Общая частота осложнений составила 12,3%: несращение (6,8%), инфекция (3,1%) и несостоятельность металлоконструкции (2,5%). Частота осложнений была сопоставима в группах с высоко- и низкоэнергетическими травмами ($p = 0,551$).

Заключение. Несмотря на различия в демографических характеристиках и механизмах травмы, частота осложнений в группах была схожей, что указывает на комплексное взаимодействие факторов риска. Полученный результат ставит под сомнение предположение о том, что механизм травмы определяет исход лечения. Подчеркивается важность персонализированного периоперационного ведения пациента с учетом специфических факторов риска, а не только механизма травмы.

Ключевые слова: переломы дистального отдела бедренной кости; осложнения; высокоэнергетическая травма; низкоэнергетическая травма.

 **Для цитирования:** Бальзиано С., Джинезин Э. Только ли механизм травмы? Сопоставимая частота осложнений при высоко- и низкоэнергетических переломах дистального отдела бедренной кости как показатель сложной взаимосвязи факторов риска. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):76-83. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17763>.

 **Снир Бальзиано;** e-mail: SBalaziano@gmail.com

Рукопись получена: 06.09.2025. Рукопись одобрена: 21.10.2025. Статья опубликована онлайн: 07.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Distal femoral fractures, though comprising only 1% of all fractures and 3-6% of femoral fractures, represent a significant clinical challenge warranting increased attention as demographic shifts predict a rising incidence, particularly with the expanding global geriatric population [1, 2].

These fractures present a unique dichotomy in their demographic distribution and mechanism of injury. The first group predominantly consists of young males sustaining high-energy trauma, while the second encompasses elderly females typically experiencing low-energy injuries [1, 2]. This distinct bimodal distribution offers a compelling opportunity to examine how different injury mechanisms and patient characteristics influence outcomes.

The current treatment landscape encompasses a spectrum of interventions, ranging from conservative management to various surgical fixation techniques. While the fundamental goal remains consistent across all approaches — maintaining joint architecture and ensuring articular stability [3] — the path to achieving these objectives varies considerably. The complexity of management is further compounded by significant complications, including malunion, nonunion, infection, and hardware failure, often necessitating challenging revision surgeries [2, 4, 5, 6]. These complications not only impact patient outcomes and quality of life but also pose substantial healthcare resource challenges [7, 8, 9]. Current literature reports considerable variation in complication rates, with nonunion rates spanning 6-38% and infection rates ranging from 3-15% [10, 11, 12, 13]. However, there remains a notable gap in comparative analyses between demographic groups.

The inherent physiological, mechanical, and demographic differences between these two distinct patient populations suggest potential variations in complication patterns and rates [14]. Understanding these variations could prove instrumental in developing targeted treatment algorithms and optimizing resource allocation. Given the relative infrequency of these fractures and their significant impact, there is a compelling need for comprehensive research in this area.

The aim of this study — to compare complication rates between surgically treated high- and low-energy distal femoral fractures and to assess whether injury mechanism independently influences outcomes.

METHODS

Study design

This single-center retrospective cohort study was conducted following institutional committee approval, analyzing outcomes of surgically treated distal femoral fractures over an eleven-year period (January 2006 — March 2017).

Patient selection and data collection

We identified 200 patients with surgically treated distal femoral fractures at Rambam Health Care Campus between January 2006 and March 2017 using ICD-9 codes. *Inclusion criteria* were: age ≥ 18 years; acute distal femoral fractures (AO/OTA 33 group) treated with definitive surgical fixation. All diagnoses were verified through detailed medical record review and preoperative radiographic assessment. *Exclusion criteria* were: periprosthetic fractures; bilateral fractures; miscoded cases not representing distal femoral fractures; preoperative mortality; and primary amputation due to vascular compromise. After applying these criteria, 162 patients remained for final analysis (Figure 1).

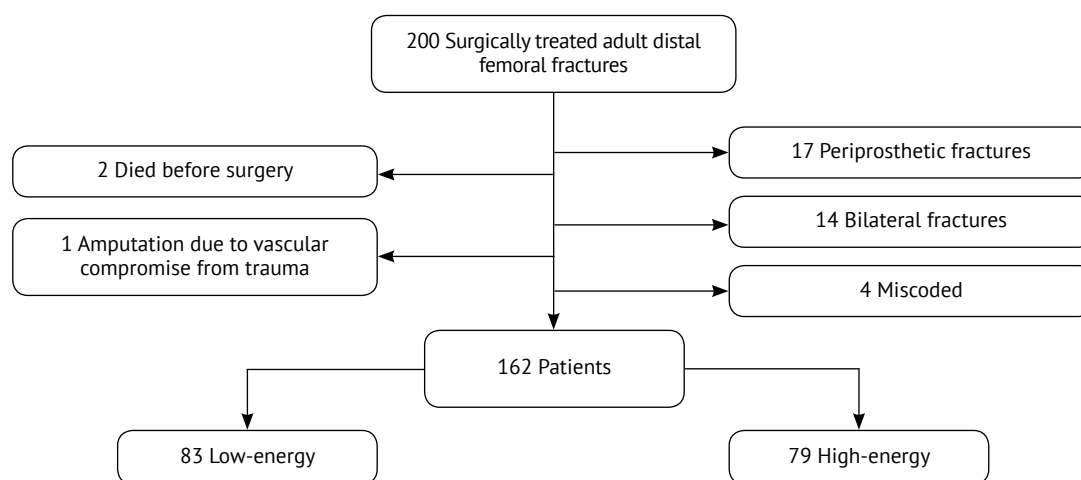


Figure 1. Patient selection flowchart

Cases were stratified by injury mechanism into two groups: low-energy trauma (falls from standing height) and high-energy trauma (motor vehicle accidents or falls from above standing height). Comprehensive data collection included demographic characteristics, lifestyle factors, and major comorbidities such as diabetes, hypertension, cardiac conditions, and chronic renal failure. Additionally, we documented fracture characteristics and associated injuries, which were quantified using the Injury Severity Score [15]. Fracture classification was performed using the AO/OTA system, with independent verification by two authors to ensure reliability.

Post-operative protocol

A standardized rehabilitation protocol was implemented, consisting of an initial six-week non-weight-bearing period followed by a subsequent six-week partial weight-bearing progression. The median follow-up duration was 7 months [4; 12], with 60.5% of patients completing extended follow-up (> 3 months).

Outcome measures

Complications were defined according to standardized criteria. Nonunion was defined as cessation of consolidation progress after 8 months or lack of radiographic improvement over 3 consecutive months. Hardware failure was characterized as implant breakage or significant radiological loosening resulting in re-displacement, shortening, or fracture movement. Surgical site infection was documented as microbial contamination within one year of implant placement [16].

Statistical analysis

Continuous variables were assessed for normality using the Shapiro-Wilk test and were found to be non-normally distributed. Therefore, they are presented as median (Me) with interquartile range [Q_1 ; Q_3] and compared using the Mann-Whitney U test. Categorical variables are presented as counts and percentages and compared using Pearson's chi-square or Fisher's exact test, as appropriate. A p-value < 0.05 was considered statistically significant. All analyses were performed using SPSS version 26.0 (IBM, Armonk, NY, USA).

RESULTS

Demographics and lifestyle characteristics

The final cohort comprised 162 adult cases with surgically treated distal femoral fractures, distributed between low-energy (51.2%) and high-energy (48.8%) mechanisms. The overall median age was 57.9 years [35.4; 73.2], with significant age disparity between groups: low-energy cases had median age of 70.0 years compared to 36.0 in high-energy cases ($p < 0.001$). Gender distribution showed significant variation, with female predominance in the low-energy group and male predominance in the high-energy group ($p < 0.001$) (Table 1). The age and sex distribution of the cohort demonstrates peaks in young males and elderly females (Figure 2).

In the subset of patients with available BMI data (22.2%, $n = 36$), the low-energy group demonstrated significantly higher median values (29.1 vs 23.1; $p = 0.002$). Smoking status, documented in 35.1% of cases ($n = 57$), was significantly more prevalent in the high-energy group ($p = 0.002$). Comorbidity analysis revealed significantly higher rates of diabetes ($p = 0.015$), hypertension ($p < 0.001$), and cardiac diseases ($p < 0.001$) in the low-energy group (see Table 1).

Table 1

Patient characteristics at baseline

Parameter	Low-energy group	High-energy group	p-value
Age, years, Me [Q_1 ; Q_3]	70.0 [59.3; 79.7]	36.0 [26.8; 53.5]	< 0.001
Gender (F), n (%)	71 (85.5)	27 (34.1)	< 0.001
BMI, kg/m ² , Me [Q_1 ; Q_3]	29.1 [24.9; 33.3]	23.1 [20.7; 27.5]	0.002
Smoker, n (%)	8 (30.7)	22 (70.9)	0.002
Co-morbidities, n (%)			
Diabetes	22 (26.5)	9 (11.3)	0.015
Hypertension	32 (38.5)	9 (11.3)	< 0.001
Cardiac condition	17 (20.4)	2 (2.5)	< 0.001
Renal condition	2 (2.4)	1 (1.2)	0.589

BMI — body mass index.

Statistically significant values are shown in bold.

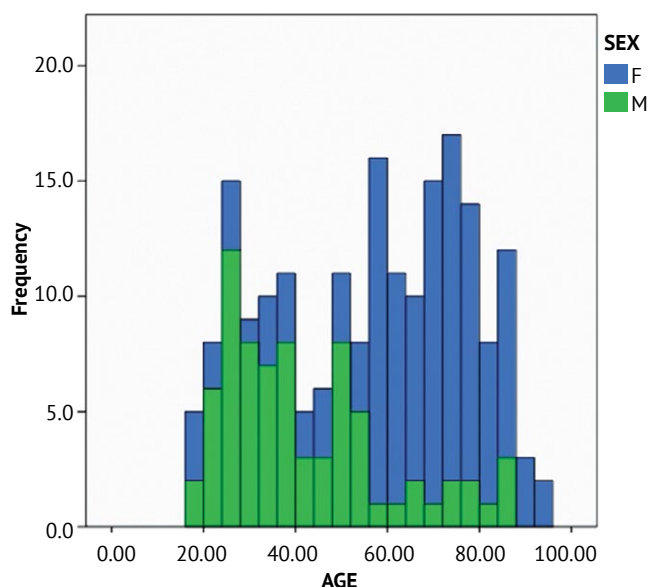


Figure 2. Distribution of the cohort with the subdivision between sexes. F — female, M — male

Fracture characteristics

Fracture laterality showed equal distribution between groups ($p = 0.542$). According to AO/OTA classification, type 33-A fractures predominated (58.6%), followed by type 33-B (30.3%) and type 33-C (11.1%). Detailed characteristics of the fractures are presented in Table 2.

Surgical management

All procedures were performed within 7 days of injury. Plate fixation was the predominant surgical technique, employed in 107 cases (66.0%). Detailed fixation method distribution is presented in Table 2.

Complications and outcomes

The overall complication rate was 12.3% ($n = 20$), comprising nonunion (6.8%), infection (3.1%), and hardware failure (2.5%). Notably, complication rates showed no significant difference between high and low-energy groups ($p = 0.551$) (Table 3), surgical techniques ($p = 0.445$), open fractures ($p = 0.177$), or injury severity scores ($p = 0.281$).

Table 2

Fracture and fixation methods distribution

Parameter	Low-energy group		High-energy group		p-value
	n	%	n	%	
<i>AO/OTA classification</i>					0.921
33-A	50	60.2	45	56.9	
33-B	9	10.8	9	11.3	
33-C	24	28.9	25	31.6	
<i>Injury characteristics</i>					
Open fracture	0	0.0	18	22.8	< 0.001
Injury Severity Score					< 0.001
Moderate	0	0.0	54	68.4	
Severe	0	0.0	16	20.3	
Critical	0	0.0	9	11.4	
<i>Fixation method</i>					0.004
Plate	57	68.6	50	63.3	
Nail	24	28.9	15	19.0	
K-Wire	1	1.2	0	0.0	
Screws	1	1.2	4	5.1	
External fixator	0	0.0	10	12.7	

Statistically significant values are shown in bold.

Table 3

Complication rates

Complication	Low-energy group		High-energy group		p-value
	n	%	n	%	
Infection	1	1.2	4	5.1	0.551
Nonunion	6	7.2	5	6.3	
Hardware failure	2	2.4	2	2.5	
Total	9	10.8	11	13.9	

Management of nonunion cases ($n = 11$) involved revision surgery performed 6–12 months post-initial procedure. Treatment strategies included isolated bone grafting (5 cases), plating (4 cases), and combined plating with bone grafting (2 cases). All revision cases demonstrated radiographic healing within 3 months post-revision.

Post-operative outcomes

All patients achieved functional range of motion, defined as absence of extension lag and minimum flexion of 110 degrees, with no discrepancy in leg length at final follow-up.

DISCUSSION

Our study of distal femoral fractures, conducted at a major medical center serving approximately two million residents, revealed an incidence of 9.56 cases per million per year. This finding aligns with existing literature and reinforces the relative rarity of these fractures [17], underlining the importance of comprehensive analysis to better understand their epidemiology.

The demographic distribution in our cohort strongly supports the bimodal pattern theory, contrasting with Court-Brown and Caesar's original unimodal distribution model [18]. Our data demonstrated clear peaks in young males and elderly females, as in several other studies [17, 19], with corresponding injury mechanisms: high-energy trauma predominantly affecting young males and low-energy falls primarily involving elderly females [17, 20, 21]. The low-energy group predictably exhibited a higher prevalence of comorbidities, reflecting the age-related health challenges in this population.

Regarding fracture patterns, our finding of AO/OTA 33-A predominance showed no correlation with injury mechanism, consistent with several previous studies [17, 19, 22]. This contrasts with some reports suggesting higher rates of complex articular fractures (AO/OTA 33-C) in high-energy trauma [23], highlighting the complex nature of fracture pattern determinants.

The mean follow-up period of 9.7 months, while shorter than some published series, proved sufficient for assessing primary outcomes and complications. This duration adequately captured the critical healing period, as evidenced by our observation that all revision cases achieved union within 3 months post-revision. Moreover, the local healthcare structure, where patients with persistent problems remain in follow-up while those achieving satisfactory outcomes often return to community care, suggests that our complication rates likely represent a comprehensive capture of significant adverse events. This follow-up pattern reflects real-world clinical practice and provides valuable insights into the actual trajectory of these injuries.

Our findings regarding surgical management align with current evidence supporting operative intervention, particularly in older patients [8]. The preference for plate fixation at our institution reflects broader trends in the literature [17, 22, 24]. Notably, our data corroborates previous studies showing comparable outcomes between intramedullary nailing and locking plates [25, 26, 27], supporting surgical decision-making based on individual patient and fracture characteristics rather than rigid protocol-based approaches.

Our overall complications align with published data, with nonunion rates of 6.7% matching M. Zlowodzki's systematic review findings of 6.0% across 1,670 cases [7]. Similarly, our deep infection rate of 3.0% corresponds well with the literature rate of 2.7% [7, 28, 29, 30].

A key finding of our study was the comparable complication rates between high- and low-energy groups ($p = 0.551$), which presents an intriguing paradox given their distinctly different demographic and clinical profiles. Our observations suggest a compelling hypothesis about the equilibrium of risk factors between these groups. The high-energy group faced challenges from severe initial soft tissue trauma, higher smoking rates ($p = 0.002$), and potentially more complex injury patterns, while the low-energy group contended with reduced physiological reserves, increased comorbidities, and potentially compromised bone quality. This balance of competing risk factors may explain the similar outcomes between groups. For instance, while advanced age and comorbidities in the low-energy group might predispose to complications, the increased soft tissue damage and higher smoking rates in the high-energy group could pose comparable risks through different mechanisms.

This finding carries significant clinical implications. First, it suggests that the traditional assumption of higher complication rates in either group may need reconsideration. Second, it emphasizes the importance of individualized risk assessment rather than relying solely on injury mechanism as a predictor of complications. Third, it highlights the need for careful preoperative optimization and meticulous surgical technique in both groups, as neither appears to have an inherent advantage in terms of complication risk.

Study limitations

Study limitations include its retrospective, single-center design and incomplete data collection for certain variables. However, the substantial cohort size and comprehensive complication analysis provide valuable insights into the management of these challenging fractures. Future prospective studies incorporating patient-reported outcomes would further enhance our understanding of these injuries.

CONCLUSIONS

Our study demonstrates that despite distinct demographic profiles and injury mechanisms in distal femoral fractures, complication rates remain comparable between high- and low-energy trauma groups. This finding challenges traditional assumptions about outcome predictors and emphasizes that each population faces unique risk factors that may ultimately balance out: soft tissue damage and higher smoking rates in the high-energy group versus reduced

physiological reserves and increased comorbidities in the low-energy group. These results underscore the importance of personalized perioperative care strategies that address patient-specific risk factors rather than relying primarily on injury mechanism. Future research could further elucidate the complex relationship between patient characteristics, injury mechanisms, and outcomes in these challenging fractures.

DISCLAIMERS

Author contribution

Snir Balziano — study concept and design, literature search and review, data acquisition and interpretation, statistical data processing, editing the manuscript.

Eyal Ginesin — study concept and design, drafting the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Use of generative artificial intelligence. The ChatGPT language model was used to improve readability and language of this article. After using the tool, the authors have reviewed and edited the content as needed and take full responsibility for the content of the publication.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Снир Бальзиано — концепция и дизайн исследования, поиск и анализ литературы, сбор и интерпретация данных, статистическая обработка данных, редактирование текста рукописи.

Эаль Джинезин — концепция и дизайн исследования, 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 участие в исследовании и публикацию результатов.

Генеративный искусственный интеллект. Для улучшения стиля и качества изложения использовалась языковая модель ChatGPT. Авторы проверяли и при необходимости редактировали полученный текст и несут полную ответственность за содержание статьи.

REFERENCES

1. Gwathmey F.W. Jr., Jones-Quaidoo S.M., Kahler D., Hurwitz S., Cui Q. Distal femoral fractures: current concepts. *J Am Acad Orthop Surg.* 2010;18(10):597-607. doi: 10.5435/00124635-201010000-00003.
2. Singh R., Ambade R., Landge S., Goyal S., Goel S. Comprehensive Review on Distal Femur Fractures: From Epidemiology to Treatment Strategies. *Cureus.* 2024;16(4):e57937. doi: 10.7759/cureus.57937.
3. Chauhan S., Dhanger S.K., Singh B.P. Study of surgical management of distal femur fracture using locking compression plate. *Int J Orthop Sci.* 2021;7:921-925. doi: 10.22271/ortho.2021.v7.i1n.2589.
4. De Mauro D., Smakaj A., Casiraghi A., Galante C., Bove F., Arduini M. et al. Double plating versus nail-plate construct in AO 33C distal femur fractures: treatment choice affects knee alignment, clinical outcomes, and quality of life — a multicenter study. *J Orthop Traumatol.* 2025;26(1):22. doi: 10.1186/s10195-025-00834-1.
5. Muhammad J., Muahmmad N.Ch., Muhammad R.S., Abdul A., Muhammad H., Kashif A.N. Functional Outcome of Retrograde Femur Nail and DFLCP in Extra Articular Distal Femur Fracture. *IJBR.* 2025;3:650-654. doi: 10.70749/ijbr.v3i6.2019.
6. Alcaide D.M., Blackwood N., Arthur R., Patch D.A., Rutz R.W., Spitler C.A. Distal Interlock Backout in the RFN-Advanced Retrograde Femoral Nailing System (RFNA) in Femur Fractures: Short Term Outcome Analysis. *J Orthop Trauma.* 2025;39(7):357-361. doi: 10.1097/BOT.0000000000002979.
7. Zlowodzki M., Bhandari M., Marek D.J., Cole P.A., Kregor P.J. Operative treatment of acute distal femur fractures: systematic review of 2 comparative studies and 45 case series (1989 to 2005). *J Orthop Trauma.* 2006;20(5):366-371. doi: 10.1097/00005131-200605000-00013.
8. Trikha V., Kumar A. Osteoporotic Distal Femur Fractures: An Overview. *Indian J Orthop.* 2025;59(3):311-325. doi: 10.1007/s43465-025-01345-1.

9. Fu F., Liu B., Pu H., Wang Y., Zhang P., Wei S. et al. Global Trends in the Incidence and Primary Causes of Femoral Fractures, Excluding Femoral Neck Fractures: A Global Epidemiological Study. *Risk Manag Healthc Policy*. 2025;18:117-129. doi: 10.2147/RMHP.S498918.
10. Southeast Fracture Consortium. LCP Versus LISS in the Treatment of Open and Closed Distal Femur Fractures: Does it Make a Difference? *J Orthop Trauma*. 2016;30(6):e212-e216. doi: 10.1097/BOT.0000000000000507.
11. Henderson C.E., Lujan T.J., Kuhl L.L., Bottlang M., Fitzpatrick D.C., Marsh J.L. 2010 mid-America Orthopaedic Association Physician in Training Award: healing complications are common after locked plating for distal femur fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(6):1757-1765. doi: 10.1007/s11999-011-1870-6.
12. Ebraheim N.A., Martin A., Sochacki K.R., Liu J. Nonunion of distal femoral fractures: a systematic review. *Orthop Surg*. 2013;5(1):46-50. doi: 10.1111/os.12017.
13. Bai Y., Zhang X., Tian Y., Tian D., Zhang B. Incidence of surgical-site infection following open reduction and internal fixation of a distal femur fracture: An observational case-control study. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(7):e14547. doi: 10.1097/MD.00000000000014547.
14. Stenquist D.S., Albertson S., Bailey D., Paladino L., Flanagan C.D., Stang T. et al. High- Versus Low-Energy Intertrochanteric Hip Fractures in Young Patients: Injury Characteristics and Factors Associated With Complications. *J Orthop Trauma*. 2023;37(5):222-229. doi: 10.1097/BOT.0000000000002587.
15. Baker S.P., O'Neill B., Haddon W. Jr., Long W.B. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma*. 1974;14(3):187-196.
16. Horan T.C., Gaynes R.P., Martone W.J., Jarvis W.R., Emori T.G. CDC definitions of nosocomial surgical site infections, 1992: a modification of CDC definitions of surgical wound infections. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 1992;13(10):606-608.
17. Khan A.M., Tang Q.O., Spicer D. The Epidemiology of Adult Distal Femoral Shaft Fractures in a Central London Major Trauma Centre Over Five Years. *Open Orthop J*. 2017;11:1277-1291. doi: 10.2174/1874325001711011277.
18. Court-Brown C.M., Caesar B. Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*. 2006;37(8):691-697. doi: 10.1016/j.injury.2006.04.130.
19. Pietu G., Lebaron M., Flecher X., Hulet C., Vandenbussche E. SOFCOT. Epidemiology of distal femur fractures in France in 2011-12. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(5):545-548. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.004.
20. Baron J.A., Karagas M., Barrett J., Kniffin W., Malenka D., Mayor M. et al. Basic epidemiology of fractures of the upper and lower limb among Americans over 65 years of age. *Epidemiology*. 1996;7(6):612-618. doi: 10.1097/00001648-199611000-00008.
21. Ng A.C., Drake M.T., Clarke B.L., Sems S.A., Atkinson E.J., Achenbach S.J. et al. Trends in subtrochanteric, diaphyseal, and distal femur fractures, 1984-2007. *Osteoporos Int*. 2012;23(6):1721-1726. doi: 10.1007/s00198-011-1777-9.
22. Smith J.R., Halliday R., Aquilina A.L., Morrison R.J., Yip G.C., McArthur J. et al. Collaborative - Orthopaedic Trauma Society (OTS). Distal femoral fractures: The need to review the standard of care. *Injury*. 2015;46(6):1084-1088. doi: 10.1016/j.injury.2015.02.016.
23. Paiva M.M., Leal D.P., Kuroki P.K., Barroso B.G., Reyna M.A.A., Leonhardt M.C. et al. Distal femoral fractures from high-energy trauma: a retrospective review of complication rate and risk factors. *Acta Orthop Bras*. 2022;30(spe2):e256896. doi: 10.1590/1413-785220223002e256896.
24. Kayali C., Agus H., Turgut A. Successful results of minimally invasive surgery for comminuted supracondylar femoral fractures with LISS: comparative study of multiply injured and isolated femoral fractures. *J Orthop Sci*. 2007;12(5):458-465. doi: 10.1007/s00776-007-1156-8.
25. Dunbar R.P., Ego K.A., Jones C.B., Ertl J.P., Mullis B., Perez E. et al. Locked Lateral Plating Versus Retrograde Nailing for Distal Femur Fractures: A Multicenter Randomized Trial. *J Orthop Trauma*. 2023;37(2):70-76. doi: 10.1097/BOT.0000000000002482.
26. Markmiller M., Konrad G., Südkamp N. Femur-LISS and distal femoral nail for fixation of distal femoral fractures: are there differences in outcome and complications? *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(426):252-257. doi: 10.1097/01.blo.0000141935.86481.ba.
27. Hierholzer C., von Rüden C., Pötzel T., Woltmann A., Bühren V. Outcome analysis of retrograde nailing and less invasive stabilization system in distal femoral fractures: A retrospective analysis. *Indian J Orthop*. 2011;45(3):243-250. doi: 10.4103/0019-5413.80043.
28. Zhu C., Zhang J., Li J., Zhao K., Meng H., Zhu Y. et al. Incidence and predictors of surgical site infection after distal femur fractures treated by open reduction and internal fixation: a prospective single-center study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):258. doi: 10.1186/s12891-021-04132-9.
29. Baertl S., Metsemakers W.J., Morgenstern M., Alt V., Richards R.G., Moriarty T.F. et al. Fracture-related infection. *Bone Joint Res*. 2021;10(6):351-353. doi: 10.1302/2046-3758.106.BJR-2021-0167.R1.
30. Almwuad'a M.H.H. Distal femur locked plate for fixation of open distal femur fracture. *J Musculoskeletal Surg Res*. 2025;9(3):323-328. doi: 10.25259/JMSR_10_2025.

Authors' information

✉ Snir Balziano, MD
Address: Derech Sheba 2, Ramat Gan, 52621, Israel
<https://orcid.org/0000-0002-8232-8602>
e-mail: SBalziano@gmail.com
Eyal Ginesin, MD
<https://orcid.org/0000-0002-1548-7865>
e-mail: Eyalgin@gmail.com

Сведения об авторах

✉ Снир Бальзиано
Адрес: Derech Sheba 2, Ramat Gan, 52621, Israel
<https://orcid.org/0000-0002-8232-8602>
e-mail: SBalziano@gmail.com
Эаль Джинезин
<https://orcid.org/0000-0002-1548-7865>
e-mail: Eyalgin@gmail.com



Comparison Between Proximal Femoral Nail and Dynamic Hip Screw in Non-Displaced or Minimally Displaced Intertrochanteric Fractures of the Femur: A Prospective Study

Mohamed H. Abdel Rahim, Mohamed Awad, Ahmed Morsi, Ahmed Elsaheed, Mostafa A. Elabd

Ain Shams University, Cairo, Egypt

Abstract

Background. Proximal femoral nail (PFN) and dynamic hip screw (DHS) are widely used for the management of intertrochanteric femur fractures (ITFs). Proximal femoral nailing offers biomechanical advantages but may cause iatrogenic displacement during the insertion.

The aim of the study — to compare the degree of fracture displacement, specifically femoral shaft lateralization and neck-shaft angle changes, following dynamic hip screw and proximal femoral nail fixation in minimally displaced or non-displaced intertrochanteric femur fractures.

Methods. A prospective cohort study was conducted on 40 patients with AO 31A1 ITFs from January to June 2024. Patients were divided into two groups: DHS (n = 20); PFN (n = 20). Radiological outcomes including postoperative neck-shaft angle and femoral shaft lateralization were measured on both injured and non-injured sides.

Results. In the PFN group, the mean postoperative neck-shaft angle ($131.30 \pm 4.54^\circ$) showed a varus change compared to the intact side ($134.70 \pm 3.77^\circ$), but the difference was not statistically significant ($p = 0.109$). In the DHS group, there was no significant difference ($p = 0.827$). Femoral shaft lateralization on the injured side was significantly higher in the PFN group (56.60 ± 7.07 mm) than in the DHS group (49.50 ± 6.59 mm; $p = 0.002$). No significant difference was found on the non-injured side ($p = 0.261$).

Conclusion. Both PFN and DHS yield comparable neck-shaft angle outcomes in minimally displaced ITFs. However, PFN is associated with greater lateralization of the femoral shaft, which may reflect iatrogenic displacement during fixation.

Keywords: proximal femoral nail; dynamic hip screw; intertrochanteric femur fractures; neck-shaft angle; non-displaced fracture.

Cite as: Abdel Rahim M.H., Awad M., Morsi A., Elsaheed A., Elabd M.A. Comparison Between Proximal Femoral Nail and Dynamic Hip Screw in Non-Displaced or Minimally Displaced Intertrochanteric Fractures of the Femur: A Prospective Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):84-91. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17731>.

✉ Mohamed H. Abdel Rahim; e-mail: Mohamedhamdy9581@gmail.com

Submitted: 15.06.2025. Accepted: 15.08.2025. Published online: 09.10.2025.

© Eco-Vector, 2025



Применение проксимального бедренного стержня и динамического бедренного винта в лечении чрезвертельных переломов бедренной кости без или с минимальным смещением: сравнительное проспективное исследование

М.Х. Абдель Рахим, М. Авад, А. Мурси, А. Эльсаид, М.А. Элабд

Ain Shams University, г. Каир, Египет

Реферат

Актуальность. Проксимальный бедренный стержень (PFN, proximal femoral nail) и динамический бедренный винт (DHS, dynamic hip screw) широко используются в лечении чрезвертельных переломов бедренной кости. PFN обладает биомеханическими преимуществами, но может вызывать ятрогенное смещение во время установки.

Цель исследования — сравнить степень смещения отломков, в частности латерализацию бедренного отломка и величину шеечно-диафизарного угла, при фиксации динамическим бедренным винтом и проксимальным бедренным стержнем у пациентов с чрезвертельными переломами бедренной кости без смещения или с минимальным смещением.

Материал и методы. В период с января по июнь 2024 г. было проведено проспективное когортное исследование с участием 40 пациентов с чрезвертельным переломом типа 31A1 по АО/ОТА. Пациенты были разделены на две группы (PFN, n = 20; DHS, n = 20). Рентгенологические результаты, включая послеоперационный шеечно-диафизарный угол (ШДУ) и латерализацию бедренного отломка, оценивались как с поврежденной, так и с неповрежденной стороны.

Результаты. В группе PFN средний послеоперационный ШДУ ($131,30 \pm 4,54^\circ$) показал варусное изменение по сравнению с интактной стороной ($134,70 \pm 3,77^\circ$), но разница не была статистически значимой ($p = 0,109$). В группе DHS значимой разницы выявлено не было ($p = 0,827$). Латерализация бедренного отломка на поврежденной стороне была статистически значимо выше в группе PFN ($56,60 \pm 7,07$ мм), чем в группе DHS ($49,50 \pm 6,59$ мм; $p = 0,002$). На неповрежденной стороне статистически значимой разницы обнаружено не было ($p = 0,261$).

Заключение. Как проксимальный бедренный стержень, так и динамический бедренный винт дают сопоставимую величину шеечно-диафизарного угла у пациентов с чрезвертельными переломами бедренной кости без смещения или с минимальным смещением. Однако проксимальный бедренный стержень ассоциируется с большей латерализацией бедренного отломка, что может вызывать ятрогенное смещение во время фиксации.

Ключевые слова: проксимальный бедренный стержень; динамический бедренный винт; чрезвертельный перелом бедренной кости; шеечно-диафизарный угол; перелом без смещения.

Для цитирования: Абдель Рахим М.Х., Авад М., Мурси А., Эльсаид А., Элабд М.А. Применение проксимального бедренного стержня и динамического бедренного винта в лечении чрезвертельных переломов бедренной кости без или с минимальным смещением: сравнительное проспективное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):84-91. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17731>.

Мухаммед Х. Абдель Рахим; e-mail: Mohamedhamdy9581@gmail.com

Рукопись получена: 15.06.2025. Рукопись одобрена: 15.08.2025. Статья опубликована онлайн: 09.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Over recent years, the application of the proximal femoral nail (PFN) in managing intertrochanteric fractures (ITFs) has seen notable growth, largely attributed to improvements in implant engineering and refinements in surgical techniques. PFN has emerged as a preferred fixation method due to multiple advantages, including decreased intraoperative blood loss, quicker implantation, facilitation of early mobilization, and minimal postoperative limb shortening [1].

From a biomechanical perspective, PFN's design ensures proximity to the mechanical axis of the lower limb, effectively shortening the lever arm and diminishing the bending forces exerted on the implant [2]. This configuration not only enhances load distribution but also mitigates collapse and reduces tensile stress, collectively lowering the risk of implant failure. Furthermore, PFN provides stable three-point fixation with controlled axial impaction, promoting fracture stability and improved clinical outcomes [3].

A recognized technical challenge associated with PFN fixation is the so-called “wedge effect”, characterized by the distraction at the fracture site during nail insertion [4]. This phenomenon can result in lateral displacement of the femoral shaft (FS) and varus malalignment of the femoral neck [5]. It typically arises when the proximal femoral canal has not been sufficiently reamed to accommodate the broader cephalomedullary portion of the PFN. In contrast, the dynamic hip screw (DHS) is generally indicated for stable intertrochanteric fractures where the medial buttress remains intact [6]. Its use is contraindicated in cases with unstable fracture configurations, reverse obliquity patterns, significant osteoporotic changes, or a compromised lateral femoral wall thickness of less than 20.5 mm [7, 8]. As a surface-based fixation system, DHS is biomechanically less likely to contribute to intraoperative fracture displacement [9].

This study hypothesizes that PFN may occasionally cause iatrogenic displacement of non-displaced or minimally displaced ITFs more frequently than DHS. *The aim of the study* — to compare the degree of fracture displacement, specifically femoral shaft lateralization and neck-shaft angle changes, following dynamic hip screw and proximal femoral nail fixation in minimally displaced or non-displaced intertrochanteric femur fractures.

METHODS

Study design

This prospective study was performed on 40 patients at Ain Shams University Hospitals from January 2024 to June 2024 to quantify the degree of fracture displacement after fixation with DHS versus PFN in cases of non-displaced or minimally displaced ITFs. The forty cases were divided into two equal groups: DHS group (n = 20) and PFN group (n = 20).

Inclusion and exclusion criteria. Patients were eligible for inclusion if they had minimally displaced (< 5 mm) or non-displaced intertrochanteric fractures classified as AO type 31A1.2 or 31A1.3. Exclusion criteria included open fractures, prior surgeries on the ipsilateral or contralateral hip, non-ambulatory status, and pathological fractures due to malignant disease.

Preoperative evaluation. All patients underwent comprehensive preoperative evaluation, including detailed history, general and local physical examination, and radiological assessment with anteroposterior and lateral hip X-rays. The femoral neck-shaft angle (NSA) was measured as part of the radiographic analysis.

Post-operative. Prevention of infection, analgesia and anticoagulation.

Radiological assessment

Postoperative evaluation included immediate anteroposterior (AP) and lateral X-rays of the hip. The femoral NSA was determined according to the methodology described by C. K. Boese et al. [10]. This angle was calculated between the axis of the femoral neck and the anatomical axis of the FS. The neck axis was drawn from the femoral head center (HC) to the neck center (NC), the latter defined as the midpoint between points where a circle (centered on the HC) intersected the superior and inferior borders of the femoral neck. The shaft axis was established by connecting central points identified at both proximal and distal segments of the femoral diaphysis [11]. The tip-apex distance (TAD) was calculated as the cumulative length from the screw tip to the apex of the femoral head as seen on both the AP and lateral projections [12]. FS lateralization was assessed by measuring the horizontal distance from the femoral head center to a reference line parallel to the lateral cortex of the femur, comparing the injured side with the contralateral uninjured side [7] (Figures 1, 2).

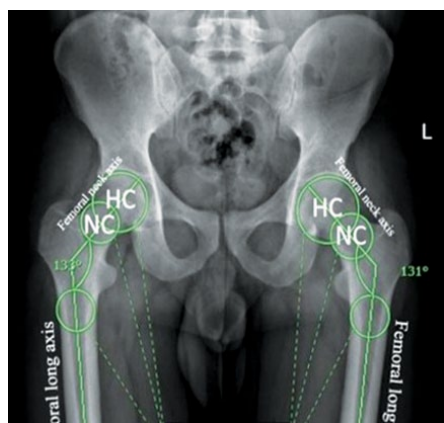


Figure 1. Neck-shaft angle measurements on an upright pelvis plain X-ray

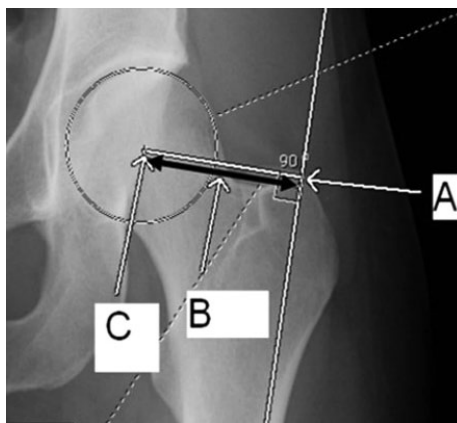


Figure 2. Calculation of the wedge effect (net lateralization of the shaft compared to the head/neck segment): line B represents the distance from the center of the femoral head (C) to the lateral femoral shaft (A)

Quality of reduction

A score out of 4 was used to quantify the quality of fracture reduction depending on radiological findings. Score 4 was interpreted as excellent reduction, 2-3 — acceptable reduction, while score 0-1 — poor (Table 1).

Table 1

Quality of reduction scoring system [8]

Item	Score
Garden alignment	
AP view: slight valgus or normal	1
Lat view: 160-180°	1
Fragment displacement	
AP view: positive or neutral medial cortex support	1
Lat view: anterior cortex smooth continuity	1
Quality of fracture reduction	
Excellent	4
Acceptable	3 or 2
Poor	1 or 0

AP — anteroposterior; Lat — lateral.

Statistical analysis

Data processing and analysis were conducted using IBM SPSS Statistics for Windows, version 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Continuous variables with normal distribution were expressed as mean±standard deviation (SD) along with the range, whereas skewed (non-parametric) data were presented as medians with their corresponding interquartile ranges [IQR] (Me). Categorical data

were summarized using frequencies and percentages. The normality of data distribution was evaluated using both the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. Comparative analysis between groups was performed using the independent samples t-test for normally distributed variables, and the Mann-Whitney U test for non-normally distributed data. Qualitative variables were compared using the Chi-square test, and Fisher's exact test was applied when the expected frequency in any cell was below five. Statistical significance was determined at a 95% confidence level, with p-values < 0.05 indicating statistical significance.

RESULTS

There were no notable variations between the DHS and PFN groups regarding baseline characteristics. The mean age was 63.45±14.95 years in the DHS group and 66.45±9.08 years in the PFN group ($p = 0.147$). Sex distribution (male: 75% vs 50%, $p = 0.102$), fracture side (left: 60% vs 55%, $p = 0.749$), AO classification (31A1.2 vs 31A1.3: 55% vs 65%, $p = 0.519$), and surgeon experience (consultant: 45% vs 60%, $p = 0.272$) were also comparable between the two groups.

There was no notable variations between the DHS and PFN groups regarding the quality of reduction score. Similarly, the distribution of reduction quality levels (acceptable vs excellent) showed no significant difference between the groups (Table 2).

There was no notable variation in TAD between the DHS and PFN groups (Table 3).

No significant difference in neck shaft angles was observed postoperatively compared to the contralateral side in either PFN or DHS groups (Table 4, Figures 3, 4).

Table 2

Quality of reduction in the studied groups

	DHS	PFN	p-value
Quality of reduction score			
Mean±SD	3.20±0.77	3.10±0.72	0.673
Median [IQR]	3 [3-4]	3 [3-4]	
Range	2-4	2-4	
Level of quality of reduction score			
Acceptable	12 (60.0%)	14 (70.0%)	0.507
Excellent	8 (40.0%)	6 (30.0%)	

Table 3

Position of the implant in the studied groups

	DHS	PFN	p-value
TAD (mm)			
Mean±SD	24.88±9.41	21.72±7.01	0.236
Range	7-42	6-32	
TAD level			
Abnormal	8 (40.0%)	6 (30.0%)	0.507
Normal	12 (60.0%)	14 (70.0%)	

Table 4

Postoperative and contralateral neck-shaft angles in the studied groups, deg.

	Postoperative neck-shaft angle, deg.	Neck-shaft angle of the intact side, deg.	p-value
DHS			
Mean±SD	135.45±6.33	135.70±6.42	0.827
Range	124-147	126-147	
PFN			
Mean±SD	131.30±4.54	134.70±3.77	0.109
Range	123-139	126-140	

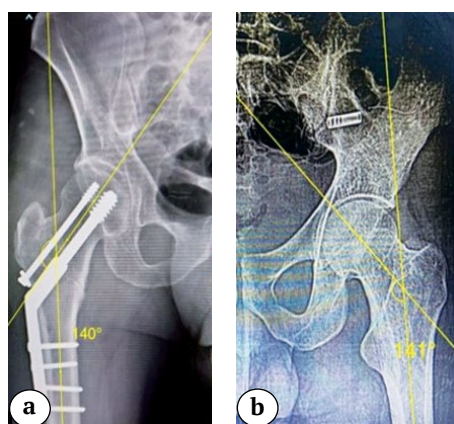


Figure 3. X-ray of a patient from the DHS group:
a — postoperative neck-shaft angle;
b — neck-shaft angle of contralateral unaffected side

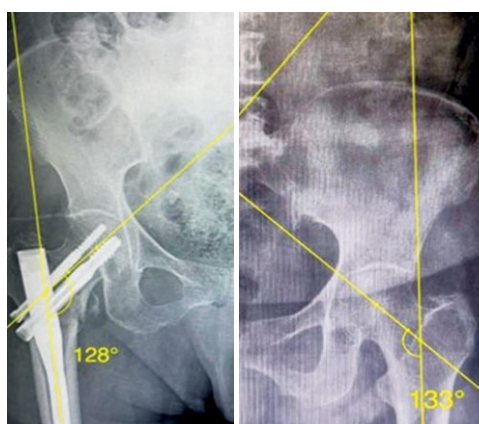


Figure 4. X-ray of a patient from the PFN group, showing 5 degrees of varus malalignment as compared to the unaffected contralateral side

In the PFN group ($n = 20$), the mean lateralization of the FS on the injured side was statistically significantly higher compared to the DHS group (56.60 ± 7.07 vs 49.50 ± 6.59 mm; $p = 0.002$). However, on the non-injured side, there was no statistically significant difference between the PFN group and the DHS group ($51.65 \pm 4.$ vs 49.65 ± 6.09 mm; p -value = 0.261) (Figures 5, 6, 7).

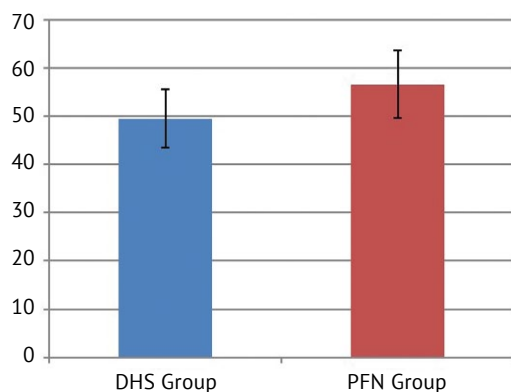


Figure 5. Femoral shaft lateralization on the injured side in the studied groups

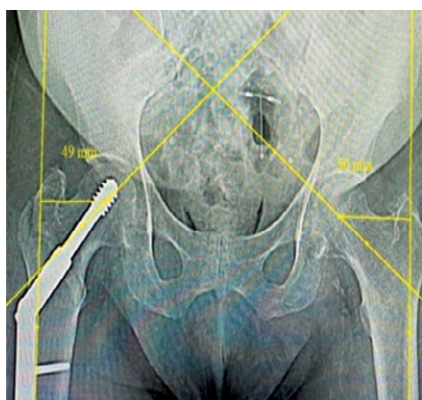


Figure 6. X-ray of a patient from the DHS group, showing femoral shaft lateralization (uninjured side — 50 mm, injured side — 49 mm)



Figure 7. X-ray of a patient from the PFN group, showing femoral shaft lateralization (uninjured side — 47 mm, injured side — 54 mm)

DISCUSSION

DHS and PFN are both widely accepted surgical options for the management of ITFs [13]. Although extensive literature exists comparing their performance in unstable fracture patterns, data specifically addressing their outcomes in stable ITFs remain relatively scarce [14]. The present study was designed to evaluate and compare the clinical and radiographic outcomes of DHS versus PFN in the operative treatment of stable intertrochanteric fractures.

The findings revealed a statistically significant increase in FS lateralization in cases treated with PFN compared to those who underwent DHS fixation. As for the NSA, the PFN group exhibited a mean varus deviation of approximately three degrees relative to the DHS group; however, this difference did not reach statistical significance.

In a study involving 70 cases with AO 31A1-2 intertrochanteric fractures, L. Fang et al. observed an inverse correlation between the femoral NSA and the degree of FS lateralization following PFN fixation. Specifically, a reduction in the NSA was associated with a corresponding increase in lateralization of the FS [7].

The concept of femoral lateralization parallels that of femoral offset — a critical parameter used to evaluate hip geometry, particularly in total hip arthroplasty. Femoral offset is modulated by the NSA, rising with varus orientation and diminishing with valgus alignment [15]. Importantly, femoral offset has been shown to positively correlate with the strength of the hip abductor musculature, especially the gluteus medius, as well as with the extent of hip abduction. Consequently, in the context of peritrochanteric fractures, restoration of femoral lateralization — akin to optimizing femoral offset in total hip arthroplasty — is essential for preserving normal hip biomechanics and should approximate the patient's native anatomical values as closely as possible [7].

A comprehensive Cochrane systematic review, encompassing 76 studies, compared DHS and PFN in the treatment of both stable and unstable ITFs. The findings indicated that extramedullary fixation methods, such as DHS, provide functional outcomes comparable to those of intramedullary (cephalomedullary) devices in managing extracapsular fragility fractures of the hip. Although intramedullary nails are linked to lower incidences of infection and non-union, they are associated with a higher rate of implant-related fractures — a complication that remains unresolved despite advances in nail design [16].

In a separate study, H. Mohan et al. evaluated 54 cases with two-part ITFs (31-A1 type in the AO

classification) and concluded that there was no definitive evidence favoring PFN over DHS. Their results supported the clinical equivalence of both fixation methods in managing these specific fracture patterns [17].

In a comparative study conducted by W. Yu et al. with extended follow-up, outcomes of cases treated with proximal femoral nail anti-rotation (PFNA) were evaluated against those managed with DHS. The DHS group exhibited a higher incidence of reoperation within the first postoperative year and experienced more orthopedic-related complications. Statistically significant improvements in Harris Hip Score were consistently observed in the PFNA group across multiple follow-up intervals. However, there was no notable difference in the incidence of systemic medical complications between the two cohorts. Based on these findings, the study suggested that DHS may be less favorable than PFNA for the

surgical management of stable intertrochanteric femoral fractures [18].

Study limitation

A key limitation of the study was its relatively small sample size and the absence of comprehensive clinical follow-up, which restricted the ability to correlate radiographic parameters with long-term functional outcomes.

CONCLUSIONS

Both dynamic hip screw and proximal femoral nail provide good and comparable radiological outcomes for minimally displaced intertrochanteric fractures. However, dynamic hip screw demonstrated advantages over proximal femoral nail in terms of reduced femoral shaft lateralization and lower cost. The functional impact of femoral shaft lateralization on union rates and failure rates remains unclear.

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. Approval for the study was obtained from the Research and Ethics Committee of Ain Shams University (FWA000017585; approval number FMASU MS 664/2/2/2/2). Informed consent was secured from all patients prior to surgery.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

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. Разрешение на проведение исследования было получено от Комитета по этике научных исследований университета Айн-Шамс (FWA000017585; номер FMASU MS 664/2/2/2/2).

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

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

REFERENCES

- Jonnes C., Sm S., Najimudeen S. Type II Intertrochanteric Fractures: Proximal Femoral Nailing (PFN) Versus Dynamic Hip Screw (DHS). *Arch Bone Jt Surg.* 2016;4(1):23-28.
- Wang C., Duan N., Li Z., Ma T., Zhang K., Wang Q. et al. Biomechanical evaluation of a new intramedullary nail compared with proximal femoral nail antirotation and InterTAN for the management of femoral intertrochanteric fractures. *Front Bioeng Biotechnol.* 2024;12:1353677. doi: 10.3389/fbioe.2024.1353677.

- Yen S.H., Lu C.C., Ho C.J., Huang H.T., Tu H.P., Chang J.K. et al. Impact of Wedge Effect on Outcomes of Intertrochanteric Fractures Treated with Intramedullary Proximal Femoral Nail. *J Clin Med.* 2021;10(21):5112. doi: 10.3390/jcm10215112.
- Hao W., Fang L., Yin S., Lin Y., Wang B. Reverse wedge effect following intramedullary nail fixation of trochanteric fracture, what does it imply? *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):497. doi: 10.1186/s12891-021-04388-1.

5. Chen P.H., Wu C.C., Chen W.J. Factors affect stability of intertrochanteric fractures when elderly patients fall. *Biomed J.* 2016;39(1):67-71. doi: 10.1016/j.bj.2015.08.007.
6. Wu H.F., Chang C.H., Wang G.J., Lai K.A., Chen C.H. Biomechanical investigation of dynamic hip screw and wire fixation on an unstable intertrochanteric fracture. *Biomed Eng Online.* 2019;18(1):49. doi: 10.1186/s12938-019-0663-0.
7. Fang L., Qi J., Wang Z., Liu J., Zhao T., Lin Y. et al. Inverse relationship between femoral lateralization and neck-shaft angle is a joint event after intramedullary nailing of per trochanteric fractures. *Sci Rep.* 2023;13(1):10999. doi: 10.1038/s41598-023-38209-3.
8. Chang S.M., Zhang Y.Q., Ma Z., Li Q., Dargel J., Eysel P. Fracture reduction with positive medial cortical support: a key element in stability reconstruction for the unstable pertrochanteric hip fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(6):811-818. doi: 10.1007/s00402-015-2206-x.
9. Zhang Y., Hu J., Li X., Qin X. Reverse wedge effect following intramedullary nailing of a basicervical trochanteric fracture variant combined with a mechanically compromised greater trochanter. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):195. doi: 10.1186/s12891-020-03212-6.
10. Boese C.K., Dargel J., Oppermann J., Eysel P., Scheyerer M.J., Bredow J. et al. The femoral neck-shaft angle on plain radiographs: a systematic review. *Skeletal Radiol.* 2016;45(1):19-28. doi: 10.1007/s00256-015-2236-z.
11. Haddad B., Hamdan M., Al Nawaiseh M., Aldowekati O., Alshrouf M.A., Karam A.M. et al. Femoral neck shaft angle measurement on plain radiography: is standing or supine radiograph a reliable template for the contralateral femur? *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):1092. doi: 10.1186/s12891-022-06071-5.
12. O'Malley M.J., Kang K.K., Azer E., Siska P.A., Farrell D.J., Tarkin I.S. Wedge effect following intramedullary hip screw fixation of intertrochanteric proximal femur fracture. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(10):1343-1347. doi: 10.1007/s00402-015-2280-0.
13. Shiraz S., Shujaiddin M., Hasan K., Elramadi A., Ahmed G. Comparison of Dynamic Hip Screw and Proximal Femoral Nailing Techniques in Stable Intertrochanteric Fractures. *Cureus.* 2023;15(1):e33366. doi: 10.7759/cureus.33366.
14. Xu H., Liu Y., Sezgin E.A., Tarasevičius Š., Christensen R., Raina D.B. et al. Comparative effectiveness research on proximal femoral nail versus dynamic hip screw in patients with trochanteric fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):292. doi: 10.1186/s13018-022-03189-z.
15. Choi Y.S., Park J.W., Kim T.W., Kang K.S., Lee Y.K., Koo K.H. et al. Effect of Total Hip Arthroplasty on Ipsilateral Lower Limb Alignment and Knee Joint Space Width: Minimum 5-Year Follow-up. *J Korean Med Sci.* 2023;38(20):e148. doi: 10.3346/jkms.2023.38.e148.
16. Lewis S.R., Macey R., Gill J.R., Parker M.J., Griffin X.L. Cephalomedullary nails versus extramedullary implants for extracapsular hip fractures in older adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;1(1):CD000093. doi: 10.1002/14651858.CD000093.pub6.
17. Mohan H., Kumar P. Surgical Treatment of Type 31-A1 Two-part Intertrochanteric Femur Fractures: Is Proximal Femoral Nail Superior to Dynamic Hip Screw Fixation? *Cureus.* 2019;11(2):e4110. doi: 10.7759/cureus.4110.
18. Yu W., Zhang X., Zhu X., Yu Z., Xu Y., Zha G. et al. Proximal femoral nails anti-rotation versus dynamic hip screws for treatment of stable intertrochanteric femur fractures: an outcome analyses with a minimum 4 years of follow-up. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:222. doi: 10.1186/s12891-016-1079-7.

Authors' information

✉ Mohamed H. Abdel Rahim, MSc
 Address: 38, Abbassia Square, Next to Al-Nour Mosque,
 Cairo, Egypt
<https://orcid.org/0009-0006-2557-1004>
 e-mail: Mohamedhamdy9581@gmail.com
 Mohamed Awad, MD, Assistant Professor
<https://orcid.org/0000-0003-4916-0411>
 e-mail: Mohamed_awad2007@hotmail.com
 Ahmed Morsi, MD, Assistant Professor
<https://orcid.org/0009-0004-0124-3351>
 e-mail: ahmorsi74@gmail.com
 Ahmed Elsaied, MD, Professor
<https://orcid.org/0000-0002-9929-3071>
 e-mail: Drahmedsaeed88@yahoo.com
 Mostafa A. Elabd, MD
<https://orcid.org/0000-0001-5543-4971>
 e-mail: Moustaphaali135@gmail.com

Сведения об авторах

✉ Мухаммед Х. Абдель Рахим
 Адрес: 38, Аббасия Square, Next to Al-Nour Mosque,
 Cairo, Egypt
<https://orcid.org/0009-0006-2557-1004>
 e-mail: Mohamedhamdy9581@gmail.com
 Мухаммед Авад — доцент
<https://orcid.org/0000-0003-4916-0411>
 e-mail: Mohamed_awad2007@hotmail.com
 Ахмед Мурси — доцент
<https://orcid.org/0009-0004-0124-3351>
 e-mail: ahmorsi74@gmail.com
 Ахмед Эльсаид — профессор
<https://orcid.org/0000-0002-9929-3071>
 e-mail: Drahmedsaeed88@yahoo.com
 Мустафа А. Элабд
<https://orcid.org/0000-0001-5543-4971>
 e-mail: Moustaphaali135@gmail.com

Научная статья

УДК 616.717/.718-001.45-022

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17740>

Спектр возбудителей инфекции боевых ран конечностей: собственные результаты и ретроспективный анализ

Р.А. Шафигулин^{1,2,3}, А.А. Звегинцева³, И.Ф. Ахтямов^{1,2,3}, А.Л. Емелин^{2,3},
Э.Б. Миразимов², Н.В. Харин¹, И.Р. Валиуллина³

¹ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань, Россия

³ ГАУЗ «Республиканская клиническая больница» Минздрава Республики Татарстан, г. Казань, Россия

Реферат

Актуальность. Инфекционные осложнения, возникающие при боевых ранениях, представляют собой одну из наиболее серьезных проблем военной медицины. Их микробиологический мониторинг является необходимой основой для выбора стартовой антимикробной терапии, прогностической стратификации рисков, оптимизации хирургической тактики и формирования локальных протоколов ведения пациентов.

Цель исследования — изучить видовой состав возбудителей раневой инфекции при боевых ранениях конечностей на основе результатов микробиологического исследования, проведенного в условиях стационара, функционирующего в период военного конфликта.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ микробиологических данных 249 пациентов с боевыми ранениями, поступивших в стационар в период с июля 2023 по март 2025 г. Идентификация микроорганизмов выполнялась методом MALDI-TOF масс-спектрометрии.

Результаты. Среди 383 изолятов доминировал *Staphylococcus aureus* (30,03%), за которым следовали *Acinetobacter baumannii* и *Pseudomonas aeruginosa* (по 8,62%). *S. aureus* встречался значительно чаще, чем *A. baumannii* и *P. aeruginosa* вместе взятые. Выявлено 59 уникальных патогенов, включая 13,31% условно редких, доля которых не превышала 1% от общего числа возбудителей. Полимикробные ассоциации обнаружены у 37,34% пациентов. Доля грамположительной микрофлоры (55,1%) значительно преобладала над грамотрицательной (43,1%).

Заключение. Полученные данные подтверждают статистически значимое доминирование *S. aureus* в структуре возбудителей раневых инфекций при огнестрельных ранениях. Высокая частота полимикробных ассоциаций и наличие редких возбудителей требуют применения современных методов диагностики, комбинированной антимикробной терапии и индивидуального подхода к лечению.

Ключевые слова: боевые ранения; раневая инфекция; *Staphylococcus aureus*; микробные ассоциации; микробный пейзаж; спектр возбудителей.

Для цитирования: Шафигулин Р.А., Звегинцева А.А., Ахтямов И.Ф., Емелин А.Л., Миразимов Э.Б., Харин Н.В., Валиуллина И.Р. Спектр возбудителей инфекции боевых ран конечностей: собственные результаты и ретроспективный анализ. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):92-100. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17740>.

Шафигулин Рашид Актасович; e-mail: rashid221@yandex.ru

Рукопись получена: 08.07.2025. Рукопись одобрена: 16.10.2025. Статья опубликована онлайн: 21.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025



The Spectrum of Pathogens in Combat Wounds of the Limbs: Own Results and Retrospective Analysis

Rashid A. Shafigulin^{1,2,3}, Albina A. Zvegintseva³, Ildar F. Akhtyamov^{1,2,3}, Alexey L. Emelin^{2,3}, Eler B. Mirazimov², Nikita V. Kharin¹, Inna R. Valiullina³

¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

² Kazan State Medical University, Ministry of Health of Russia, Kazan, Russia

³ Republican Clinical Hospital, Kazan, Russia

Abstract

Background. Infectious complications arising from combat wounds are one of the most serious problems in military medicine. Their microbiological monitoring is a necessary foundation for choosing the initial antimicrobial treatment, predictive risk stratification, optimization of surgical tactics, and implementation of local patient management protocols.

The aim of the study – to explore the species composition of wound infection pathogens in combat injuries of the limbs based on the results of microbiological testing conducted in a hospital functioning during a military conflict.

Methods. We performed a retrospective analysis of microbiological data from 249 patients with combat wounds admitted to the hospital between July 2023 and March 2025. Microorganisms were identified using MALDI-TOF mass spectrometry.

Results. Among the 383 isolates, *Staphylococcus aureus* dominated (30.03%), followed by *Acinetobacter baumannii* and *Pseudomonas aeruginosa* (8.62% each). *S. aureus* occurred significantly more often than *A. baumannii* and *P. aeruginosa* combined. We identified 59 unique pathogens, including 13.31% relatively rare pathogens. Polymicrobial associations were found in 37.34% of patients. The proportion of Gram-positive microflora (55.1%) significantly predominated over Gram-negative microflora (43.1%).

Conclusions. The obtained data confirm the statistically significant dominance of *S. aureus* in the structure of pathogens in infected gunshot wounds. The high frequency of polymicrobial associations and the presence of rare pathogens necessitate the use of modern diagnostic methods, combined antimicrobial therapy, and an individualized treatment approach.

Keywords: combat injuries; wound infection; *Staphylococcus aureus*; microbial associations; microbial landscape; pathogen spectrum.

Cite as: Shafigulin R.A., Zvegintseva A.A., Akhtyamov I.F., Emelin A.L., Mirazimov E.B., Kharin N.V., Valiullina I.R. The Spectrum of Pathogens in Combat Wounds of the Limbs: Own Results and Retrospective Analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):92-100. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17740>.

✉ Rashid A. Shafigulin, e-mail: rashid221@yandex.ru

Submitted: 08.07.2025. Accepted: 16.10.2025. Published online: 21.10.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Инфекционные осложнения, возникающие при боевых ранениях, представляют собой одну из наиболее серьезных проблем военной медицины. Несмотря на значительные достижения в области антимикробной терапии и хирургического лечения, раневые инфекции остаются частым и опасным осложнением, оказывающим существенное влияние на исходы лечения и продолжительность реабилитации раненых [1, 2].

Современные боевые ранения характеризуются обширными повреждениями тканей, высокой степенью загрязнения и сложностью этиологической структуры возбудителей. Основными факторами, способствующими развитию инфекций, являются контаминация раны бактериями из окружающей среды, наличие инородных тел, а также длительное пребывание пациентов в условиях стационара, где возможно инфицирование внутрибольничными штаммами микроорганизмов [3, 4, 5, 6].

Микробный пейзаж боевых ран претерпевает значительные изменения в зависимости от этапа оказания медицинской помощи. На ранних стадиях преобладают грамположительные бактерии, тогда как на поздних этапах лечения увеличивается доля полирезистентных грамотрицательных микроорганизмов, включая *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa* [7, 8]. Особую тревогу вызывает высокая устойчивость этих возбудителей к антибиотикам, что значительно осложняет подбор эффективной терапии [9, 10].

В условиях современных военных конфликтов отмечается рост частоты выделения полирезистентных штаммов, что требует постоянного микробиологического мониторинга и своевременной коррекции антибактериальной терапии [11, 12]. Кроме того, важную роль в профилактике инфекционных осложнений играют хирургическая обработка ран, применение вакуум-ассистированной терапии и соблюдение противоэпидемических мероприятий [13, 14].

Таким образом, микробиологический мониторинг инфекционных осложнений у пациентов с боевыми травмами представляет собой необходимую основу для обоснованного выбора стартовой антимикробной терапии, прогностической стратификации рисков, оптимизации хирургической тактики и формирования локальных протоколов ведения пациентов. Сопоставление собственных данных с результатами аналогичных исследований позволяет объективизировать локальные особенности спектра возбудителей, повысить клиническую эффективность терапии.

Цель исследования — изучить видовой состав возбудителей раневой инфекции при боевых ранениях конечностей на основе результатов микробиологического исследования, проведенного в условиях стационара, функционирующего в период военного конфликта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — одноцентровое, наблюдательное, ретроспективное.

Проведен анализ результатов микробиологических исследований пациентов с боевыми ранениями конечностей, полученными в условиях современного военного конфликта.

Объектом исследования послужили результаты микробиологического исследования раневого отделяемого, полученного при первичной перевязке у пациентов, проходивших лечение в Республиканской клинической больнице (г. Казань) в период с 1 июля 2023 г. по 31 марта 2025 г.

Всего проанализированы микробиологические данные 249 пациентов с инфицированными боевыми травмами конечностей

Забор клинического материала проводился с соблюдением асептических условий при первой перевязке до обработки раны стерильным тупфером с поверхности травмированных тканей (фасции, мышцы, сухожилия, костная ткань) в зависимости от морфологии раны.

Микробиологическое исследование раневого отделяемого осуществлялось в соответствии с методическими рекомендациями ВОЗ «Основные методы лабораторных исследований в клинической бактериологии» (Женева, 1994).

Для первичной идентификации микроорганизмов проводили посев на питательную среду — колумбийский агар («Средофф», Россия). Инкубация осуществлялась в термостате при температуре 37°C в течение 24 ч. При отсутствии роста культура термостатировалась дополнительно до 48 ч.

Выделенные чистые культуры микроорганизмов подвергались идентификации методом MALDI-TOF масс-спектрометрии с использованием прибора Microflex MALDI Biotyper (Bruker Daltonik GmbH, Германия).

Дифференциация между клинически значимыми возбудителями и контаминантами не производилась.

Статистический анализ

Анализ полученных данных проводился с использованием программного обеспечения Microsoft Excel Office 2013. При описании использовались абсолютные значения (*n*) и доли (%). Основное внимание уделялось оценке частоты выделения различных

видов возбудителей, распределению в зависимости от окраски по Граму, микробным ассоциациям и присутствию редких патогенов (доля менее 1%).

Проверка гипотезы о том, что *Staphylococcus aureus* встречается статистически значимо чаще других возбудителей, проводилась при помощи χ^2 -теста на равномерность распределения (все возбудители равновероятны) и Z-теста для сравнения пропорций (*S. aureus* с остальными). При проверке статистических гипотез нулевая гипотеза отвергалась при значении $p < 0,005$. При проведении множественных сравнений применялась поправка Бонферрони к уровню значимости (скорректированный $\alpha^* = 0,000098$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследование включены 249 пациента с боевыми ранениями конечностей, от которых получено 383 микробных изолята. Проведенный анализ показал разнотипный спектр возбудителей, что указывает на сопоставимое участие грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов в структуре раневых инфекций.

Среди всех изолятов доля грамположительной флоры составила 55,1% ($n = 211$), грамотрицательной — 43,1% ($n = 165$). В 1,83% ($n = 7$) случаев были выявлены плесневые и дрожжевые грибы. Условно редкие возбудители, доля которых не превышала 1% от общего числа возбудителей, составили 13,31% ($n = 51$), что подчеркивает значительное микробиологическое разнообразие и необходимость комплексной диагностики (табл. 1).

Таблица 1
Спектр возбудителей боевой инфекции конечностей

Возбудитель	%	n
<i>Staphylococcus aureus</i>	30,03	115
<i>Acinetobacter baumannii</i>	8,62	33
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8,62	33
<i>Corynebacterium striatum</i>	6,01	23
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5,48	21
<i>Enterococcus faecalis</i>	4,70	18
<i>Escherichia coli</i>	4,70	18
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2,87	11
<i>Enterobacter cloacae</i>	2,61	10
<i>Acinetobacter pittii</i>	1,83	7
<i>Streptococcus dysgalactiae</i>	1,57	6
<i>Achromobacter</i> sp.	1,31	5
<i>Acinetobacter nosocomialis</i>	1,31	5
<i>Staphylococcus simulans</i>	1,31	5
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	1,31	5
<i>Streptococcus pyogenes</i>	1,31	5
<i>Acinetobacter</i> sp.	1,04	4
<i>Alcaligenes faecalis</i>	1,04	4
<i>Proteus mirabilis</i>	1,04	4
Прочие	13,31	51

Выявление более чем 13% редких возбудителей, включая дрожжевые грибы, подчеркивает важность применения чувствительных и современных методов идентификации, таких как MALDI-TOF масс-спектрометрия.

У 93 (37,34%) пациентов выявлены микробные ассоциации, что требует особого подхода к антимикробной терапии и хирургической тактике. Так, в 156 случаях источником инфекции выступал один возбудитель, в 66 случаях — 2 возбудителя, в 18 случаях — 3 возбудителя, в 6 случаях — 4 возбудителя, в 2 случаях источниками инфекции были 5 возбудителей, а в 1 случае — 7 возбудителей.

Статистический анализ выявил значимое отклонение распределения возбудителей от равномерной модели ($\chi^2 = 1963,5$; $df = 51$; $p < 0,0001$). Доля *Staphylococcus aureus* составила 30,03% (95% ДИ: 25,66–34,80), что значимо превышало ожидаемую при равномерном распределении долю ($Z = 39,1$; $p < 0,0001$). *Staphylococcus aureus* значимо преобладал над всеми другими возбудителями, включая суммарную долю *Acinetobacter baumannii* и *Pseudomonas aeruginosa* ($Z = 4,12$; $p = 0,000019$). Все попарные сравнения с отдельными возбудителями остались статистически значимыми после поправки Бонферрони для множественных сравнений ($p < 0,000098$ для всех тестов).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование представляет характеристику спектра возбудителей инфекционных осложнений у пациентов с боевыми ранениями конечностей, полученными в условиях современного военного конфликта. Анализ 383 изолятов от 249 пациентов выявил ряд особенностей, которые, с одной стороны, согласуются с общемировыми тенденциями, а с другой — подчеркивают специфику эпидемиологической обстановки в нашей клинике и, возможно, организации медицинской помощи.

Наиболее значимым выводом нашего исследования является статистически подтвержденное доминирование *Staphylococcus aureus* (30,03%), которое встречалось значимо чаще не только чем любой другой отдельный патоген, но и чем суммарная доля следующих за ним по частоте *Acinetobacter baumannii* и *Pseudomonas aeruginosa* (по 8,62% каждый). Это отличает наши данные от ряда исследований боевых ранений, проведенных в ходе конфликтов на Ближнем Востоке (Ирак, Афганистан, Сирия), в которых сообщалось о преобладании грамотрицательных неферментирующих бактерий, прежде всего *A. baumannii* и *P. aeruginosa* [4, 7, 8, 10, 12, 15]. В работах V. Kovalchuk с соавторами и С.Л. Teicher с соавторами на долю *A. baumannii* приходилось от 30 до 40%

изолятов [4, 15, 18]. Такое расхождение может объясняться несколькими факторами, а именно сроками оказания медицинской помощи, эпидемиологическими и географическими особенностями театра военных действий.

Преобладание грамположительной флоры, в частности *S. aureus*, часто ассоциировано с более ранними стадиями раневой инфекции. *S. aureus* является классическим компонентом кожной микробиоты и одним из первых колонизаторов раны. Высокая доля грамположительных микроорганизмов (55,1% против 43,1% грамотрицательных) в нашем исследовании может косвенно свидетельствовать о том, что пациенты поступали в стационар на относительно ранних этапах после ранения и подвергались адекватной и своевременной первичной хирургической обработке. Это ограничивало развитие поздних внутрибольничных инфекций, вызываемых полирезистентными грамотрицательными патогенами.

Второй важной находкой является микробное разнообразие. Было идентифицировано 59 видов микроорганизмов, причем 13,31% изолятов были отнесены к категории редких (доля менее 1%). Этот факт, наряду с высокой частотой полимикробных ассоциаций (37,34% пациентов), полностью соответствует данным современных исследований боевых ранений, где полимикробные инфекции являются скорее правилом, чем исключением [1, 2, 7, 11]. Однако полученная нами доля ассоциаций (37,34%) несколько ниже, чем показатели в 70–85%, приведенные в таблице 2 для других конфликтов [1, 2, 4, 10, 15]. Это также может поддерживать гипотезу о более раннем поступлении пациентов, когда еще не успела сформироваться сложная вторичная микробная биопленка, характерная для хронических ран.

Результаты сопоставлены с данными публикаций по микробиологическому составу ран при боевых травмах в разных странах (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица результатов микробиологических исследований

Источник	Грам(-) флора, %	Грам(+) флора, %	Микробные ассоциации, %	Ведущие возбудители, %	Метод расчета
Собственные данные	29,9	54,83	37,34	<i>Staphylococcus aureus</i> (30,03%), <i>Acinetobacter baumannii</i> (8,62%), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (8,62%)	От числа изолятов (n = 383)
Крюков Е.В. и др., 2023	64,7	33,8	Не указано	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (21,6%), <i>Acinetobacter</i> spp. (20,8%), <i>Pseudomonas</i> spp. (13,8%)	От числа изолятов (n = 2217)
Бубман Л.И. и др., 2024	64,7	35,3	77,8	<i>A. baumannii</i> (44,4%), <i>E. faecalis</i> (43,9%), <i>P. aeruginosa</i> (26,2%), <i>K. pneumoniae</i> (17,3%)	От числа пациентов (n = 234)
Kovalchuk V., Kondratiuk V., 2017	65,0	35,0	12,3	<i>Acinetobacter</i> spp. (53% образцов), <i>Pseudomonas</i> spp. (15% образцов)	Грам(+) / Грам(-): от изолятов (n = 117); полимикробность: от образцов (n = 100)
Mende K. et al., 2022	74,63	52,84	61,00	<i>Enterococcus</i> spp. (36,42%), <i>Escherichia coli</i> (21,79%), <i>Pseudomonas</i> spp. (21,49%)	От числа инфекций (n = 335)
Petersen K. et al., 2007	81,00	19,00	47,00	<i>Acinetobacter</i> spp. (33,33%), <i>Escherichia coli</i> (15,15%), <i>Pseudomonas</i> spp. (15,15%)	От числа изолятов (n = 132)
Akers K.S. et al., 2014	62,0	38,0	72,0	<i>Acinetobacter baumannii</i> (24,0%), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (23,7%), <i>Escherichia coli</i> (8,5%)	От числа изолятов (n = 448)
Teicher C.L. et al., 2014	56,0	44,0	13,33	<i>Staphylococcus aureus</i> (44,19%), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (23,26%), <i>Escherichia coli</i> (18,60%), <i>Acinetobacter baumannii</i> (13,95%)	От числа изолятов (n = 43)

Источник	Грам(-) флора, %	Грам(+) флора, %	Микробные ассоциации, %	Ведущие возбудители, %	Метод расчета
Heitkamp R.A. et al., 2018	52,0	48,0	58,0	<i>Enterococcus</i> spp. (30,0%), <i>Staphylococcus aureus</i> (20,0%)	От числа пациентов (n = 50)
Kovalchuk V. et al., 2024	68,00	32,00	82,00	<i>Acinetobacter baumannii</i> (35,00%), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (30,00%)	От числа изолятов (n = 120)
Оприщенко А.А. и др., 2018	8,70	78,26	21,74%	<i>Staphylococcus aureus</i> (доминирует на первичном этапе); <i>Acinetobacter baumannii</i> (17,86%) и <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (10,71%) на этапе нозокомиальной инфекции	От числа пациентов (n = 69)

Для сравнения: в гражданских ортопедических стационарах России доля грамположительной флоры достигала 77,5%, доля микробных ассоциаций — 51,2% [20], в европейских и американских гражданских учреждениях преобладал *S. aureus*, в том числе MRSA при доле микробных ассоциаций 20–30% [21].

Наши результаты занимают промежуточную позицию между боевыми и гражданскими условиями течения инфекционных осложнений: преобладание *S. aureus* указывает на возможное более раннее поступление пациентов и эффективность первичной хирургической обработки. Однако высокая доля микробных ассоциаций и редких возбудителей требует углубленного лабораторного исследования, включая выявление редких патогенов и определение механизмов их резистентности, что диктует многоуровневый подход к терапии.

Ограничения исследования

При проведении исследования мы не принимали во внимание сроки полученной травмы, предыдущую терапию, а также этапы сортировки и эвакуации пострадавших, что может являться ограничением исследования. Другим фактором, ограничивающим наше исследование, является отсутствие возможности дифференцировки между диагностически значимыми возбудителями и контаминантами.

Перспективы

Дальнейшими вопросами, требующим изучения, являются резистентность возбудителей в нашей выборке и их антибиотикочувствительность, а также поиск корреляции между обнаружением вида возбудителя и оказанием первичной медицинской помощи, а также этапами сортировки и эвакуации пострадавших.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование демонстрирует, что спектр возбудителей раневой инфекции при огнестрельных ранениях конечностей характеризуется доминированием *Staphylococcus aureus*, а также значительной долей *Acinetobacter baumannii* и *Pseudomonas aeruginosa*. Выявлено высокое микробное разнообразие — 59 видов патогенов, включая 13,31% редких, что требует применения современных методов диагностики (MALDI-TOF). Отмечена высокая частота микробных ассоциаций (37,34% случаев), особенно при тяжелых ранениях (до 7 возбудителей в одной ране), что диктует необходимость комбинированной терапии и индивидуального подхода. Выявлена более высокая доля грамположительной флоры по сравнению с другими исследованиями, что может быть связано с более ранним поступлением пациентов и эффективной первичной хирургической обработкой. Однако данное утверждение требует дальнейшего поиска корреляции между обнаружением вида возбудителя и оказанием первичной медицинской помощи, а также этапами сортировки и эвакуации пострадавших.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Шафигулин Р.А. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста рукописи.

Звегинцева А.А. — анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Ахтямов А.Ф. — научное руководство, редактирование текста рукописи.

Емелин А.Л. — анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Миразимов Э.Б. — статистическая обработка данных, написание текста рукописи

Харин Н.В. — статистическая обработка данных.

Валиуллина И.Р. — сбор 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. Не требуется.

Генеративный искусственный интеллект. Для поиска необходимой информации в оригинальных статьях, представленных в таблице 2, применялась система искусственного интеллекта DeepSeek (<https://www.deepseek.com>) с последующей вычиткой, верификацией и проверкой полученной информации авторами статьи.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shafigulin R.A. — study concept and design, data acquisition, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Zvegintseva A.A. — data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Akhtyamov I.F. — scientific guidance, editing the manuscript.

Emelin A.L. — data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Mirazimov E.B. — statistical data processing, drafting the manuscript.

Kharin N.V. — statistical data processing.

Valiullina I.R. — data acquisition, 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.

Use of artificial intelligence. The DeepSeek AI was used to find the necessary information in the articles of the Table 2 (<https://www.deepseek.com>) with subsequent proofreading and verification by the authors of the article.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Крюков Е.В., Головкин К.П., Маркевич В.Ю., Суборова Т.Н., Носов А.М., Хугаев Л.А. и др. Характеристика антибиотикорезистентности возбудителей инфекционных осложнений у раненых. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2023;25(2):193-202. doi: 10.17816/brmma207771.
2. Бубман Л.И., Тополянская С.В., Рачина С.А., Гладких М.А., Усова Т.В., Карпов В.В. и др. Микробный пейзаж при исследовании ран у пациентов с боевыми травмами конечностей. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2024;26(4): 401-410. doi: 10.36488/cmasc.2024.4.401-410.
3. Murray C.K., Hinkle M.K., Yun H.C. History of infections associated with combat-related injuries. *J Trauma*. 2008;64(3 Suppl):S221-231. doi: 10.1097/TA.0b013e318163c40b.
4. Kovalchuk V., Kondratiuk V. Bacterial flora of combat wounds from eastern Ukraine and time-specified changes of bacterial recovery during treatment in Ukrainian military hospital. *BMC Res Notes*. 2017;10:152. doi: 10.1186/s13104-017-2481-4.
5. Борисов И.В., Митиш В.А., Пасхалова Ю.С. Анализ раневых инфекций при боевой травме в США (обзор литературы). *Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б. М. Костюченко*. 2024;1(2):6-12. doi: 10.25199/2408-9613-2024-11-2-6-12.
5. Borisov I.V., Mitish V.A., Paskhalova Yu.S. Analysis of wound infections in combat injuries in US (a literature review). *Wounds and wound infections. The prof. B.M. Kostyuchenok Journal*. 2024;11(2):6-12. (In Russian). doi: 10.25199/2408-9613-2024-11-2-6-12.
6. Bubman L.I., Topolyanskaya S.V., Rachina S.A., Gladkih M.A., Usova T.V., Karpov V.V. et al. Microbial landscape of wounds in patients with combat trauma of extremities. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*. 2024;26(4):401-410. (In Russian). doi: 10.36488/cmasc.2024.4.401-410.

6. Бесчастнов В.В. Особенности лечения боевой травмы конечностей у военнослужащих блока НАТО в период вооруженных конфликтов на территории Ирака и Афганистана (обзор литературы). *Раны и раневые инфекции. Журнал имени проф. Б.М. Костюченко*. 2021;8(3):8-12. doi: 10.25199/2408-9613-2021-8-3-6-10. Beschastnov V.V. Features of NATO's soldiers limbs combat trauma treatment during armed conflicts on the territory of Iraq and Afghanistan (literature review). *Wounds and wound infections. The prof. B.M. Kostyuchenok Journal*. 2021;8(3):8-12. (In Russian). doi: 10.25199/2408-9613-2021-8-3-6-10.
7. Mende K., Akers K.S., Tyner S.D., Bennett J.W., Simons M.P., Blyth D.M. et al. Multidrug-Resistant and Virulent Organisms Trauma Infections: Trauma Infectious Disease Outcomes Study Initiative. *Mil Med*. 2022;187(Suppl 2):42-51. doi: 10.1093/milmed/usab131.
8. Petersen K., Riddle M.S., Danko J.R., Blazes D.L., Hayden R., Tasker S.A. et al. Trauma-related infections in battlefield casualties from Iraq. *Ann Surg*. 2007;245(5):803-811. doi: 10.1097/01.sla.0000251707.32332.c1.
9. Magiorakos A.P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.G. et al. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin Microbiol Infect*. 2012;18(3):268-281. doi: 10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x.
10. Akers K.S., Mende K., Cheatle K.A., Zera W.C., Yu X., Beckius M.L. et al. Biofilms and persistent wound infections in United States military trauma patients: a case-control analysis. *BMC Infect Dis*. 2014;14:190. doi: 10.1186/1471-2334-14-190.
11. Tribble D.R., Murray C.K., Lloyd B.A., Ganesan A., Mende K., Blyth D.M. et al. After the Battlefield: Infectious Complications among Wounded Warriors in the Trauma Infectious Disease Outcomes Study. *Mil Med*. 2019;184(Suppl 2):18-25. doi: 10.1093/milmed/usz027.
12. Sahli Z.T., Bizri A.R., Abu-Sittah G.S. Microbiology and risk factors associated with war-related wound infections in the Middle East. *Epidemiol Infect*. 2016;144(13):2848-2857. doi: 10.1017/S0950268816000431.
13. Ploumis A., Mpourazanis G., Martzivanou C., Mpourazanis P., Theodorou A. The Role of Vacuum Assisted Closure in Patients with Pressure Ulcer and Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *World J Plast Surg*. 2019;8(3):279-284. doi: 10.29252/wjps.8.3.279.
14. Murray C.K., Obrebsky W.T., Hsu J.R., Andersen R.C., Calhoun J.H., Clasper J.C. et al. Prevention of Combat-Related Infections Guidelines Panel. Prevention of infections associated with combat-related extremity injuries. *J Trauma*. 2011;71(2 Suppl 2):S235-257. doi: 10.1097/TA.0b013e318227ac5f.
15. Teicher C.L., Ronat J.B., Fakhri R.M., Basel M., Labar A.S., Herard P. et al. Antimicrobial drug-resistant bacteria isolated from Syrian war-injured patients, August 2011-March 2013. *Emerg Infect Dis*. 2014;20(11):1949-1951. doi: 10.3201/eid2011.140835.
16. Wallum T.E., Yun H.C., Rini E.A., Carter K., Guymon C.H., Akers K.S. et al. Pathogens present in acute mangled extremities from Afghanistan and subsequent pathogen recovery. *Mil Med*. 2015;180(1):97-103. doi: 10.7205/MILMED-D-14-00301.
17. Heitkamp R.A., Li P., Mende K., Demons S.T., Tribble D.R., Tyner S.D. Association of Enterococcus spp. with Severe Combat Extremity Injury, Intensive Care, and Polymicrobial Wound Infection. *Surg Infect (Larchmt)*. 2018;19(1):95-103. doi: 10.1089/sur.2017.157.
18. Kovalchuk V., Kondratiuk V., McGann P., Jones B.T., Fomina N., Nazarchuk O. et al. Temporal evolution of bacterial species and their antimicrobial resistance characteristics in wound infections of war-related injuries in Ukraine from 2014 to 2023. *J Hosp Infect*. 2024;152:99-104. doi: 10.1016/j.jhin.2024.06.011.
19. Оприщенко А.А., Штутин А.А., Кравченко А.В., Поддубная Е.Н., Поповиченко Л.Л. Особенности микробного пейзажа огнестрельных ран конечностей. *Университетская клиника*. 2018;(1):72-76. doi: 10.26435/uc.v0i1(26).142.
20. Оприщенко А.А., Штутин А.А., Кравченко А.В., Поддубная Е.Н., Поповиченко Л.Л. Features of the microbial landscape of gunshot wounds of the extremities. *University Clinic*. 2018;(1):72-76. (In Russian). doi: 10.26435/uc.v0i1(26).142.
20. 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. doi: 10.17816/2311-2905-16720.
20. 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). doi: 10.17816/2311-2905-16720.
21. Liu H., Wang Y., Xing H., Chang Z., Pan J. Risk factors for deep surgical site infections following orthopedic trauma surgery: a meta-analysis and systematic review. *J Orthop Surg Res*. 2024;19(1):811. doi: 10.1186/s13018-024-05299-2.

Сведения об авторах

✉ Шафигулин Рашид Актасович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, Республика Татарстан, 420008, г. Казань,
ул. Кремлевская, д. 18

<https://orcid.org/0009-0008-6146-4470>

eLibrary SPIN: 1458-1630

e-mail: rashid221@yandex.ru

Звегинцева Альбина Айратовна

<https://orcid.org/0000-0002-9327-9324>

eLibrary SPIN: 8318-7702

e-mail: albina.zvegintseva@yandex.ru

Authors' information

✉ Rashid A. Shafigulin — Cand. Sci. (Med.)

Address: 18, Kremlyovskaya st., Kazan, 420008,
Republic of Tatarstan, Russia

<https://orcid.org/0009-0008-6146-4470>

eLibrary SPIN: 1458-1630

e-mail: rashid221@yandex.ru

Albina A. Zvegintseva

<https://orcid.org/0000-0002-9327-9324>

eLibrary SPIN: 8318-7702

e-mail: albina.zvegintseva@yandex.ru

Ахтямов Ильдар Фуатович — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0002-4910-8835>

eLibrary SPIN: 6579-8640

e-mail: yalta60@mail.ru

Емелин Алексей Львович — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0009-0000-1833-9991>

eLibrary SPIN: 9531-3600

e-mail: travmatica@mail.ru

Миразимов Элер Бахтиёр-угли

<https://orcid.org/0009-0005-9473-325X>

e-mail: dr.mirazimov@gmail.com

Харин Никита Вячеславович

<https://orcid.org/0000-0003-4850-143X>

eLibrary SPIN: 3574-8161

e-mail: nik1314@mail.ru

Валиуллина Инна Робертовна

<https://orcid.org/0000-0001-8532-8432>

eLibrary SPIN: 3740-4091

e-mail: inna.valiulleena@tatar.ru

Ildar F. Akhtyamov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4910-8835>

eLibrary SPIN: 6579-8640

e-mail: yalta60@mail.ru

Alexey L. Emelin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0009-0000-1833-9991>

eLibrary SPIN: 9531-3600

e-mail: travmatica@mail.ru

Eler B. Mirazimov

<https://orcid.org/0009-0005-9473-325X>

e-mail: dr.mirazimov@gmail.com

Nikita V. Kharin

<https://orcid.org/0000-0003-4850-143X>

eLibrary SPIN: 3574-8161

e-mail: nik1314@mail.ru

Inna R. Valiullina

<https://orcid.org/0000-0001-8532-8432>

eLibrary SPIN: 3740-4091

e-mail: inna.valiulleena@tatar.ru



Cytokine Profile in the Synovial Fluid of Children with Legg-Calvé-Perthes Disease and Transient Synovitis of the Hip

Nikita A. Shabaldin¹, Vladimir M. Kenis², Aleksey N. Kozhevnikov²,
Anton G. Kutikhin³, Andrei V. Shabaldin^{1,3}

¹ Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia

² H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

³ Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

Abstract

Background. The nature of synovitis development in the early stages of Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD), as well as certain aspects of the pathogenesis of subsequent osteodestructive processes, remains incompletely understood. A targeted approach to the treatment of the hip osteochondropathy should be based on an understanding of the dysregulation of osteogenesis at the molecular and cellular levels.

The aim of the study – to perform a comparative analysis of the concentrations of immunoregulatory molecules in the synovial fluid of patients with manifested Legg-Calvé-Perthes disease and those with transient synovitis of the hip.

Methods. This prospective case-control pilot study included two groups of children. We analyzed the concentrations of five mediators/chemokines/cytokines (CD40, MDC/CCL22, Fractalkine (CX3CL1), IP10/CXCL10, VEGF) in the synovial fluid of 42 children with transient synovitis of the hip (TSH), as well as in 26 children with stage II LCPD according to the Waldenström classification.

Results. The conducted study demonstrates differences in the nature of synovial inflammation with favorably occurring TSH and LCPD. The concentrations of regulatory molecules in synovial fluid depends on the predominant etiological factor and may influence the processes of osteoresorption and osteogenesis. Thus, changes in cytokine activity in patients with LCPD indicate the significance of disturbances in the coupling of angiogenesis and osteogenesis at the molecular and cellular levels. An increase in the concentration of phosphoprotein CD40, along with VEGF-induced glycoprotein proliferation, is associated with the activation of inflammation in vascular disorders. In the development of TSH, an increase in the level of cytokine IP10, which regulates the Th1 immune response, was observed.

Conclusions. In transient synovitis of the hip, the predominant factor is the immune-inflammatory response accompanied by activation of the chemokine system. The manifestation of Legg-Calvé-Perthes disease is associated with disturbances in the coupling of angiogenesis and osteogenesis at the molecular and cellular levels, as well as with increased expression of inflammatory mediators.

Keywords: Legg-Calvé-Perthes disease; osteogenesis; osteodestruction, inflammatory mediators.

Cite as: Shabaldin N.A., Kenis V.M., Kozhevnikov A.N., Kutikhin A.G., Shabaldin A.V. Cytokine Profile in the Synovial Fluid of Children with Legg-Calvé-Perthes Disease and Transient Synovitis of the Hip. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):101-110. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17756>.

✉ Nikita A. Shabaldin; e-mail: shabaldin.nk@yandex.ru

Submitted: 13.08.2025. Accepted: 10.09.2025. Published online: 22.09.2025.

© Eco-Vector, 2025

Научная статья

УДК [616.718.41-021.4+616.728.2-018.36-002]-008.8-053.2

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17756>

Цитокиновый профиль синовиальной жидкости детей с болезнью Легга – Кальве – Пертеса и транзиторным синовитом тазобедренного сустава

Н.А. Шабалдин¹, В.М. Кенис², А.Н. Кожевников², А.Г. Кутихин³, А.В. Шабалдин^{1,3}

¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Кемерово, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

Реферат

Актуальность. Природа развития синовита на ранних стадиях болезни Легга – Кальве – Пертеса (БЛКП), а также некоторые вопросы патогенеза дальнейших остеодеструктивных процессов остаются до конца не известными. Таргетный вариант лечения остеохондропатии тазобедренного сустава должен базироваться на понимании нарушений регуляции остеогенеза на молекулярно-клеточном уровне.

Цель исследования — выполнить сравнительный анализ концентрации иммунорегуляторных молекул в синовиальной жидкости у пациентов с манифестацией болезни Легга – Кальве – Пертеса и у пациентов с транзиторным синовитом тазобедренного сустава.

Материал и методы. В пилотном проспективном исследовании по принципу «случай–контроль» участвовало две группы детей. Выполнен анализ концентрации пяти медиаторов/хемокинов/цитокинов (CD40, MDC/CCL22, Fractalkine (CX3CL1), IP10/CXCL10, VEGF) в синовиальной жидкости у 42 детей с диагнозом «транзиторный синовит тазобедренного сустава» (ТСТС), а также у 26 пациентов с диагнозом «болезнь Легга – Кальве – Пертеса» 2-й стадии по классификации Waldenström.

Результаты. Выполненное исследование свидетельствует о различных природе и характере воспаления синовиальной жидкости при благоприятно протекающих ТСТС и БЛКП. Концентрация регуляторных молекул в синовиальной жидкости зависит от ведущего этиологического фактора и может влиять на процессы остеорезорбции и остеогенеза. Так, изменения активности цитокинов у пациентов с БЛКП свидетельствуют о значимости нарушений в системе сопряжения ангиогенеза и остеогенеза на молекулярно-клеточном уровне. Рост концентрации такого фосфопротеина, как CD40, на фоне индукции пролиферации гликопротеина VEGF связан с активацией воспаления при нарушениях в сосудистом русле. При развитии ТСТС отмечался рост уровня цитокина IP10, регулирующего Th1 иммунный ответ.

Заключение. При транзиторном синовите тазобедренного сустава ведущим фактором является иммунновоспалительный ответ с активацией системы хемокинов. Манифестация воспаления при болезни Легга – Кальве – Пертеса связана с нарушениями в системе сопряжения ангиогенеза и остеогенеза на молекулярно-клеточном уровне, а также с усилением экспрессии медиаторов воспаления.

Ключевые слова: болезнь Легга – Кальве – Пертеса; остеогенез; остеодеструкция; медиаторы воспаления.

Для цитирования: Шабалдин Н.А., Кенис В.М., Кожевников А.Н., Кутихин А.Г., Шабалдин А.В. Цитокиновый профиль синовиальной жидкости детей с болезнью Легга – Кальве – Пертеса и транзиторным синовитом тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):101-110. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17756>.

✉ Шабалдин Никита Андреевич; e-mail: shabaldin.nk@yandex.ru

Рукопись получена: 13.08.2025. Рукопись одобрена: 10.09.2025. Статья опубликована онлайн: 22.09.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD) is a type of osteochondropathy characterized by the development of idiopathic avascular necrosis of the femoral head. Despite long-standing research, the nature of hip joint synovitis in the early stages of the disease, as well as the pathogenesis of osteodestructive processes, remains incompletely understood. An important research objective is to elucidate the patterns of molecular and cellular cascade alterations depending on the stage of LCPD [1, 2].

The onset of avascular necrosis is considered to be triggered by the formation of a hypoperfusion focus in the proximal femoral epiphysis against the background of vascular collapse. Acute tissue hypoxia is accompanied by the overexpression of hypoxia-inducible factor 1 α (HIF-1 α). The increased transcription of this oxygen-dependent protein is aimed at regulating processes such as angiogenesis, erythropoiesis, and energy and glucose metabolism. It also participates in numerous intercellular signaling pathways. The primary biological function of HIF-1 α is cellular adaptation to hypoxic conditions. The protective role of HIF-1 α is associated with its ability to activate the transcription of genes encoding erythropoietin (EPO) and vascular endothelial growth factor (VEGF) [3, 4]. Increased VEGF activity promotes angiogenesis and revascularization of the hypoperfused area.

At the same time, proteins of the HIF-1 family may act as both anti-apoptotic and pro-apoptotic factors. One of the possible mechanisms of apoptosis induction is associated with prolonged acute hypoxia and the concomitant enhancement of HIF-1 α and p53 protein expression [5]. The p53 protein is a potent tumor suppressor and transcription factor that promotes the activation of genes initiating programmed cell death. The relationship between the increased expression of HIF-1 α and p53 was demonstrated by co-immunoprecipitation in cells exposed to hypoxia [6].

Moreover, it has been shown that HIF-1 α overexpression can activate the production of inflammatory mediators, including the pro-inflammatory cytokines IL-1 β , TNF- α , and IL-6 [7, 8]. In experimental animal models of surgically induced avascular necrosis of the femoral head, HIF-1 α overexpression was accompanied by

the subsequent activation of pro-inflammatory cytokines IL-1 β , TNF- α , and IL-6 [2, 8]. The proliferation and migration of these cytokines are associated not only with increased HIF-1 α expression but also with damage-associated molecular patterns (DAMPs), whose elevated extracellular concentration results from osteocyte apoptosis under hypoxic conditions [9, 10, 11]. Alterations in the cytokine profile may play a significant role in the disruption of bone homeostasis regulation.

From this perspective, it is quite possible that the pathogenesis of LCPD manifestation may be associated with a local phenomenon of an exaggerated inflammatory response and dysregulation of immunoregulatory molecules-cytokines, chemokines, and soluble forms of transmembrane receptors-under hypoxic conditions. At first glance, similar mechanisms may underlie transient synovitis of the hip (TSH) in children. Moreover, this form of inflammatory arthropathy is highly prevalent among preschool and early school-aged children [12]. At the early stages, both diseases share similar clinical and instrumental features, characterized by the acute onset of pain and synovitis of the hip joint. However, in TSH, synovitis resolves completely, whereas in LCPD it may progress into a chronic condition. Several experimental studies have demonstrated high concentrations of IL-6 and TNF- α in synovial fluid in LCPD, confirming the phenomenon of an uncontrolled inflammatory response [8, 9].

Currently, active research continues on several regulatory molecules involved in chronic inflammation, including the soluble form of the transmembrane glycoprotein CD40, which belongs to the tumor necrosis factor receptor (TNFR) superfamily [13]; the macrophage-derived chemokine MDC/CCL22 [14, 15]; the chemokine Fractalkine (CX3CL1), one of the key molecules in the pathogenesis of systemic lupus erythematosus and juvenile rheumatoid arthritis [16, 17]; the interferon gamma-induced chemokine IP10/CXCL10, which plays an important role in the activation and regulation of inflammatory and immune responses and contributes to the development of autoinflammatory diseases [18, 19]; as well as VEGF, extensively studied in autoimmune and autoinflammatory disorders [20, 21]. All of these molecules are considered potential targets for

the development of new therapeutic approaches for autoimmune and autoinflammatory diseases. It is therefore likely that dysregulated regulatory mechanisms in the hip joint in LCPD are also linked to these mediators. Thus, understanding the patterns of molecular composition changes in synovial fluid during osteodestruction in LCPD may provide a foundation for developing new diagnostic criteria and treatment strategies for this pathology, including the use of genetically engineered biologic agents.

The aim of the study – to perform a comparative analysis of the concentrations of immunoregulatory molecules in the synovial fluid of patients with manifested Legg-Calvé-Perthes disease and those with transient synovitis of the hip.

METHODS

Study design

The study was designed as a pilot prospective case-control study.

Two groups of children participated. The first group included 42 children diagnosed with TSH, comprising 32 boys and 10 girls, with a mean age of 6.7 ± 0.6 years. The second group included 26 children with stage II LCPD according to the Waldenström classification, comprising 21 boys and 5 girls, with a mean age of 6.1 ± 0.8 years. All children with TSH and LCPD were treated in the Department of Traumatology and Orthopedics of Kuzbass Regional Children's Clinical Hospital named after Y.A. Atamanov (Kemerovo, Russia) between 2017 and 2022. All examined children were of Caucasian ethnicity and residents of the Kemerovo Region.

The diagnosis of LCPD was established based on X-rays (AP and Lauenstein views) and MRI of the hip joint. All LCPD cases were accompanied by pronounced synovitis. The inclusion criterion was a diagnosis of stage II LCPD according to the Waldenström classification, confirmed by instrumental studies. The exclusion criterion was the presence of other nosological entities associated with bone destruction.

The diagnosis of TSH was made after excluding surgical and orthopedic pathology and confirmed during follow-up observation. All children were examined by a rheumatologist, and no cases of juvenile idiopathic arthritis were identified.

The inclusion criteria were coxalgia and limited range of motion in the hip joint developing in previously healthy children. The exclusion criteria were bone destruction according to instrumental studies and infectious or autoimmune inflammation of the hip synovium.

All children included in the study underwent synovial fluid aspiration during hip joint puncture, performed as part of femoral head decompression in patients with LCPD and during differential diagnosis in patients with TSH. The needle was inserted from lateral to medial, targeting the projection of the femoral head beneath the inguinal ligament, with the puncture site located away from the femoral artery pulse. The presence of synovial fluid in the syringe confirmed correct entry into the hip joint cavity. No complications occurred during the procedures. The preparation of synovial fluid samples involved treatment with hyaluronidase (4 mg/ml; Sigma, USA) at 37°C for 1 hour in a shaker, with the addition of 0.5% bovine serum albumin (BSA) as the final concentration. After incubation, the samples were centrifuged at 1000 g for 5 minutes at room temperature. The resulting supernatants were stored at -20°C until analysis.

In all samples from 68 patients, the concentrations of five mediators/chemokines/cytokines – CD40, MDC/CCL22, Fractalkine (CX3CL1), IP10/CXCL10, and VEGF – were measured using ELISA kits (Invitrogen, USA). The analysis of synovial fluid was performed at the City Hospital No. 40, Kurortny District (St. Petersburg, Russia). All samples were analyzed in duplicate according to the manufacturer's instructions. The concentrations of the studied mediators were expressed in pg/ml.

Statistical analysis

To identify significant differences between groups, statistical processing was performed using Statistica 10.0 and MedCalc 17.5.2 software, applying the principles of variational statistics. Quantitative data were presented as median (Me) and 25th and 75th percentiles (P25 and P75). The Mann-Whitney U test was used to assess the significance of intergroup differences. To evaluate the role of the studied mediators in the development of LCPD, multiple linear regression with a logit transformation was applied. The dependent variable was the presence

of LCPD (score = 1) or TSH (score = 0), while the independent variables were the concentrations of all analyzed mediators. The type I error (α) was set at 5%, and the type II error (β) at 20%. Therefore, statistical significance was established at $p < 0.05$, in accordance with standard requirements. The performance of the resulting logistic model was evaluated using the area under the curve (AUC) derived from ROC analysis, which is the standard criterion for assessing the quality of binary classification. During logistic regression, potential confounding factors such as age, sex, and body weight of the patients were taken into account.

RESULTS

Hip joint aspiration was performed in all patients under local anesthesia using an anterior approach. In several cases, ultrasound guidance was utilized to ensure accurate needle placement into the joint cavity. The volume of aspirated synovial fluid ranged from 2 to 6 ml. There were no significant differences in the amount of synovial fluid obtained between the study groups.

The study revealed distinct characteristics of synovial inflammation in patients with TSH and LCPD. The predominant molecular patterns varied depending on the underlying pathology triggering the inflammatory process. The analysis of chemokine and mediator profiles in synovial fluid demonstrated significant differences for most of the studied molecules (Table 1).

As shown in Table 1, the concentrations of several molecules in the synovial fluid of patients

with LCPD significantly differed from those observed in patients with TSH. In particular, CD40 and VEGF levels were elevated in LCPD, whereas children with TSH had significantly higher concentrations of IP10. No differences between groups were found for macrophage-derived chemokine (MDC) and Fractalkine. These findings suggest an important role of the soluble form of the CD40 receptor and VEGF in the development of LCPD.

To assess the interactions among the studied mediators involved in LCPD pathogenesis and to derive an equation for estimating the risk of LCPD, multiple linear regression followed by logit transformation was performed. The results are presented in Table 2. It should be noted that β -coefficients of the classifier reflect the relative influence of each predictor on the dependent variable, whereas B-coefficients represent the predictive value of the corresponding factor and can be used in the logistic function equation.

As shown in Table 2, the predictors of LCPD included elevated concentrations of soluble CD40 receptor and VEGF in the synovial fluid, while IP10 (CXCL10) and Fractalkine (CX3CL1) acted as protective factors. These results are consistent with the data in Table 1, where soluble CD40 receptor and VEGF were also identified as key molecules in the manifestation of synovial inflammation in LCPD.

Based on the B-coefficients and the logit-transformed regression results, an equation was developed to estimate the risk of LCPD formation according to deviations in mediator and chemokine levels in hip synovial fluid.

Table 1

Comparison of chemokine/mediator concentrations in synovial fluid in LCPD and TSH

Cytokines	LCPD			TSH			p
	Me	P25	P75	Me	P25	P75	
CD40, pg/ml	239.854	137.949	341.758	73.387	25.183	121.591	0.012
Fractalkine (CX3CL1), pg/ml	24.121	2.479	45.764	31.764	0.832	62.696	0.067
IP10 (CXCL10), pg/ml	10.928	3.974	17.882	64.468	25.034	103.902	0.024
MDC (CCL22), pg/ml	343.317	198.988	487.646	163.796	117.140	210.451	0.079
VEGF, pg/ml	209.804	103.329	316.279	64.336	23.973	104.699	0.043

Table 2

Immunoregulatory predictors and protectors of LCPD

Parameter	β	SE of β	B	SE of B	p
Regression intercept	–	–	0.3900	0.1223	0.0041
CD40, pg/ml – X1	0.4029	0.1918	0.0009	0.0004	0.0468
IP10 (CXCL10), pg/ml – X2	-0.2749	0.1720	-0.0018	0.0011	0.1236
VEGF, pg/ml – X3	0.2983	0.1692	0.0006	0.0004	0.0911
Fractalkine (CX3CL1), pg/ml – X4	-0.2329	0.1898	-0.0017	0.0013	0.2322

SE – standard error.

The logistic regression equation was as follows:

$$p = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)} \times 100\%,$$

where $z = 0.39 + 0.0009 \cdot X1 - 0.0018 \cdot X2 + 0.0006 \cdot X3 - 0.0017 \cdot X4$, where X1, ..., X4 are the factors listed in Table 2; 0.39 is the intercept (constant) of the logistic model; and p represents the probability of LCPD development based on inflammatory mediator levels in hip synovial fluid. The overall model was statistically significant ($p = 0.0001$).

To evaluate the quality of the equation, ROC analysis was performed (Figure 1). The following parameters were analyzed: the area under the

curve (AUC), indicating diagnostic accuracy (0.9-1.0 = excellent; 0.8-0.9 = very good; 0.7-0.8 = good; 0.6-0.7 = moderate; < 0.6 = poor), as well as specificity and sensitivity.

The sensitivity and specificity of the developed equation for predicting the risk of LCPD based on inflammatory changes in synovial fluid exceeded 78%, indicating high diagnostic performance. The discrimination threshold was 60.47%. The AUC was significantly higher than that of a random classifier.

Thus, the proposed equation can be used as a predictive tool for assessing the risk of LCPD development based on inflammatory mediator profiles in hip joint synovial fluid.

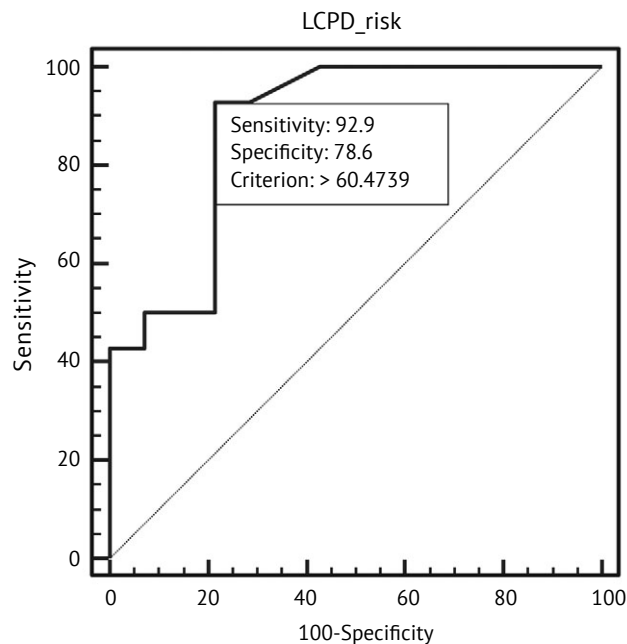


Figure 1. ROC analysis of the equation for calculating the risk of developing Legg-Calvé-Perthes disease (AUC = 0.878; $p = 0.0001$)

DISCUSSION

The formation of a hypoperfusion focus in the femoral head during the development of LCPD has been confirmed by numerous studies, including histological investigations, hip MRI with perfusion imaging, and Doppler ultrasonography [22, 23].

The crucial role of the vascular component in the pathogenesis of osteochondropathy at the molecular and cellular levels is evidenced by a significant increase in the concentration of VEGF, which plays a key role in stimulating angiogenesis through the activation of endothelial cell proliferation. The increase in VEGF activity may be associated with the rise of HIF-1 α level in response to acute tissue hypoxia [24]. Enhanced VEGF activity can therefore be interpreted as a compensatory mechanism aimed at restoring perfusion and promoting angiogenesis under acute ischemic conditions.

Alongside VEGF proliferation, elevated levels of the phosphoprotein CD40 were observed in the synovial fluid of patients with LCPD, which may indicate the activation of inflammatory processes associated with vascular dysfunction.

Several studies have highlighted the pivotal role of the soluble form of the transmembrane receptor CD40 in the pathogenesis of chronic inflammation [25, 26]. Increased expression of CD40, including its alternatively spliced transmembrane isoform, promotes the synthesis of pro-inflammatory cytokines (IL-6, TNF- α) and regulates transcription factors such as nuclear factor kappa β (NF- $\kappa\beta$) [27]. Interaction between CD40 and its ligand (CD40L) induces phosphorylation of protein kinase B (Akt) and nuclear translocation of NF- $\kappa\beta$. Experimental studies have demonstrated that fibroblasts, when stimulated with CD40L, express CD40 and secrete pro-inflammatory cytokines such as IL-6 and TNF- α . In the present study, patients with LCPD exhibited a marked increase in the concentration of transmembrane phosphoprotein CD40 in the synovial fluid.

In addition, several studies have linked the CD40/CD40L system with enhanced thrombogenesis [13, 14]. The transmembrane CD40 receptor is expressed on the surface of platelets, endothelial cells, vascular smooth muscle cells, and B-lymphocytes. Although CD40 does not directly influence platelet aggregation,

it facilitates platelet adhesion to the vascular wall [28]. Experimental studies in CD40-deficient mice demonstrated a twofold reduction in the risk of atherosclerosis compared with the mice with normal level of CD40 thrombocytes.

The etiology of impaired blood supply to the proximal femur in LCPD remains unclear. In some children, the disease follows a more aggressive course characterized by osteoarthritic changes that lead to early hip osteoarthritis [29]. Meanwhile, the increased concentration of CD40 in synovial fluid observed in patients with LCPD may indicate a higher risk of atherosclerotic plaque formation followed by the development of a hypoperfusion focus in the femoral head.

In contrast, the synovial fluid of patients with TSH showed slightly elevated levels of interferon-gamma-inducible cytokine IP10 (CXCL10) compared with LCPD. This is an important laboratory finding for understanding the mechanisms of TSH in children. IP10 (CXCL10) is a chemokine that promotes migration and adhesion of activated T-cells through binding to the CXCR3 receptor. IP10 is secreted by macrophages infected with viruses or bacteria, as well as during antigen presentation. Its secretion is upregulated by interferon-gamma stimulation of T-cells and other pro-inflammatory cytokines (IL-17, IL-23, IL-6, TNF- α , IL-1 β). Moreover, IP10 regulates the Th1-type immune response and recruits leukocytes, including T-lymphocytes and natural killer (NK) cells. A positive feedback loop is thought to exist between Th1 lymphocytes producing interferon-gamma and resident cells secreting CXCL10 [30]. Elevated IP10 levels in the synovial fluid of patients with juvenile idiopathic arthritis (JIA) confirm the cytokine-mediated pathogenesis of the disease. CXCL10 is expressed by various cell types within the synovial environment in JIA, including macrophages, epithelial, and endothelial cells. Several studies have demonstrated that targeting CXCL10 or its receptor CXCR3 may represent a potential therapeutic strategy for JIA [31].

Thus, the present study demonstrates distinct nature and mechanisms of inflammation in TSH and LCPD. The concentration of regulatory molecules in synovial fluid depends on the predominant etiological factor and may influence processes of bone resorption and osteogenesis.

Specifically, cytokine activity patterns in LCPD indicate a significant disturbance in the coupling between angiogenesis and osteogenesis at the molecular and cellular levels. The increased concentration of the phosphoprotein CD40, along with VEGF-induced glycoprotein proliferation, reflects activation of inflammation associated with vascular dysfunction, whereas in TSH, an elevated level of IP10 indicates stimulation of the Th1-mediated immune response.

Study limitations

According to the presented study design, there were limitations regarding age and population. The direct interpretation of the results does not apply to children younger than 5 or older than 8 years, nor to other populations. The study was limited to children aged 5 to 8 years living in the Kemerovo Region, without severe comorbidities or obesity.

CONCLUSIONS

Changes in the concentration of immunoregulatory molecules in synovial fluid may determine the course of various diseases. The present study demonstrated a different nature of inflammation in Legg-Calvé-Perthes disease and transient synovitis of the hip. In case of transient synovitis, the leading factor is an immune-inflammatory response with the activation of the chemokine system. In contrast, the manifestation of Legg-Calvé-Perthes disease is associated with disruptions in the coupling of angiogenesis and osteogenesis at the molecular and cellular level, formation of a hypoperfusion focus in the femoral head, and subsequent induction of inflammatory mediator expression.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shabaldin N.A. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Kenis V.M. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Kozhevnikov A.N. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Kutikhin A.G. — data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Shabaldin A.V. — statistical data processing, editing the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from legal representatives of children to participate in the study and publish the results.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

- Rodríguez-Olivas A.O., Hernández-Zamora E., Reyes-Maldonado E. Legg-Calvé-Perthes disease overview. *Orphanet J Rare Dis.* 2022;17(1):125. doi: 10.1186/s13023-022-02275-z.
- Shabaldin N.A., Shabaldin A.V. Molecular foundations of the etiology and pathogenesis of Legg-Calvé-Perthes disease and prospects for targeted therapy: a literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2022;10(3):295-307. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS101679.
- Mezen N.I., Sidorovich E.K., Lihachev S.A., Kvacheva Z.B., Lobanok E.S., Volotovskii I.D. Hypoxia-induced factor (HIF), its biological role and interaction with the systems of cell function under normal and pathological conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series.* 2013;(4):116-123. (In Russian).
- Zhukova A.G., Kazitskaya A.S., Sazontova T.G., Mikhailova N.N. Hypoxia-inducible factor (HIF): structure, function, and genetic polymorphism. *Hygiene and Sanitation.* 2019;98(7):723-728. (In Russian). doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-723-728.
- Piret J.P., Mottet D., Raes M., Michiels C. Is HIF-1 α a pro- or an anti-apoptotic protein? *Biochem Pharmacol.* 2002;64(5-6):889-892. doi: 10.1016/S0006-2952(02)01155-3.
- An W.G., Kanekal M., Simon M.C., Maltepe E., Blagosklonny M.V., Neckers L.M. Stabilization of wild-type p53 by hypoxia-inducible factor 1 α . *Nature.* 1998;392(6674):405-408. doi: 10.1038/32925.
- Yellowley C.E., Genetos D.C. Hypoxia signaling in the skeleton: implications for bone health. *Curr Osteoporosis Rep.* 2019;17(1):26-35. doi: 10.1007/s11914-019-00500-6.
- Ren Y., Deng Z., Gokani V., Kutschke M., Mitchell T.W., Aruwajoye O. et al. Anti-Interleukin-6 Therapy Decreases Hip Synovitis and Bone Resorption and Increases Bone Formation Following Ischemic Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Bone Miner Res.* 2021;36(2):357-368. doi: 10.1002/jbmr.4191.

9. Shah K.N., Racine J., Jones L.C., Aaron R.K. Pathophysiology and risk factors for osteonecrosis. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2015;8(3):201-209. doi: 10.1007/s12178-015-9277-8.
10. Gershtejn E.S., Timofeev Yu.S., Zuev A.A., Kushlinskii N.E. RANK/RANKL/OPG ligand-receptor system and its role in primary bone neoplasms (literature analysis and own data). *Advances in Molecular Oncology.* 2015;2(3):51-59. (In Russian).
11. Chumacheva Y.V., Stashkevich D.S., Devald I.V., Suslova T.A. Single nucleotide polymorphism of osteoprotegerin as a possible biomarker of rheumatoid arthritis in Bashkir population of Chelyabinsk region. *Russian Journal of Immunology.* 2023;26(4):521-526. (In Russian). doi: 10.46235/1028-7221-13964-SNP.
12. Nouri A., Walmsley D., Pruszczynski B., Synder M. Transient synovitis of the hip: a comprehensive review. *J Pediatr Orthop B.* 2014;23(1):32-36. doi: 10.1097/BPB.0b013e328363b5a3.
13. Barbarash O.L., Osokina A.V. Role of CD40/CD40L markers in prognosing cardiovascular events in patients with coronary atherosclerosis. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2011;(3):89-93. (In Russian).
14. Luo H., Li L., Han S., Liu T. The role of monocyte/macrophage chemokines in pathogenesis of osteoarthritis: a review. *Int J Immunogenet.* 2024;51(3): 130-142. doi: 10.1111/iji.12664.
15. Ren G., Al-Jezani N., Railton P., Powell J.N., Krawetz R.J. CCL22 induces pro-inflammatory changes in fibroblast-like synoviocytes. *iScience.* 2020;24(1):101943. doi: 10.1016/j.isci.2020.101943.
16. Ahmed A.A., Hassan E.H., Elsayed H., Alhussiny A.M. Fractalkine (CX3CL1) as a Diagnostic Marker for Childhood Onset Systemic Lupus Erythematosus. *Eur J Mol Clin Med.* 2021;8(3):2453-2463.
17. Pezeshkian F., Shahriarirad R., Mahram H. An overview of the role of chemokine CX3CL1 (Fractalkine) and CX3C chemokine receptor 1 in systemic sclerosis. *Immun Inflamm Dis.* 2024;12(10):e70034. doi: 10.1002/iid3.70034.
18. Madhurantakam S., Lee Z.J., Naqvi A., Prasad S. Importance of IP-10 as a biomarker of host immune response: Critical perspective as a target for biosensing. *Curr Res Biotechnol.* 2023;5:100130. doi: 10.1016/j.crbiot.2023.100130.
19. Enomoto N., Nakai S., Yazawa S., Mochizuka Y., Fukada A., Tanaka Y. et al. CXCL10 predicts autoimmune features and a favorable clinical course in patients with IIP: post hoc analysis of a prospective and multicenter cohort study. *Respir Res.* 2024;25(1):346. doi: 10.1186/s12931-024-02982-0.
20. Zhan H., Li H., Liu C., Cheng L., Yan S., Li Y. Association of circulating vascular endothelial growth factor levels with autoimmune diseases: a systematic review and meta-analysis. *Front Immunol.* 2021;12:674343. doi: 10.3389/fimmu.2021.674343.
21. Le T.H.V., Kwon S.M. Vascular endothelial growth factor biology and its potential as a therapeutic target in rheumatic diseases. *Int J Mol Sci.* 2021;22(10):5387. doi: 10.3390/ijms22105387.
22. Kang M.S., Zimmerhanzel D., Haider S., Kwang-Woo Kim H. Early-stage femoral head hypoperfusion correlates with femoral head deformity at intermediate follow-up in Legg-Calvé-Perthes disease. *J Bone Joint Surg Am.* 2025;107(1):36-45. doi: 10.2106/JBJS.23.01429.
23. Chong D.Y., Schrader T., Laine J.C., Yang S., Gilbert S.R., Kim H.K.W. et al. Reliability and validity of visual estimation of femoral head hypoperfusion on perfusion MRI in Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop.* 2021;41(9):e780-e786. doi: 10.1097/BPO.0000000000001945.
24. Svetozarskiy N.L., Artifeksova A.A., Svetozarskiy S.N. Growth promoting factor of endothelium of vessels: biological properties and practical value (literature review). *Journal of Siberian Medical Sciences.* 2015;(5):24. (In Russian).
25. Wagner A.H., Klersy A., Sultan C.S., Hecker M. Potential role of soluble CD40 receptor in chronic inflammatory diseases. *Biochem Pharmacol.* 2023;217:15858. doi: 10.1016/j.bcp.2023.115858.
26. Shevchenko O.P., Prirodova O.F., Shevchenko A.O. Clinical value of soluble CD40 ligand in coronary heart disease patient. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2006;5(7):101-111.
27. Gillespie E.F., Raychaudhuri N., Papageorgiou K.I., Atkins S.J., Lu Y., Charara L.K. et al. Interleukin-6 production in CD40-engaged fibrocytes in thyroid-associated ophthalmopathy: involvement of Akt and NF- κ B. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(12):7746-7753. doi: 10.1167/iovs.12-9861.
28. Gerdes N., Seijkens T., Lievens D., Kuijpers M.J., Winkels H., Projahn D. et al. Platelet CD40 exacerbates atherosclerosis by transcellular activation of endothelial cells and leukocytes. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2016;36(3):482-490. doi: 10.1161/ATVBAHA.115.307074.
29. Kozhevnikov A.N., Barsukov D.B., Gubaeva A.R. Legg-Calvé-Perthes disease presenting with osteoarthritis: mechanisms of the development and prospects of conservative therapy using bisphosphonates. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2023;11(3):405-416. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS456498.
30. Mellado M., Martínez-Muñoz L., Cascio G., Lucas P., Pablos J.L., Rodríguez-Frade J.M. T cell migration in rheumatoid arthritis. *Front Immunol.* 2015;6:384. doi: 10.3389/fimmu.2015.00384.
31. Al-Jaberi L., Simonds M.M., Brescia A.M.C. CCL24, CXCL9 and CXCL10 are increased in synovial fluid in patients with juvenile idiopathic arthritis requiring advanced treatment. *Rheumatology (Oxford).* 2023;62(7):2594-2600. doi: 10.1093/rheumatology/keac617.

Authors' information

✉ *Nikita A. Shabaldin* — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor

Address: 22a, Voroshilova st., Kemerovo, 650056, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8628-5649>

eLibrary SPIN: 6283-2581

e-mail: shabaldin.nk@yandex.ru

Vladimir M. Kenis — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7651-8485>

eLibrary SPIN: 5597-8832

e-mail: kenis@mail.ru

Aleksey N. Kozhevnikov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0509-6198>

eLibrary SPIN: 1230-6803

e-mail: infant_doc@mail.ru

Anton G. Kutikhin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8679-4857>

eLibrary SPIN: 4527-8939

e-mail: antonkutikhin@gmail.com

Andrei V. Shabaldin — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>

eLibrary SPIN: 5281-0065

e-mail: weit2007@yandex.ru



Comparison of Conservative Treatment Outcomes for Adolescent Idiopathic Scoliosis in Swimmers and Rhythmic Gymnastics Athletes

Marianna Ch. Semenistaia^{1,3}, Borislav Chongov^{2,3}, Anton A. Semenistyy^{1,3}

¹ Medical University of Sofia, Sofia, Bulgaria

² Vasil Levski National Sports Academy, Sofia, Bulgaria

³ Prof. B. Boychev University Hospital for Orthopaedic, Sofia, Bulgaria

Abstract

Background. The impact of regular sports activities and specific types of sports on the effectiveness of conservative treatment for adolescent idiopathic scoliosis (AIS) has not been sufficiently studied. Understanding this relationship is essential for personalizing programs of physiotherapeutic specific scoliosis exercises (PSSE) and preventing deformity progression.

The aim of the study — to compare the results of conservative therapy for adolescent idiopathic scoliosis among rhythmic gymnasts, swimmers, and patients not engaged in regular sports activities, as well as to evaluate the influence of sport type on changes in frontal and sagittal trunk balance parameters and flexibility.

Methods. A retrospective analysis was performed on 54 patients: 21 rhythmic gymnasts (Group 1), 11 swimmers (Group 2), and 22 non-athletic patients (Group 3, control). The groups were comparable in terms of key anthropometric and radiological parameters. All patients underwent PSSE according to the BSPTS Rigo method. TLSO bracing was used when indicated. Before and after treatment, the Cobb angle, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, sagittal index, angle of trunk inclination (ATI), and flexibility (sit-and-reach test) were assessed.

Results. Significant intergroup differences were found only for the Cobb angle ($H = 9.366$; $p = 0.007$) during treatment. Post-hoc analysis revealed that gymnasts showed a statistically significantly greater reduction in Cobb angle compared with the control group ($p < 0.0167$). Differences between the control group and swimmers, as well as between gymnasts and swimmers, did not reach statistical significance after adjustment. No significant intergroup differences were found for other parameters (thoracic kyphosis, lumbar lordosis, sagittal index, flexibility, body mass, and height). Intragroup analysis demonstrated a statistically significant decrease in Cobb angle and ATI among gymnasts, and improved flexibility in both gymnasts and the control group. Deformity progression greater than 5° occurred less frequently in athletes (3.1%) than in non-athletic patients (27.3%; $p = 0.0144$).

Conclusion. Conservative treatment based on physiotherapeutic specific scoliosis exercises is effective in all patients with adolescent idiopathic scoliosis. Rhythmic gymnasts demonstrated a more pronounced correction of frontal plane deformity and a greater reduction in trunk inclination compared with non-athletic patients. Swimming did not show advantages for correction of deformities in either the frontal (Cobb angle) or sagittal (lordosis, kyphosis) planes.

Keywords: adolescent idiopathic scoliosis; physiotherapy; bracing; PSSE (BSPTS Rigo); rhythmic gymnastics; swimming; Cobb angle.

Cite as: Semenistaia M.Ch., Chongov B., Semenistyy A.A. Comparison of Conservative Treatment Outcomes for Adolescent Idiopathic Scoliosis in Swimmers and Rhythmic Gymnastics Athletes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):111-119. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17759>.

✉ Anton A. Semenistyy; e-mail: an.semenistyy@gmail.com

Submitted: 27.08.2025. Accepted: 20.10.2025. Published online: 10.11.2025.

© Eco-Vector, 2025



Сравнение результатов консервативного лечения юношеского идиопатического сколиоза у пловцов и спортсменов художественной гимнастики

М.Ч. Семенистая^{1,3}, Б. Чонгов^{2,3}, А.А. Семенистый^{1,3}

¹ Медицинский университет Софии, г. София, Болгария

² Национальная спортивная академия Васила Левски, г. София, Болгария

³ Университетская специализированная ортопедическая больница им. проф. Б. Бойчева, г. София, Болгария

Реферат

Актуальность. Влияние регулярных занятий спортом и его вида на эффективность консервативного лечения юношеского идиопатического сколиоза (ЮИС) изучено недостаточно. Определение этой корреляции важно для персонализации программ специфических упражнений (PSSE) и профилактики прогрессирования деформации.

Цель исследования — сравнить результаты консервативной терапии юношеского идиопатического сколиоза у спортсменов художественной гимнастики, пловцов и пациентов, не занимающихся регулярно спортом, а также оценить влияние вида спорта на изменение фронтальных и сагиттальных параметров баланса туловища и гибкости.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ лечения 54 пациентов: 21 гимнастки (группа 1), 11 пловцов (группа 2) и 22 пациентов, не занимающихся регулярно спортом, (группа 3, контрольная). Группы были сопоставимы по основным антропометрическим и рентгенологическим показателям. Всем пациентам проводили PSSE по BSPTS Rigo; при наличии показаний применялся корсет TLSO. До и после лечения оценивали угол Кобба, грудной кифоз, поясничный лордоз, сагиттальный индекс, угол наклона туловища (АТИ) и гибкость (sit-and-reach тест).

Результаты. Значимые межгрупповые различия выявлены только в величине угла Кобба ($N = 9,366$; $p = 0,007$) в ходе лечения. Апостериорный анализ показал, что у гимнасток снижение величины угла Кобба было статистически значимо больше по сравнению с контрольной группой ($p < 0,0167$). Различия между контрольной группой и пловцами, а также между гимнастками и пловцами не достигли статистической значимости после поправки. Для остальных параметров (грудной кифоз, поясничный лордоз, сагиттальный индекс, гибкость, масса и рост) межгрупповых различий не выявлено. Внутригрупповой анализ показал статистически значимое уменьшение угла Кобба и АТИ у гимнасток, а также улучшение гибкости у гимнасток и в контрольной группе. Прогрессирование деформации более 5° у спортсменов наблюдалось реже (3,1%), чем у пациентов, не занимающихся регулярно спортом, (27,3%; $p = 0,0144$).

Заключение. Консервативное лечение на основе PSSE эффективно у всех пациентов с юношеским идиопатическим сколиозом. У гимнасток отмечены более выраженная коррекция деформации во фронтальной плоскости и снижение угла наклона туловища по сравнению с пациентами, не занимающимися регулярно спортом. Не выявлено преимуществ плавания для коррекции деформации во фронтальной (угол Кобба) и сагиттальной плоскостях (лордоз, кифоз).

Ключевые слова: юношеский идиопатический сколиоз; физиотерапия; корсетотерапия, PSSE (BSPTS Rigo); художественная гимнастика; плавание; угол Кобба.

Для цитирования: Семенистая М.Ч., Чонгов Б., Семенистый А.А. Сравнение результатов консервативного лечения юношеского идиопатического сколиоза у пловцов и спортсменов художественной гимнастики. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):111-119. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17759>.

Семенистый Антон Алексеевич; e-mail: an.semenistyy@gmail.com

Рукопись получена: 27.08.2025. Рукопись одобрена: 20.10.2025. Статья опубликована онлайн: 10.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) occurs in 1-3% of adolescents and represents a three-dimensional deformity of the spine characterized by a lateral curvature greater than 10° in the frontal plane [1]. The etiological factors of AIS have not been fully established. However, genetic predisposition, specific features of musculoskeletal growth, hormonal influences, and mechanical loading are believed to play a role in its development [2]. The diagnosis is typically made between the ages of 10 and 18, and the disease tends to progress during the periods of rapid growth, leading to significant cosmetic and functional impairments [2].

The role of physical activity in the development and progression of AIS remains a matter of debate. Different types of sports have varying effects on the spine and the musculoskeletal system [3]. Rhythmic gymnastics is associated with high flexibility demands and asymmetric, extreme ranges of motion, which may increase the mechanical load on the spine and, according to several authors, contribute to the progression of scoliotic deformity in adolescents [4, 5, 6, 7].

In 1996, P. Tanchev et al. performed a screening examination of 4,800 schoolgirls aged 11-14 years and identified scoliosis in 1.1% of them [7]. In 2000, the same authors performed a similar study involving 100 athletes actively engaged in rhythmic gymnastics and found that scoliosis occurred ten times more frequently (12%). The scoliotic deformities were mild to moderate in severity and were associated with delayed menarche, generalized joint hypermobility, and repetitive asymmetric spinal loading during growth, which is typical for this type of sport [8].

Swimming, on the other hand, has traditionally been regarded as a balanced form of physical activity that promotes uniform muscular development, improves posture, and reduces the risk of spinal deformities [3, 5]. However, recent studies show that regular swimming training does not always prevent the development or progression of the disease and, according to some authors, may even increase the risk of AIS [9, 10].

For curvatures less than 45°, conservative treatment is indicated, which includes an individualized program of scoliosis-specific corrective exercises (Physiotherapy Scoliosis Specific Exercises, PSSE). For curvatures greater

than 25°, orthotic management using thoracolumbosacral braces is recommended [11, 12, 13, 14]. The effectiveness of PSSE and brace therapy has been confirmed by numerous studies. However, their outcomes in athletes who are regularly exposed to sport-specific physical loads remain insufficiently studied [14, 15, 16, 17, 18].

The 2016 SOSORT guidelines emphasize that sports activities should not be prescribed as an independent treatment method for idiopathic scoliosis, as their goals differ from those of PSSE, which specifically targets the correction of deformity, functional impairment, and postural control [5]. Nevertheless, patients are encouraged to maintain regular physical activity, as participation in sports generally does not affect the occurrence or severity of scoliosis and provides psychophysical benefits. Correlations have been identified for certain sports: swimming – with trunk asymmetries and hyperkyphosis, although without proven causality; tennis – with no detected association with spinal deformities; gymnastics and ballet – with a higher prevalence of scoliosis, likely related to hyperlaxity and delayed menarche. During brace treatment, aerobic training may help maintain respiratory function [18, 19, 20].

The analysis of treatment outcomes in athletes with AIS engaged in different sports disciplines allows for assessing whether the nature of athletic loading influences the effectiveness of conservative therapy. Comparing rhythmic gymnastics and swimming in this context is of particular interest, as these sports differ significantly in movement biomechanics, load symmetry, and training regimen.

The aim of the study – to compare the results of conservative therapy for adolescent idiopathic scoliosis among rhythmic gymnasts, swimmers, and patients not engaged in regular sports activities, as well as to evaluate the influence of sport type on changes in frontal and sagittal trunk balance parameters and flexibility.

METHODS

Study design

The study design was retrospective and cohort-based.

Conservative treatment outcomes of AIS were evaluated in 54 patients: professional rhythmic gymnasts (Group 1), professional swimmers

(Group 2), and individuals not engaged in professional sports (Group 3, control group). Treatment was carried out between 2015 and 2022. The end of treatment was defined as the attainment of skeletal maturity (Risser stage 5). Follow-up assessments were conducted at two fixed time points: before treatment (baseline examination) and upon reaching skeletal maturity (final examination). The mean follow-up duration was 44.3 months (range: 12–65 months).

Inclusion criteria: diagnosis of AIS with a Cobb angle of 10–45°; age 10–15 years at treatment initiation; Risser stage 0–3; availability of at least two spinal X-rays (including the baseline one).

Exclusion criteria: secondary scoliosis; refusal of participation by the patient's legal representative; non-compliance with the prescribed rehabilitation program.

Group 1 included 21 patients (all female), Group 2 — 11 patients (7 females and 4 males), and Group 3 — 22 patients (17 females and 5 males). The groups were homogeneous in terms of age, changes in anthropometric parameters over the observation period (height and body weight), sagittal index, and severity of spinal curvature (Cobb angle, kyphosis, and lordosis). However, they differed significantly in baseline height, body weight, flexibility (assessed using the sit-and-reach test) [20], and in the number and duration of training sessions. The gymnasts demonstrated substantially higher flexibility compared to participants in Groups 2 and 3.

Treatment protocol

All patients followed a standardized program of physiotherapy scoliosis-specific exercises (PSSE) based on the BSPTS Rigo concept [21]. The program included one individual session with a certified physiotherapist per month (90 minutes) and home exercises performed five times per week for 20 minutes. The exercises were aimed at posture correction, breathing training, and activation and integration of postural muscle chains.

A rigid thoracolumbosacral orthosis (TLSO) was prescribed in 25 cases (8 gymnasts, 6 swimmers, and 11 patients in the control group). Indications for bracing were determined according to the Scoliosis Research Society (SRS) criteria, which include: a Cobb angle of 25–40° with documented curve progression, or a Cobb angle of 20–25° in patients at high risk of progression (Risser 0–2) [22].

When prescribed, brace wear time ranged from 18 to 23 hours per day. The orthotic devices used were designed in accordance with the principles of the Rigo-Chêneau system and the BSPTS methodology [21].

Evaluation of treatment outcomes

The following clinical and radiological parameters were used to assess treatment outcomes: 1) Cobb angle (spinal X-ray in the AP view) and sagittal index (in mm); 2) thoracic kyphosis and lumbar lordosis angles (measured using an inclinometer); 3) angle of trunk inclination (ATI), determined with a scoliometer; 4) flexibility, measured using the sit-and-reach test; 5) anthropometric data (height and body weight), recorded at baseline and final examinations; 6) proportion of cases showing scoliosis progression greater than 5° (considered as failure of conservative treatment).

Statistical analysis

Descriptive statistics were used to summarize demographic and clinical data. Quantitative variables with a normal distribution were presented as mean $\pm$ standard deviation ($M \pm SD$), while those with a non-normal distribution were presented as median, interquartile range, and extreme values ($Me [Q_1; Q_3]$ (min-max)).

The normality of distribution was assessed using the Shapiro-Wilk test. For normally distributed variables, comparisons between independent groups were performed using one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey post-hoc test. Paired samples were analyzed using the paired Student's t-test. For non-normally distributed variables, nonparametric tests were applied: comparisons among three independent groups were performed using the Kruskal-Wallis test with exact p-values calculated via the Monte Carlo method. When required, post-hoc analysis was conducted using the Mann-Whitney test with Bonferroni correction. Within-group differences (before and after treatment) were analyzed using the Wilcoxon signed-rank test.

For comparative analysis of proportions, Pearson's χ^2 test was used. In pairwise comparisons, Fisher's exact two-tailed test was applied. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. Statistical analysis was performed using SPSS Statistics v.26.0 (IBM, USA).

RESULTS

The Shapiro-Wilk test for normality showed a normal distribution for most variables, including age, height (before treatment), flexibility (sit-and-reach test), and scoliosis severity parameters (Cobb angle, kyphosis, lordosis, and sagittal index). Deviations from the normal distribution were found for body weight (both at baseline and in its change over the observation period) and for change in height during follow-up. The assessment of group comparability for these characteristics is presented in Table 1.

The Shapiro-Wilk test also demonstrated a normal distribution for all evaluated parameters except for the change in Cobb angle following treatment.

In Group 1, a statistically significant reduction in Cobb angle was observed. In Group 2, the Cobb angle also decreased, though this change was not statistically significant. In Group 3, a slight, statistically non-significant increase in Cobb angle was recorded.

Patients in Groups 1 and 2 also demonstrated a statistically significant improvement in the ATI measured with a scoliometer before and after treatment, while in Group 3, the change in this

parameter was not statistically significant. No statistically significant changes were observed in sagittal index, thoracic kyphosis, or lumbar lordosis across all three groups.

Improvement in flexibility (sit-and-reach test) was noted among patients in all three groups (Table 2).

Before treatment, no statistically significant differences were found between the groups in the main parameters — Cobb angle, kyphosis, lordosis, sagittal index, and ATI ($p > 0.05$). The only exception was the flexibility measure (sit-and-reach test): gymnasts demonstrated significantly higher baseline values compared with swimmers and patients not engaged in regular sports (ANOVA $p < 0.001$; Tukey post-hoc test for both pairs $p < 0.001$).

After treatment, statistically significant differences in Cobb angle were observed between Groups 1 and 3 ($p = 0.008$), while the differences between Groups 1 and 2 and between Groups 2 and 3 did not reach statistical significance. Differences in thoracic kyphosis were also identified: patients in Group 2 showed higher values compared to Group 1 ($p = 0.027$). No intergroup differences were found in lumbar

Table 1

Assessment of group comparability at baseline

Parameter	Group 1 (n = 21)	Group 2 (n = 11)	Group 3 (n = 22)	p
<i>Criteria for normally distributed data (ANOVA; t-test), $M \pm SD$</i>				
Age, years	12.13 $\pm$ 1.70	12.50 $\pm$ 1.30	12.64 $\pm$ 1.20	0.468
Height, cm	149.1 $\pm$ 11.6	159.3 $\pm$ 11.1	158.5 $\pm$ 9.7	0.024
Cobb angle, deg.	22.3 $\pm$ 8.3	26.6 $\pm$ 12.5	25.3 $\pm$ 7.0	0.363
Thoracic kyphosis, deg.	20.8 $\pm$ 11.8	30.5 $\pm$ 18.9	24.5 $\pm$ 10.2	0.143
Lumbar lordosis, deg.	29.9 $\pm$ 10.2	30.0 $\pm$ 11.9	29.0 $\pm$ 6.8	0.939
Sagittal index, mm	30.7 $\pm$ 31.0	54.5 $\pm$ 44.4	39.3 $\pm$ 28.3	0.164
Sit-and-reach test, cm	17.5 $\pm$ 6.7	-1.1 $\pm$ 13.8	-0.1 $\pm$ 8.9	< 0.001
Number of training sessions per week	5.4 $\pm$ 0.6	4.8 $\pm$ 0.7	–	0.027
Duration of training sessions, h.	4.8 $\pm$ 1.4	1.5 $\pm$ 0.6	–	< 0.001
<i>Criteria for non-normally distributed data (the Kruskal-Wallis test with exact p-values calculated via the Monte Carlo method), Me [Q_1; Q_3] (min-max)</i>				
Change in height during follow-up	6.4 [5.0; 10.6] (0.4-28.6)	6.1 [3.3; 13.1] (2.0-27.9)	7.3 [3.6; 10.2] (-4.2-18.7)	0.981
Weight, kg	38.0 [31.5; 44.6] (20.0-53.1)	47.9 [37.8; 51.3] (33.4-66.3)	46.1 [39.0; 54.4] (34.4-75.2)	< 0.001
Change in weight during follow-up	7.2 [4.0; 12.0] (0.2-25.1)	6.3 [3.6; 12.7] (0.0-20.4)	7.9 [5.3; 11.4] (-5.0-16.2)	0.825

lordosis, sagittal index, or ATI. As before treatment, patients in Group 1 demonstrated significantly higher flexibility than those in Groups 2 ($p < 0.001$) and 3 ($p < 0.001$).

The analysis of mean changes in parameters after treatment showed that the change in ATI was statistically significant only between Groups 1 and 3: $-6.57 \pm 6.05^\circ$ vs $+0.45 \pm 8.19^\circ$ ($p = 0.009$) and -2.81 ± 2.87 vs -0.23 ± 3.54 ($p = 0.023$), respectively. No intergroup differences were found in the mean changes of

kyphosis, lordosis, sagittal index, or flexibility ($p > 0.05$) (Table 3).

According to the nonparametric Kruskal-Wallis analysis, significant differences between the groups were observed in the change of Cobb angle during treatment ($H = 9.366$; $p = 0.007$). Post-hoc analysis using the Mann-Whitney test with Bonferroni correction revealed a statistically significant difference in the change of Cobb angle between Groups 1 and 3 ($p < 0.0167$). Differences between Groups 2 and 3 and between Groups 1

Table 2

Within-group analysis of conservative scoliosis treatment outcomes (paired t-test)

Parameter		Group 1 (n = 21)		Group 2 (n = 11)		Group 3 (n = 22)	
		M $\pm$ SD	p	M $\pm$ SD	p	M $\pm$ SD	p
Cobb angle, deg.	before treatment	22.33 $\pm$ 8.31	< 0.001	26.60 $\pm$ 12.57	0.284	25.36 $\pm$ 7.00	0.797
	after treatment	15.76 $\pm$ 7.94		23.60 $\pm$ 18.14		25.82 $\pm$ 7.97	
Thoracic kyphosis, deg.	before treatment	20.86 $\pm$ 11.80	0.873	30.55 $\pm$ 18.98	0.906	24.59 $\pm$ 10.22	0.207
	after treatment	20.57 $\pm$ 9.98		31.09 $\pm$ 12.68		27.05 $\pm$ 10.07	
Lumbar lordosis, deg.	before treatment	29.95 $\pm$ 10.21	0.705	30.00 $\pm$ 11.86	0.421	29.05 $\pm$ 6.86	0.540
	after treatment	29.05 $\pm$ 6.89		32.36 $\pm$ 9.16		29.95 $\pm$ 6.34	
Sagittal index, mm	before treatment	30.71 $\pm$ 31.04	0.213	54.55 $\pm$ 44.47	0.884	39.32 $\pm$ 28.30	0.762
	after treatment	38.57 $\pm$ 17.40		55.91 $\pm$ 29.22		40.91 $\pm$ 25.76	
ATI, deg.	before treatment	8.43 $\pm$ 4.08	< 0.001	9.09 $\pm$ 6.02	0.005	9.23 $\pm$ 4.06	0.767
	after treatment	5.62 $\pm$ 4.05		6.55 $\pm$ 5.93		9.00 $\pm$ 4.49	
Sit-and-reach test, cm	before treatment	17.52 $\pm$ 6.69	0.008	-1.09 $\pm$ 13.8	0.017	-0.11 $\pm$ 8.90	< 0.001
	after treatment	21.24 $\pm$ 5.38		4.00 $\pm$ 15.06		5.50 $\pm$ 8.80	

Table 3

Between-group analysis of conservative scoliosis treatment outcomes (one-way ANOVA with Tukey post-hoc test)

Parameter		Group 1 (n = 21)	Group 2 (n = 11)	Group 3 (n = 22)	ANOVA p	Tukey p Gr. 1–Gr. 2	Tukey p Gr. 1–Gr. 3	Tukey p Gr. 2–Gr. 3
Cobb angle, deg.	before treatment	22.33 $\pm$ 8.31	26.60 $\pm$ 12.57	25.36 $\pm$ 7.00	0.363	0.419	0.498	0.927
	after treatment	15.76 $\pm$ 7.94	23.60 $\pm$ 18.14	25.82 $\pm$ 7.97	0.009	0.140	0.008	0.846
Thoracic kyphosis, deg.	before treatment	20.86 $\pm$ 11.80	30.55 $\pm$ 18.98	24.59 $\pm$ 10.22	0.143	0.121	0.616	0.434
	after treatment	20.57 $\pm$ 9.98	31.09 $\pm$ 12.68	27.05 $\pm$ 10.07	0.024	0.027	0.122	0.559
Change of thoracic kyphosis		-0,29 $\pm$ 8,06	0.55 $\pm$ 14.98	2.45 $\pm$ 8.84	0.665	0.973	0.648	0.865
Lumbar lordosis, deg.	before treatment	29.95 $\pm$ 10.21	30.00 $\pm$ 11.86	29.05 $\pm$ 6.86	0.939	1.000	0.946	0.959
	after treatment	29.05 $\pm$ 6.89	32.36 $\pm$ 9.16	29.95 $\pm$ 6.34	0.465	0.435	0.910	0.637

End of Table 3

**Between-group analysis of conservative scoliosis treatment outcomes
(one-way ANOVA with Tukey post-hoc test)**

Parameter		Group 1 (n = 21)	Group 2 (n = 11)	Group 3 (n = 22)	ANOVA p	Tukey p Gr. 1– Gr. 2	Tukey p Gr. 1– Gr. 3	Tukey p Gr. 2– Gr. 3
Change of lumbar lordosis		-0.90±10.80	2.36±9.34	0.91±6.85	0.605	0.600	0.790	0.901
Sagittal index, mm	before treatment	30.71±31.04	54.55±44.47	39.32±28.30	0.164	0.139	0.672	0.432
	after treatment	38.57±17.40	55.91±29.22	40.91±25.76	0.134	0.130	0.944	0.209
Change in sagittal index		7.86±28.00	1.36±30.26	1.59±24.27	0.704	0.795	0.729	1.000
ATI, deg.	before treatment	8.43±4.18	9.09±6.32	9.23±4.06	0.842	0.922	0.839	0.997
	after treatment	5.62±4.15	6.55±6.22	9.00±4.49	0.068	0.861	0.061	0.350
Change in ATI		-2.81±2.87	-2.55±2.38	-0.23±3.54	0.019	0.971	0.022	0.114
Sit-and-reach test, cm	before treatment	17.52±6.86	1.09±14.48	-0.11±8.90	<0.001	<0.001	<0.001	0.959
	after treatment	21.24±5.51	4.00 ±15.79	5.50±8.80	<0.001	<0.001	<0.001	0.907
Change in flexibility		3.71±5.75	5.09 ±5.94	5.61±6.58	0.590	0.820	0.572	0.971

and 2 did not reach statistical significance after correction ($p > 0.0167$) (Table 4).

Furthermore, differences between groups were found in the proportion of cases with curve progression. Progression greater than 5°

was observed in only one (3.1%) athlete — an 18° increase (from 44 to 62°) — and in six (27.3%) patients from the non-athlete group. This difference was statistically significant ($p = 0.014$).

Table 4

**Comparison of groups by the magnitude of Cobb angle change during treatment
(post-hoc Mann-Whitney test with Bonferroni correction)**

Comparison	U	Z	p (uncorrected)	p (Bonferroni)	r (effect size)
Group 1 vs Group 3	370	3.38	< 0.001	0.0023	0.52 (medium to large)
Group 2 vs Group 3	164	1.64	0.105	0.314	0.29 (small to medium)
Group 1 vs Group 2	109	-0.26	0.812	1.000	0.05 (negligible)

DISCUSSION

The results of the present study demonstrated that the type of athletic activity influences the effectiveness of conservative therapy for AIS. Under a standardized PSSE (BSPTS Rigo) protocol and, when indicated, bracing, rhythmic gymnasts showed a marked reduction in the ATI and greater correction of the Cobb angle compared with patients not engaged in regular sports. Among swimmers, the decrease in Cobb angle did not reach statistical significance. However, their final thoracic kyphosis values were higher than those of the gymnasts. The proportion of curve progressions greater than 5° was lower

among athletes overall. These findings are consistent with current concepts of conservative scoliosis management and suggest that the biomechanical profile of training — asymmetrical and coordinative in rhythmic gymnastics versus predominantly symmetrical and cyclical in swimming — may interact differently with the mechanisms of PSSE and bracing [18, 20, 23].

Our observations align with contemporary evidence on the benefits of early, individualized, scoliosis-specific exercises (PSSE) [19, 20]. According to the literature, in adolescents with curves below 25°, PSSE can stabilize or reduce the deformity, while bracing combined with

PSSE is effective for more severe curvatures [11, 12, 13]. The more pronounced positive dynamics observed in rhythmic gymnasts are likely related to superior postural control and trunk coordination, inherent to the specific demands of this sport. The symmetrical nature of swimming loads exerts a lesser influence on the three-dimensional, including rotational and torsional, components of spinal deformity, which may explain the less pronounced frontal correction despite adherence to a comparable PSSE protocol.

Our findings are consistent with the observations of G. Bielec et al., who reported that standard school swimming lessons (45 minutes per week over 2 years; ~600 m per session) have little effect on most postural defects in adolescents and are only slightly associated with scoliosis regression compared with controls, without significant changes in growth or BMI. The authors emphasized the need for individualized training programs rather than “general” swimming. In our study, under a standardized protocol (PSSE (BSPTS Rigo) ± bracing), rhythmic gymnastics was associated with greater frontal correction (lower final Cobb angle and greater reduction; more pronounced decrease in ATI) compared with no regular sports participation. Among swimmers, the decrease in Cobb angle did not reach statistical significance, and final thoracic kyphosis values were higher than in gymnasts. These differences support Bielec et al.’s conclusion that symmetrical, cyclic loading in water alone does not replace a personalized, three-dimensional corrective program and, if performed with improper technique (e.g., unilateral breathing in freestyle), may contribute to asymmetry. Therefore, for swimmer athletes, PSSE should be complemented with targeted aquatic modules that modify stroke patterns and breathing under physiotherapist supervision [18].

Study limitations

The limitations of this study include its retrospective design, unequal group sizes (particularly the swimmers), incomplete control over the dose and adherence to both sports activity and PSSE/bracing, as well as the use of inclinometer and scoliometer measurements for some metrics instead of biplanar 3D assessment. Nevertheless, the use of a standardized

treatment protocol and comparability of baseline radiological parameters enhance the internal validity of the study.

CONCLUSION

The application of scoliosis-specific exercises according to the PSSE (BSPTS Rigo) concept, combined with appropriate bracing, achieves comparable clinical effectiveness regardless of the type of sport practiced. Comparison between rhythmic gymnastics and swimming showed similar outcomes in key corrective parameters when the PSSE protocol was followed. Potential differences were limited to secondary parameters and did not alter the overall trend. Therefore, training loads should be individualized according to age, growth stage, and risk of progression, and supplemented with defect-oriented PSSE elements.

DISCLAIMERS

Author contribution

Semenistaia M.Ch. — data acquisition, analysis and interpretation, literature search, drafting the manuscript.

Chongov B. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, editing the manuscript.

Semenistyy A.A. — study concept and design, data analysis, statistical data processing, editing the manuscript.

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

Funding source. Young Scientists Support Program, Medical University of Sofia.

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Prof. B. Boychev University Hospital for Orthopaedic, protocol No EK-3/24, 23.03.2024.

Consent for publication. Written consent was obtained from the legal representatives of children to participate in the study and publish the results.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

1. Kuznia A.L., Hernandez A.K., Lee L.U. Adolescent Idiopathic Scoliosis: Common Questions and Answers. *Am Fam Physician*. 2020;101(1):19-23.
2. Kikanloo S.R., Tarpada S.P., Cho W. Etiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Literature Review. *Asian Spine J*. 2019;13(3):519-526. doi: 10.31616/asj.2018.0096.
3. Mousavi L., Seidi F., Minoonejad H., Nikouei F. Prevalence of idiopathic scoliosis in athletes: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2022;8(3):e001312. doi: 10.1136/bmjsem-2022-001312.
4. Scaturro D., Costantino C., Terrana P., Vitagliani F., Falco V., Cuntrera D. et al. Risk Factors, Lifestyle and Prevention among Adolescents with Idiopathic Juvenile Scoliosis: A Cross Sectional Study in Eleven First-Grade Secondary Schools of Palermo Province, Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(23):12335. doi: 10.3390/ijerph182312335.
5. Negrini S., Donzelli S., Aulisa A.G., Czaprowski D., Schreiber S., de Mauroy J.C. et al. 2016 SOSORT guidelines: Orthopedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord*. 2018;13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8.
6. Gubskaya K.D., Lunina N.V. Risk factors for the development and progression of scoliosis in adolescent athletes in rhythmic gymnastics: a literature review. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*. 2022;3(3). (In Russian). doi: 10.51871/2782-6570_2022_01_03_4.
7. Tanchev P., Dikov D., Dzherov A., Parushev A., Zaharieva L., Todorov N. et al. School screening for scoliosis in Sofia: An analysis of screening results of 4800 students. *Ortop Trauma*. 1996;33(2):69-73.
8. Tanchev P.I., Dzherov A.D., Parushev A.D., Dikov D.M., Todorov M.B. Scoliosis in rhythmic gymnasts. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(11):1367-1372. doi: 10.1097/00007632-200006010-00008.
9. Gonen Aydin C., Oner A., Hekim H.H., Arslan A.S., Oztas D., Akman Y.E. The prevalence of scoliosis in adolescent swimmers and the effect of swimming on adolescent idiopathic scoliosis. *Turk J Sports Med*. 2020;55(3):200-206. doi: 10.5152/tjms.2020.176.
10. Zaina F., Donzelli S., Lusini M., Minnella S., Negrini S. Swimming and spinal deformities: a cross-sectional study. *J Pediatr*. 2015;166(1):163-167. doi: 10.1016/j.jpeds.2014.09.024.
11. Tsykunov M.B. Medical rehabilitation with scoliotic deformations. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018;17(4): 75-91. (In Russian).
12. Shavyrin I.A., Levkov V.Yu., Lobov A.N. The use of corrective chenot corset in the treatment of idiopathic scoliosis in children and adolescents. *Russian Medicine*. 2020;26(1):10-15. (In Russian). doi: 10.18821/0869-2106-2020-26-1-10-15.
13. Nikolaev V., Baranovskaia I., Andrievskaia A. Use of a functional correcting brace in treatment of patients with idiopathic scoliosis. *Genij Ortopedii*. 2016;1(1):44-47. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2016-1-44-47.
14. Seleviciene V., Cesnaviciute A., Strukcinskiene B., Marcinowicz L., Strazdiene N., Genowska A. Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercise Methodologies Used for Conservative Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis, and Their Effectiveness: An Extended Literature Review of Current Research and Practice. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(15):9240. doi: 10.3390/ijerph19159240.
15. Kaelin A.J. Adolescent idiopathic scoliosis: indications for bracing and conservative treatments. *Ann Transl Med*. 2020;8(2):28. doi: 10.21037/atm.2019.09.69.
16. Karavidas N., Tzatzaliaris D. Brace and Physiotherapeutic Scoliosis Specific Exercises (PSSE) for Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) treatment: a prospective study following Scoliosis Research Society (SRS) criteria. *Arch Physiother*. 2022;12(1):22. doi: 10.1186/s40945-022-00150-5.
17. Negrini A., Donzelli S., Vanossi M., Poggio M., Cordani C., Zaina F. et al. Sports participation reduces the progression of idiopathic scoliosis and the need for bracing. An observational study of 511 adolescents with Risser 0-2 maturation stage. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2023; 59(2):222-227. doi: 10.23736/S1973-9087.23.07489-0.
18. Bielec G., Peczak-Graczyk A., Waade B. Do swimming exercises induce anthropometric changes in adolescents? *Issues Compr Pediatr Nurs*. 2013;36(1-2):37-47. doi: 10.3109/01460862.2013.777818.
19. Muccio M., Atun-Einy O., Kafri M., Kaplan S.L. Bridging Motor Learning Principles with Physiotherapy Specific Scoliosis Exercises: a Perspective Article. *Phys Occup Ther Pediatr*. 2023;43(6):741-758. doi: 10.1080/01942638.2023.2186198.
20. Ayala F., Sainz de Baranda P., De Ste Croix M., Santonja F. Reproducibility and criterion-related validity of the sit and reach test and toe touch test for estimating hamstring flexibility in recreationally active young adults. *Phys Ther Sport*. 2012;13(4):219-226. doi: 10.1016/j.ptsp.2011.11.001.
21. Berdishevsky H., Lebel V.A., Bettany-Saltikov J., Rigo M., Lebel A., Hennes A. et al. Physiotherapy scoliosis-specific exercises – a comprehensive review of seven major schools. *Scoliosis Spinal Disord*. 2016;11:20. doi: 10.1186/s13013-016-0076-9.
22. Richards B.S., Bernstein R.M., D'Amato C.R., Thompson G.H. Standardization of criteria for adolescent idiopathic scoliosis brace studies: SRS Committee on Bracing and Nonoperative Management. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(18):2068-2075. doi: 10.1097/01.brs.0000178819.90239.d0.
23. Levkov V.Yu., Panyukov M.V., Andronova L.B., Lobov A.N., Tsoi S.V., Levkova T.V. et al. Conscious correction of scoliosis and posture disorders: scientific and practical guidance. Moscow: Sport; 2020. 144 p. (In Russian).

Authors' information

✉ Anton A. Semenistyy — Cand. Sci. (Med.)

Address: 15, Boulevard Acad. Ivan Geshov, Sofia, 1431, Bulgaria

<https://orcid.org/0000-0002-5412-6202>

eLibrary SPIN: 9574-7495

e-mail: an.semenistyy@gmail.com

Marianna Ch. Semenistaia

<https://orcid.org/0000-0002-1724-4760>

eLibrary SPIN: 9357-3700

e-mail: marianna.semenistaia@yahoo.com

Borislav Chongov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-4857-8624>

e-mail: borislav.chongov@nsa.bg



Корреляция анатомических особенностей вырезки лопатки с нейропатией надлопаточного нерва при повреждениях вращательной манжеты плеча: данные МР-диагностики

С.Ю. Доколин¹, О.Г. Ушкова², А.М. Шершнева¹, В.И. Кузьмина¹

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

² ООО «Центр клинической медицины “Эвкалипт”», г. Воронеж, Россия

Реферат

Актуальность. Нейропатия надлопаточного нерва в сочетании с массивными разрывами вращательной манжеты плеча представляет сложности при диагностике и лечении. Современные методы диагностики позволяют выявить неврологические нарушения достаточно точно, однако данная патология сочетает несколько патофизиологических механизмов. Рутинная МРТ позволяет оценить строение вырезки лопатки и предположить наличие нейропатии надлопаточного нерва.

Цель исследования — определить анатомические особенности строения вырезки лопатки по данным МРТ у пациентов с нейропатией надлопаточного нерва в сочетании с массивными разрывами вращательной манжеты плеча и их влияние на степень повреждения самих ротаторов, выраженность болевого синдрома и функциональные нарушения.

Материал и методы. В исследование были включены 19 пациентов с травматическими повреждениями сухожилий и мышц вращательной манжеты плеча в сочетании с клиническими признаками нейропатии надлопаточного нерва, в том числе 15 мужчин и 4 женщины. Средний возраст пациентов составил 58,7 года. Во время клинического осмотра пациенты заполняли стандартизированные шкалы-опросники: BAII, Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs (LANSS) и American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Assessment Form (ASES). Всем пациентам до и после операции были выполнены МРТ плеча для определения морфологических особенностей надлопаточной вырезки и электромиография (ЭНМГ) для диагностики нарушений проведения импульса в зоне иннервации надлопаточного нерва.

Результаты. Нейропатия надлопаточного нерва при повреждениях вращательной манжеты плеча чаще встречается у пациентов с глубокой и относительно узкой U-образной вырезкой лопатки при задневерхних разрывах данных сухожилий — надостной и подостной мышц (тип D по классификации Collin) в сочетании с выраженной ретракцией этих сухожилий (3-я степень по классификации Patte). По данным ЭНМГ у всех пациентов были выявлены признаки нарушения проведения импульса в зоне иннервации надлопаточного нерва в виде изменения М-ответа от надостной и подостной мышц. Анализ показал, что как тип морфологии вырезки, так и массивность разрыва являются статистически значимыми предикторами функционального состояния по шкале ASES. При этом морфология вырезки продемонстрировала несколько большее значение в прогнозировании функциональных ограничений.

Заключение. Выявленная сильная корреляция между типом строения вырезки лопатки и тяжестью разрыва вращательной манжеты плеча подтверждает гипотезу о том, что узкая вырезка создает неврологические предпосылки для формирования хронической боли и нарушения иннервации мышц вращательной манжеты плеча. Это следует учитывать при разработке алгоритмов диагностики и лечения пациентов с данной патологией.

Ключевые слова: нейропатия надлопаточного нерва; разрыв вращательной манжеты; надлопаточная вырезка.

Для цитирования: Доколин С.Ю., Ушкова О.Г., Шершнева А.М., Кузьмина В.И. Корреляция анатомических особенностей вырезки лопатки с нейропатией надлопаточного нерва при повреждениях вращательной манжеты плеча: данные МР-диагностики. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):120-129. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17748>.

✉ Ушкова Оксана Геннадьевна; e-mail: ushkovaoksana@yandex.ru

Рукопись получена: 25.07.2025. Рукопись одобрена: 12.11.2025. Статья опубликована: 28.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Correlation of Suprascapular Notch Morphology with Suprascapular Neuropathy and Rotator Cuff Tear Patterns: MRI Data

Sergei Yu. Dokolin¹, Oksana G. Ushkova², Andrey M. Shershnev¹, Vladislava I. Kuzmina¹

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

² Eucalyptus Clinical Medicine Center, Voronezh, Russia

Abstract

Background. Suprascapular nerve neuropathy combined with massive rotator cuff tears presents significant challenges in both diagnosis and treatment. Modern diagnostic methods allow for sufficiently accurate detection of neurological impairments. This condition involves several pathophysiological mechanisms. Routine MRI enables the assessment of the morphology of the scapular notch and allows clinicians to suspect suprascapular nerve neuropathy.

The aim of the study — to identify the anatomical features of the scapular notch on MRI in patients with suprascapular nerve neuropathy combined with massive rotator cuff tears, and to assess their impact on the extent of rotator damage, the severity of pain, and functional impairment.

Methods. The study included 19 patients with traumatic injuries of the rotator cuff tendons and muscles combined with the clinical signs of suprascapular nerve neuropathy, including 15 men and 4 women. The mean patient age was 58.7 years. During the clinical examination, patients completed standardized questionnaires: VAS, the Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs (LANSS), and ASES. All patients underwent pre- and postoperative shoulder MRI to assess the morphological features of the suprascapular notch, as well as electromyography (EMG) to diagnose conduction impairments within the suprascapular nerve innervation zone.

Results. Suprascapular nerve neuropathy in patients with rotator cuff injuries is more commonly observed in those with a deep and relatively narrow U-shaped scapular notch, particularly in the presence of posterosuperior tears of the supraspinatus and infraspinatus tendons (Collin type D), combined with pronounced tendon retraction (Patte grade 3). EMG revealed impaired impulse conduction within the suprascapular nerve innervation zone in all patients, demonstrated by altered M-responses from the supraspinatus and infraspinatus muscles. The analysis showed that both the morphology type of the notch and the extent of the tear were statistically significant predictors of functional status as assessed by the ASES score. Notably, the morphology of the notch showed a slightly greater contribution to predicting functional limitations.

Conclusion. The strong correlation identified between the morphology of the scapular notch and the severity of rotator cuff tears supports the hypothesis that a narrow notch creates neurological preconditions for the development of chronic pain and impaired innervation of the rotator cuff muscles. This should be taken into account when developing diagnostic and treatment algorithms for patients with this pathology.

Keywords: suprascapular nerve neuropathy; rotator cuff tear; suprascapular notch.

Cite as: Dokolin S.Yu., Ushkova O.G., Shershnev A.M., Kuzmina V.I. Correlation of Suprascapular Notch Morphology with Suprascapular Neuropathy and Rotator Cuff Tear Patterns: MRI Data. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):120-129. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17748>.

✉ Oksana G. Ushkova; e-mail: ushkovaoksana@yandex.ru

Submitted: 25.07.2025. Accepted: 12.11.2025. Published: 28.11.2025.

ВВЕДЕНИЕ

Ущемление надлопаточного нерва до недавнего времени считалось редкой патологией, встречающейся в основном у спортсменов [1]. Сдавление надлопаточного нерва часто возникает вследствие различных причин и приводит к нарушению функции конечности, мышечной атрофии и появлению нейропатической боли [2]. В настоящее время в связи с совершенствованием диагностических методов, а также с более углубленным пониманием биомеханики и патофизиологии плечевого сустава данная патология считается достаточно частой причиной развития боли в области плеча [3, 4, 5].

Компрессионные повреждения надлопаточного нерва могут сочетаться с травматическим разрывом вращательной манжеты плечевого сустава. Клинические исследования показали, что признаки нейропатии надлопаточного нерва имеют место у 30% пациентов с массивными повреждениями вращательной манжеты плеча и способствуют развитию у них болевого синдрома и мышечной атрофии [6, 7]. Существует предположение о том, что сократившиеся в результате полнослойного разрыва сухожильная и мышечная части задневерхнего отдела вращательной манжеты могут способствовать сдавлению надлопаточного нерва в вырезке лопатки и развитию стойкого неврологического болевого синдрома в плече, сохраняющегося и после артроскопической реконструкции [8].

Надостная ямка представляет собой вогнутую полость, нижней стенкой которой является ость лопатки, а латеральной границей — акромион [9]. Она шире в медиальном направлении и уже в латеральном; 2/3 медиальной части заполнены брюшком надостной мышцы. Надлопаточная вырезка, расположенная на верхнем крае лопатки, отделяет ее от клювовидного отростка. Верхняя поперечная связка лопатки, расположенная над вырезкой, прикрепляется к основанию клювовидного отростка, формируя отверстие, через которое проходит надлопаточный нерв. S.S. Rengachary с соавторами выделили шесть типов строения надлопаточной вырезки, причем при VI типе отмечается полное окостенение верхней поперечной связки лопатки [10].

Зачастую диагноз «нейропатия надлопаточного нерва» выставляется с запозданием, в ходе более углубленного обследования пациентов, особенно после неудачных оперативных вмешательств на вращательной манжете плеча [11]. Диагностика нейропатии надлопаточного нерва должна включать клинический осмотр [12], данные ЭНМГ и МР-исследования [13, 14, 15].

Цель исследования — определить анатомические особенности строения вырезки лопатки по данным МРТ у пациентов с нейропатией надлопа-

точного нерва в сочетании с массивными разрывами вращательной манжеты плеча и их влияние на степень повреждения самих ротаторов, выраженность болевого синдрома и функциональные нарушения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое проспективное исследование на базе ООО «Центр клинической медицины “Эвкалипт”» (г. Воронеж).

Критерии включения:

- наличие жалоб на боль в области лопатки;
- наличие полного объема пассивных движений;
- наличие полнослойного разрыва сухожилия надостной мышцы, а также частичных или полных разрывов сухожилий подостной и подлопаточной мышц;
- отсутствие предшествующего оперативного лечения на пораженном плече;
- отсутствие положительного эффекта от консервативного лечения;
- наличие потенциально восстанавливаемых разрывов вращательной манжеты (степень жировой дегенерации по Goutallier — не более 3-й).

Критерии невключения:

- предшествующие оперативные вмешательства на этом плечевом суставе;
- наличие адгезивного капсулита;
- наличие ревматологических заболеваний.

Пациенты

В исследование вошли 19 пациентов: 15 мужчин и 4 женщины, средний возраст — 58,7 года. Срок, прошедший с момента получения травмы до операции, варьировал от 3 нед. до 10 мес., в среднем — 5,1 мес. Средний показатель активного сгибания — 105,79°, активного отведения — 63,94°, наружной ротации — 14,73°.

Методы исследования

Во время клинического осмотра пациенты заполняли стандартизированные шкалы-опросники: визуально-аналоговую шкалу (ВАШ), Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs (LANSS) [16] и American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Assessment Form (ASES) [17].

МРТ плечевого сустава проводилась до и после операции на томографе Philips MR 5300 1,5 Тл (Нидерланды). Толщина срезов составляла 3 мм. МРТ проводилась с использованием стандартных протоколов в аксиальной, косо-сагиттальной и косо-корональной проекциях, с помощью которых были получены: импульсные последовательности в T1- и T2-взвешенных изображениях в режиме градиентного эха (FFE T2W), изображения, взвешенные по протонной плотности

(TSE PDW), а также с использованием подавления сигнала от жировой ткани (TSE PD SPAIR). При этом в косо-коронарной плоскости угол блока срезов в аксиальной плоскости проходил параллельно линии, соединяющей центр суставного отростка лопатки и центр головки плечевой кости, или вдоль сухожилия надостной мышцы. В сагиттальной плоскости срезы проходили параллельно подлопаточной и надостной мышцам. Ориентация была произведена по суставному отростку лопатки, а не по плечевой кости. Срезы захватывали всю область плечевого сустава от клювовидного отростка лопатки и на два среза сзади от головки плеча.

Морфологические особенности надлопаточной вырезки анализировались в косо-коронарной плоскости на T2-взвешенных изображениях, полученных в режиме турбо-спиновой эха (T2-TSE) с ориентацией срезов, строго перпендикулярной длинной оси тела лопатки. Такая ориентация позволяет избежать артефактов косого среза и обеспечивает достоверную оценку морфометрии надлопаточной вырезки. Визуализация непосредственно надлопаточного нерва (ввиду его малых размеров) в цели исследования не входила. Также оценивали конфигурацию разрыва вращательной манжеты плеча по количеству поврежденных сухожилий (одно, два или три), типу разрыва по Collin [18], степени жировой дегенерации по Goutallier [19], степени ретракции по Patte [20], а также тип строения надлопаточной вырезки по Rengachary [10].

Для подтверждения диагноза «нейропатия» всем пациентам была выполнена электронейромиография (ЭНМГ) на аппарате Нейрон-Спектр-5 (Россия) для выявления нарушений проведения импульса в зоне иннервации надлопаточного нерва. Исследование включало оценку скорости проведения импульса по двигательным волокнам к надостной и подостной мышцам, анализ параметров М-ответа (амплитуда, форма, длительность) и оценку активности при произвольном усилии (наличие признаков денервации — фибрилляций, положительных острых волн, потенциалов фасцикуляций). Диагноз «нейропатия» устанавливался при увеличении латентности, снижении амплитуды М-ответа и/или наличии признаков денервации в исследуемых мышцах.

Статистический анализ

Статистический анализ был направлен на выявление и количественную оценку взаимосвязей между анатомическим строением надлопаточной вырезки, структурными повреждениями вращательной манжеты плеча с болевым синдромом

и функциональными нарушениями с помощью стандартизированных шкал ВАШ, LANSS и ASES.

Проверка распределения количественных переменных на нормальность проводилась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Учитывая малый объем выборки ($n = 19$) и отсутствие нормального распределения в исследуемой группе, для описания количественных переменных использовались медиана (Me) и межквартильный размах [Q_1 ; Q_3]. Качественные переменные описывались абсолютными значениями и процентами.

Для анализа взаимосвязей между порядковыми и количественными переменными применялся непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ). Для оценки силы корреляционной связи применяли шкалу Чеддока, согласно которой корреляция может быть слабой (0,1–0,3), умеренной (0,3–0,5), заметной (0,5–0,7), высокой (0,7–0,9) и весьма высокой/сильной (0,9–1,0). Для проверки статистической значимости ассоциаций между категориальными переменными в таблицах сопряженности с учетом малого объема выборки (ожидаемые частоты в ячейках менее 5) применялся точный критерий Фишера–Фримана–Холтона. Для сравнения количественных показателей между тремя и более независимыми группами (между типами по Rengachary) использовался непараметрический критерий Краскела–Уоллиса с последующим апостериорным анализом с помощью теста Данна с поправкой Бонферрони на множественные сравнения.

Учитывая малый объем выборки ($n = 19$), для оценки связи каждого отдельного предиктора с функциональным исходом по шкале ASES был выполнен однофакторный регрессионный анализ.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения R (v.4.3.1) и пакетов rstatix, dunn.test, coin. Уровень статистической значимости для всех тестов был установлен на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ данных МРТ у пациентов с нейропатией надлопаточного нерва в сочетании с разрывами вращательной манжеты плеча показал, что у 2 пациентов было повреждено одно сухожилие, у 8 пациентов — два сухожилия (надостной и подостной мышц), у 9 пациентов — три сухожилия (надостной, подостной и подлопаточной мышц). Варианты строения вырезки лопатки, типы и характер повреждения сухожилий вращательной манжеты плеча по данным МРТ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты МРТ-исследования пациентов

Классификация	Тип/степень (количество пациентов)					
Тип строения вырезки лопатки по Rengachary	I (5)	II (3)	III (9)	IV (2)	V (0)	VI (0)
Степень ретракции по Patte	1 (3)	2 (6)	3 (10)	–	–	–
Степень жировой дегенерации по Goutallier	1 (4)	2 (8)	3 (7)	4 (0)	–	–
Тип разрыва вращательной манжеты по Collin	A (3)	B (0)	C (5)	D (7)	E (4)	–

Таким образом, нейропатия надлопаточного нерва в сочетании с разрывами вращательной манжеты плеча чаще встречается при типе III строения вырезки лопатки по Rengachary, 3-й степени ретракции по Patte, 2-й степени жировой дегенерации по Goutallier, при типе разрыва D по Collin, то есть при задневерхних разрывах вращательной манжеты плеча. В нашем исследовании

нам не встретились частично или полностью окостеневшие поперечные связки лопатки.

В ходе исследования была установлена корреляция морфологии надлопаточной вырезки с патологией надлопаточного нерва и структурой повреждений вращательной манжеты. На рисунке 1 представлены примеры различных типов надлопаточной вырезки по Rengachary.

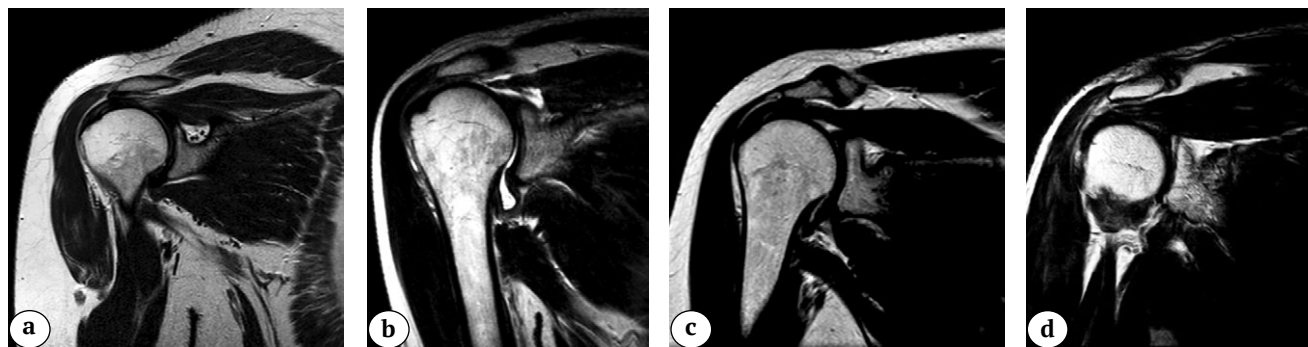


Рисунок 1. Примеры типов надлопаточной вырезки по классификации Rengachary:

a — тип I; b — тип II; c — тип III; d — тип IV; область надлопаточной вырезки оценивали в косо-коронарной проекции в режиме T2 TSE

Figure 1. Anatomical variations of the scapular notch, according to the Rengachary classification:

a — type I; b — type II; c — type III; d — type IV; the scapular notch area was assessed in the oblique coronal view using T2 TSE mode

По данным ЭНМГ у всех пациентов были выявлены признаки нарушения проведения импульса в зоне иннервации надлопаточного нерва в виде изменения М-ответа от надостной и подостной мышц — увеличение латентности и снижение амплитуды М-ответа.

Статистический анализ выявил наличие сильной положительной связи между типом строения вырезки по Rengachary и типом разрыва по Collin: коэффициент корреляции Спирмена составил $\rho = +0,72$; $p < 0,001$. Эта сильная корреляционная связь демонстрирует, что наличие неврологической патологии взаимосвязано с неблагоприятным типом строения вырезки лопатки (тип III), при этом статистически значимо ассоциировано с более тяжелым типом повреждения вращательной манжеты.

Анализ таблицы сопряженности показал четкую закономерность распределения: у пациентов с типом I по Rengachary преобладали изолирован-

ные разрывы типа A; у пациентов с типом III по Rengachary доминировали массивные разрывы типов C и D по Collin (табл. 2).

По результатам применения точного критерия Фишера–Фримана–Холтона выявленные различия в распределении оказались статистически значимыми ($p = 0,021$).

Статистический анализ также выявил сильную положительную корреляцию между типом строения вырезки по Rengachary и интенсивностью боли по ВАШ, а также сильную отрицательную связь с функциональной шкалой ASES, что свидетельствует о более выраженной боли и худшей функции у пациентов с неблагоприятной морфологией вырезки (тип III) (табл. 3).

Сравнение показателей функциональных шкал между группами с разным типом строения надлопаточной вырезки выявило статистически значимые различия (табл. 4).

Таблица 2

Корреляция между типом строения надлопаточной вырезки по Rengachary и типом разрыва вращательной манжеты по Collin

Тип по Rengachary	Тип по Collin				
	A	B	C	D	Всего
I	4 (80%)	1 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)
II	4 (40%)	3 (30%)	2 (20%)	1 (10%)	10 (100%)
III	0 (0%)	1 (25%)	2 (50%)	1 (25%)	4 (100%)
Всего	8 (42%)	5 (26%)	4 (21%)	2 (11%)	19 (100%)

Таблица 3

Корреляция типа надлопаточной вырезки по Rengachary с функциональными показателями и степенью болевого синдрома

Шкала	Коэффициент Спирмена (ρ)	Уровень значимости (p)	Интерпретация (по Чеддоку)
ВАШ	+0,65	< 0,001	Заметная
LANSS	+0,48	0,002	Умеренная
ASES	-0,71	< 0,001	Высокая отрицательная

Таблица 4

Корреляция показателей функциональных шкал с типом строения надлопаточной вырезки, $Me [Q_1; Q_3]$

Тип по Rengachary	ВАШ	LANSS	ASES
Тип I ($n = 5$)	3,0 [2,0; 4,0]	4,0 [3,0; 6,0]	85,0 [76,0; 89,0]
Тип II ($n = 10$)	6,0 [5,0; 7,0]	8,0 [5,8; 10,0]	66,5 [58,8; 74,0]
Тип III ($n = 4$)	7,5 [7,0; 8,0]	12,5 [10,0; 16,0]	47,5 [41,0; 56,8]
p -критерий (Краскела – Уоллиса)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Апостериорный анализ с поправкой Данна показал, что статистически значимые различия по шкалам ВАШ и ASES наблюдаются между типами I и II, а также между типами I и III. По шкале LANSS значимые различия выявлены между типами I и III.

Корреляция между типом разрыва по Collin и показателями боли представлена в таблице 5.

Для определения связи отдельных предикторов с функциональным результатом (общий балл по ASES) был проведен однофакторный регрессионный анализ (табл. 6).

Таблица 5

Корреляция типа разрыва по Collin с болевым синдромом

Шкала	Коэффициент Спирмена (ρ)	Уровень значимости (p)	Интерпретация (по Чеддоку)
ВАШ	+0,58	< 0,001	Заметная
LANSS	+0,52	< 0,001	Заметная
ASES	-0,63	< 0,001	Заметная отрицательная

Таблица 6

Связь предикторов с функциональным исходом (шкала ASES) по данным однофакторного регрессионного анализа

Предиктор	Коэффициент β (стандартизованный)	p -критерий	Интерпретация
Тип по Rengachary	-0,71	< 0,001	Статистически значимый
Тип по Collin	-0,63	< 0,001	Статистически значимый
Возраст	-0,29	0,23	Незначимый

Анализ подтвердил, что как тип морфологии вырезки по Rengachary, так и массивность разрыва по классификации Collin являются статистически значимыми предикторами функционального состояния по шкале ASES. При этом морфология вырезки продемонстрировала несколько больший вес в прогнозировании функциональных ограничений.

Эти результаты подтверждают, что более массивные разрывы вращательной манжеты статистически значимо ассоциированы с большей интенсивностью боли, более выраженным нейропатическим компонентом и значительными функциональными ограничениями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дополнительная диагностика нейропатии надлопаточного нерва в сочетании с разрывом вращательной манжеты плеча остается непростой задачей в связи с многофакторностью данного заболевания. За последние 5 лет опубликованы результаты нескольких исследований, в которых описаны варианты МРТ-диагностики и особенности анатомии надлопаточной вырезки. Результаты проведенного нами исследования о взаимосвязи типа и тяжести повреждения сухожилий вращательной манжеты с типом строения вырезки лопатки во многом схожи с результатами, полученными другими авторами [21, 22, 23, 24]. Например, S. Saran с соавторами также утверждают, что область надлопаточной вырезки — важная зона, и патологии, затрагивающие ее содержимое, могут влиять на функцию плечевого сустава [21]. Знание особенностей анатомического строения данной области может значительно помочь при постановке диагноза.

Результаты нашего исследования во многом совпадают с данными A. Al-Redouan с соавторами, которые описали пять морфологических типов строения надлопаточной вырезки по отношению глубины к ширине и корреляцию с нейропатией надлопаточного нерва. Наибольшему риску нейропатии надлопаточного нерва также подвержены пациенты с узкой и глубокой вырезкой. Авторы считают, что ультразвуковой метод позволяет более точно оценить объем области вырезки лопатки данной зоны, чего МРТ не позволяет сделать, при этом метод УЗИ считается более зависимым от исследователя, чем МРТ [22].

На необходимость учитывать морфологическое строение лопатки указывали J. Park с соавторами, предложив определять по данным МРТ площадь поперечного сечения надлопаточной вырезки, которая, по их данным, может быть хорошим диагностическим параметром для оценки нейропатии надлопаточного нерва [23]. В свою очередь, для определения наличия нейропатии надлопаточного нерва по данным МРТ J. Cho с соавторами

предложили использовать площадь поперечного сечения подостной мышцы, утверждая, что данный метод является достаточно точным и значимым [25]. К.С. Noh с соавторами также подтвердили, что узкая или окостеневшая надлопаточная вырезка является predisposing фактором возникновения нейропатии надлопаточного нерва: у пациентов с типом VI по Rengachary поперечный диаметр вырезки был наименьшим, соответственно, риск нейропатии надлопаточного нерва был выше, чем при других типах [24].

Несмотря на диагностическую ценность МРТ в комплексной оценке патологии плечевого сустава, этот метод имеет ряд существенных ограничений при детальном изучении костной анатомии надлопаточной вырезки. По сравнению с КТ-исследованием (возможность 3D-реконструкции) МРТ-диагностика дает ограниченное пространственное разрешение для костных структур, может недостаточно точно отображать тонкие костные перегородки, частичное окостенение связки или сложную геометрию вырезки лопатки. Также неточная установка плоскости сканирования приводит к получению косых срезов, которые искажают истинную форму, глубину и ширину вырезки, делая измерения недостоверными и затрудняя корректную классификацию по анатомическим типам [26, 27].

На наш взгляд, требуется комплексная оценка результатов обследования пациентов с данной патологией, включающая подробный клинический осмотр, МРТ и ЭНМГ, а также проведение КТ и УЗИ для уточнения данных МРТ.

Ограничения исследования

Исследование основано на малой выборке пациентов ($n = 19$). Также встречалось малое количество случаев надлопаточной вырезки типа IV и совсем не встречались типы V и VI, редко встречалось сочетание с разрывом вращательной манжеты типов D и E, что ограничивает возможность получения полноценных выводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нейропатия надлопаточного нерва в сочетании с восстановимыми разрывами вращательной манжеты плеча чаще встречается у пациентов, имеющих глубокую и относительно узкую U-образную вырезку лопатки при задневерхних разрывах сухожилий надостной и подостной мышц (тип D по Collin) в сочетании с выраженной ретракцией данных сухожилий (3-я степень по Patte). Статистический анализ подтверждает существование комплексных взаимосвязей между анатомическим строением, структурными повреждениями и клиническими проявлениями, что должно учитываться при разработке индивидуализирован-

ных алгоритмов диагностики и лечения пациентов с патологией вращательной манжеты плеча. Морфология надлопаточной вырезки является одной из важных предпосылок патологии — сильная корреляция между типом строения и тяжестью разрыва вращательной манжеты плеча подтверждает патофизиологическую гипотезу о том, что узкая вырезка лопатки создает неврологические предпосылки для формирования хронической

боли и нарушения иннервации мышц вращательной манжеты плеча. Выявленная корреляция боли и нейропатического компонента свидетельствует о сложном характере болевого синдрома при данной патологии. Результаты исследования убедительно демонстрируют, что оценка типа надлопаточной вырезки должна являться обязательным компонентом диагностического алгоритма у пациентов с патологией вращательной манжеты плеча.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Доколин С.Ю. — научное руководство, концепция и дизайн исследования.

Ушкова О.Г. — участие в лечении пациентов, сбор, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Шершнева А.М. — участие в лечении пациентов, сбор, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Кузьмина В.И. — участие в лечении пациентов, сбор, анализ и интерпретация данных.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

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

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Dokolin S.Yu. — scientific guidance, study concept and design.

Ushkova O.G. — treatment of patients, data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

Shershnev A.M. — treatment of patients, data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

Kuzmina V.I. — treatment of patients, data acquisition, analysis and interpretation.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Sandler A.B., Wells M.E., Tran C., Arakawa R., Klahs K.J., Scanaliato J.P. et al. High rates of return to sport after suprascapular nerve decompression: an updated systematic review. *JSES Rev Rep Tech.* 2024;4(4): 654-661. doi: 10.1016/j.xrrt.2024.05.007.
2. Гиниятов А.Р., Егиазарян К.А., Тамазян В.О., Ратьев А.П., Повалий А.А. Эффективность релиза надлопаточного нерва при артроскопическом выполнении шва в случаях посттравматического разрыва сухожилия надостной мышцы. *Политравма.* 2024;(2):16-25. doi: 10.24412/1819-1495-2024-2-16-25. Giniyatov A.R., Egiazaryan K.A., Tamazyan V.O., Ratiev A.P., Povaliy A.A. Efficiency of release of supraspinatus nerve during arthroscopic repair in posttraumatic rupture of the supraspinal muscle tendon. *Polytrauma.* 2024;(2):16-25. (In Russian). doi: 10.24412/1819-1495-2024-2-16-25.
3. Чирков Н.Н., Яковлев В.Н., Алексеева А.В., Андронников Е.А., Емельянов В.Ю. Хирургическое лечение невосстановимых массивных повреждений вращательной манжеты плечевого сустава. *Гений Ортопедии.* 2022;28(1):12-17. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-12-17. Chirkov N.N., Yakovlev V.N., Alekseeva A.V., Andronnikov E.A., Emelyanov V.Yu. Surgical treatment of irreparable massive injuries of the rotator cuff of the shoulder joint. *Genij Ortopedii.* 2022;28(1):12-17. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-12-17.
4. Leider J.D., Derise O.C., Bourdreaux K.A., Dierks G.J., Lee C., Varrassi G. et al. Treatment of suprascapular nerve entrapment syndrome. *Orthop Rev (Pavia).* 2021;13(2):25554. doi: 10.52965/001c.25554.

5. Денисова А.Ю., Галов А.А., Данилов А.В., Наркевич А.Н., Серова Е.В. Сравнительный анализ клинических результатов применения шва вращательной манжеты плеча в зависимости от способа фиксации сухожилия. *Гений ортопедии*. 2022;28(1):18-23. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-18-23. Denisova A., Galov A., Danilov A., Narkevich A., Serova E. Comparative analysis of clinical outcomes of rotator cuff sutures and their dependence on the methods of cuff fixation. *Genij Ortopedii*. 2022;28(1):18-23. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-18-23.
6. Albritton M.J., Graham R.D., Richards R.S. 2nd, Basamania C.J. An anatomic study of the effects on the suprascapular nerve due to retraction of the supraspinatus muscle after a rotator cuff tear. *J Shoulder Elbow Surg*. 2003;12(5):497-500. doi: 10.1016/s1058-2746(03)00182-4.
7. Кубашев А.А., Лазко Ф.Л., Беляк Е.А., Призов А.П., Ломтатидзе Е.Ш. Опыт артроскопического лечения массивного повреждения вращательной манжеты плеча у пожилых пациентов. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2014;21(4):67-69. doi: 10.17816/vto20140467-69. Kubashev A.A., Lazko F.L., Belyak E.A., Prizov A.P., Lomtadize E.S. Experience in Arthroscopic Treatment of Massive Rotator Cuff Injuries in Elderly Patients. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(4):67-69. (In Russian). doi: 10.17816/vto20140467-69.
8. MaUon W.J., Wilson R.J., Basamania C.J. The association of suprascapular neuropathy with massive rotator cuff tears: a preliminary report. *J Shoulder Elbow Surg*. 2006;15:395-398. doi: 10.1016/j.jse.2005.10.019.
9. Saran S., Shirodkar K., Gavvala S.N., Evans S., Iyengar K.P., Jevalle D.G. et al. Supraspinous Fossa: Anatomy and Pathology. *Indian J Radiol Imaging*. 2024;35(1):139-147. doi: 10.1055/s-0044-1787667.
10. Rengachary S.S., Burr D., Lucas S., Hassanein K.M., Mohn M.P., Matzke H. Suprascapular entrapment neuropathy: a clinical, anatomical, and comparative study. Part 2: anatomical study. *Neurosurgery*. 1979;5(4):447-451. doi: 10.1227/00006123-197910000-00007.
11. Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Марченко И.В., Бельх О.А., Найда Д.А. Артроскопический шов больших и массивных разрывов вращательной манжеты плечевого сустава: клинические результаты и данные МРТ. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(3):53-68. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-53-68. Dokolin S.Yu., Kuz'mina V.I., Marchenko I.V., Belykh O.A., Naida D.A. Arthroscopic Repair of Large and Massive Rotator Cuff Tears: Clinical Outcomes and Postoperative MRI Findings. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(3):53-68. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-53-68.
12. Nolte P.C., Woolson T.E., Elrick B.P., Tross A.K., Horan M.P., Godin J.A. et al. Clinical Outcomes of Arthroscopic Suprascapular Nerve Decompression for Suprascapular Neuropathy. *Arthroscopy*. 2021;37(2):499-507. doi:10.1016/j.arthro.2020.10.020.
13. Arce G., Calvo A., Golano P. Suprascapular Nerve Release: Technique Based on Anatomic Landmarks. *Arthrosc Tech*. 2021;10(2):e469-e473. doi: 10.1016/j.eats.2020.10.023.
14. Lafosse L., Tomasi G., Corbett S., Baier G., Willems K., Gobeze R. Arthroscopic release of suprascapular nerve entrapment at the suprascapular notch: technique and preliminary results. *Arthroscopy*. 2007;23(1):34-42. doi: 10.1016/j.arthro.2006.10.003.
15. Sachinis N.P., Papagiannopoulos S., Sarris I., Papadopoulos P. Outcomes of Arthroscopic Nerve Release in Patients Treated for Large or Massive Rotator Cuff Tears and Associated Suprascapular Neuropathy: A Prospective, Randomized, Double-Blinded Clinical Trial. *Am J Sports Med*. 2021;49(9):2301-2308. doi: 10.1177/03635465211021834.
16. Юсупова Д.Г., Супонева Н.А., Зимин А.А., Зайцев А.Б., Bennett M., Белова Н.В. и др. Валидация Лидской шкалы оценки нейропатической боли (LANSS) в России. *Нервно-мышечные болезни*. 2018;8(3):43-50. doi: 10.17650/2222-8721-2018-8-3-43-50. Yusupova D.G., Suponeva N.A., Zimin A.A., Zaytsev A.B., Bennett M., Belova N.V. et al. Validation of the Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs Pain Scale (LANSS) in Russia. *Neuromuscular Diseases*. 2018;8(3):43-50. doi: 10.17650/2222-8721-2018-8-3-43-50.
17. Ильин Д.О., Макарьева О.В., Макарьев М.Н., Логвинов А.Н., Магнитская Н.Е., Рязанцев М.С. и др. Кросс-культурная адаптация и валидация стандартизированной шкалы American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES). *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):116-126. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126. Il'in D.O., Makarieva O.V., Makariev M.N., Logvinov A.N., Magnitskaya N.E., Ryazantsev M.S. et al. American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Assessment Form: Russian Cross-Cultural Adaptation and Validation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):116-126. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-116-126.
18. Lädermann A., Denard P.J., Collin P. Massive rotator cuff tears: definition and treatment. *Int Orthop*. 2015;39(12):2403-2414. doi: 10.1007/s00264-015-2796-5.
19. Goutallier D., Postel J.M., Gleyze P., Leguilloux P., Van Driessche S. Influence of cuff muscle fatty degeneration on anatomic and functional outcomes after simple suture of full-thickness tears. *J Shoulder Elbow Surg*. 2003;12(6):550-554. doi: 10.1016/s1058-2746(03)00211-8.
20. Patte D. Classification of rotator cuff lesions. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;254:81-86.
21. Saran S., Shirodkar K., Gavvala S.N., Evans S., Iyengar K.P., Jevalle D.G. et al. Supraspinous Fossa: Anatomy and Pathology. *Indian J Radiol Imaging*. 2024;35(1):139-147. doi: 10.1055/s-0044-1787667.
22. Al-Redouan A., Hudak R., Nanka O., Kachlik D. The morphological stenosis pattern of the suprascapular notch is revealed yielding higher incidence in the discrete type and elucidating the inevitability of osteoplasty in horizontally oriented stenosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(7):2272-2280. doi: 10.1007/s00167-020-06168-1.
23. Park J., Su M.Y., Kim Y.U. Accuracy of suprascapular notch cross-sectional area by MRI in the diagnosis of suprascapular nerve entrapment syndrome: a retrospective pilot study. *Korean J Anesthesiol*. 2022;75(6):496-501. doi: 10.4097/kja.22153.
24. Noh K.C., Lee S., Park C.W., Bai H., Kim J.Y. Three-Dimensional Morphological Analysis of the Suprascapular Notch in Patients with Arthroscopic Rotator Cuff Repair. *Clin Orthop Surg*. 2024;16(4):586-593. doi: 10.4055/cios24013.

25. Cho J., Yi J., Kim H., Moon S., Choi W., Kang K.N. et al. Diagnosis of suprascapular nerve entrapment syndrome based on the infraspinatus muscle cross-sectional area on shoulder MRI. *Medicine (Baltimore)*. 2024;103(29):e39066. doi: 10.1097/MD.00000000000039066.
26. Albino P., Carbone S., Candela V., Arceri V., Vestri A.R., Gumina S. Morphometry of the suprascapular notch: correlation with scapular dimensions and clinical relevance. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14:172. doi: 10.1186/1471-2474-14-172.
27. Chan C.M., Chung C.T., Lan H.H. Scapular fracture complicating suprascapular neuropathy: the role of computed tomography with 3D reconstruction. *J Chin Med Assoc*. 2009;72(6):340-342. doi: 10.1016/S1726-4901(09)70383-1.

Сведения об авторах

✉ Ушкова Оксана Геннадьевна

Адрес: Россия, 394062, г. Воронеж, ул. Путиловская, д.19А

<https://orcid.org/0009-0003-0641-4351>

eLibrary SPIN: 4078-3170

e-mail: ushkovaoksana@yandex.ru

Доколин Сергей Юрьевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>

eLibrary SPIN: 1993-2304

e-mail: sdokolin@gmail.com

Шершнев Андрей Максимович — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>

eLibrary SPIN: 7684-4262

e-mail: andreysersh@gmail.com

Кузьмина Владислава Игоревна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>

eLibrary SPIN: 9849-0036

e-mail: tasha_777@bk.ru

Authors' information

✉ Oksana G. Ushkova

Address: 19A, Putilovskaya st., Voronezh, 394062, Russia

<https://orcid.org/0009-0003-0641-4351>

eLibrary SPIN: 4078-3170

e-mail: ushkovaoksana@yandex.ru

Sergei Yu. Dokolin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>

eLibrary SPIN: 1993-2304

e-mail: sdokolin@gmail.com

Andrey M. Shershnev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>

eLibrary SPIN: 7684-4262

e-mail: andreysersh@gmail.com

Vladislava I. Kuzmina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>

eLibrary SPIN: 9849-0036

e-mail: tasha_777@bk.ru



Comparison of Muscle Strength and Functional Status of Patients with Operated and Non-Operated Chronic Total Anterior Cruciate Ligament Injury

Pınar A. Bulut¹, Aylin Ayyıldız², Selda Ç. İnceoğlu³, Figen Yılmaz³,
Türker Şahinkaya⁴, Osman T. Eren³, Banu Kuran³

¹ Silivri Kolan Hospital, İstanbul, Turkey

² Başakşehir Çam and Sakura City Hospital, İstanbul, Turkey

³ University of Health Sciences, Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, İstanbul, Turkey

⁴ Istanbul University Istanbul Faculty of Medicine, İstanbul, Turkey

Abstract

Background. The anterior cruciate ligament (ACL) plays a fundamental role in maintaining knee joint stability, primarily by preventing the forward translation of the tibia relative to the femur. The functional effects of ACL injuries can be seen in patients, irrespective of their surgical intervention.

The aim of the study – to compare knee functional results, quality of life, quadriceps and hamstring muscle strengths, and muscle thickness differences using ultrasonography between patients diagnosed with total anterior cruciate ligament injury who have undergone surgery and those who have not.

Methods. Male patients aged 18 to 40 with total ACL rupture were evaluated during chronic period. The study evaluated patients' pain levels, joint range of motion, thigh circumference measurements using the visual analog scale, and quadriceps and hamstring muscle thickness measurements using ultrasonography. Functionality was assessed using the single-leg jump test, Lysholm Knee Scale, and Anterior Cruciate Ligament Quality of Life Questionnaire.

Results. The study involved 21 non-operated and 20 operated patients. The rate of rehabilitation was significantly higher in the operated group, despite no significant difference between the groups in terms of the injured side. Furthermore, the operated group exhibited a statistically significant difference in thigh circumference between the right and left sides. The evaluation conducted by USG found a significant difference in hamstring muscle thickness between the operated group and the control group. However, there was no significant difference observed between the groups in terms of knee functionality, as indicated by the Lysholm knee scale and jump tests, and flexor and extensor isokinetic muscle strengths.

Conclusion. Patients with anterior cruciate ligament injuries may exhibit no significant difference between knee functionality and isokinetic muscle strength evaluations, regardless of whether they have undergone surgery or not. However, the group that underwent surgery showed significant muscle loss.

Keywords: anterior cruciate ligament injury; functionality; isokinetic muscle strength; surgery.

Cite as: Bulut P.A., Ayyıldız A., İnceoğlu S.Ç., Yılmaz F., Şahinkaya T., Eren O.T., Kuran B. Comparison of Muscle Strength and Functional Status of Patients with Operated and Non-Operated Chronic Total Anterior Cruciate Ligament Injury. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):130-142. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17721>.

✉ Aylin Ayyıldız; e-mail: aylin.mrt93@gmail.com

Submitted: 20.05.2025. Accepted: 30.07.2025. Published online: 29.09.2025.



Сравнение мышечной силы и функционального состояния оперированных и неоперированных пациентов с полным разрывом передней крестообразной связки

П.А. Булут¹, А. Айылдыз², С.Ч. Инджеоглу³, Ф. Йылмаз³, Т. Шахинкая⁴,
О.Т. Эрен³, Б. Куран³

¹ Silivri Kolan Hospital, г. Стамбул, Турция

² Başakşehir Çam and Sakura City Hospital, г. Стамбул, Турция

³ University of Health Sciences, Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, г. Стамбул, Турция

⁴ Istanbul University Istanbul Faculty of Medicine, г. Стамбул, Турция

Реферат

Актуальность. Передняя крестообразная связка (ПКС) играет ключевую роль в поддержании стабильности коленного сустава, предотвращая смещение большеберцовой кости вперед относительно бедренной кости. Функциональные последствия повреждений ПКС наблюдаются у пациентов независимо от тактики их лечения.

Цель исследования — сравнить функциональное состояние колена, качество жизни, силу четырехглавой мышцы и подколенного сухожилия, а также толщину мышц с помощью ультразвукового исследования у пациентов с тотальным разрывом передней крестообразной связки, перенесших операцию, и тех, кого лечили неоперативно.

Материал и методы. Были обследованы пациенты мужского пола в возрасте от 18 до 40 лет с полным разрывом ПКС в хронической стадии. В ходе исследования оценивались уровень боли, амплитуда движений в суставе, измерения окружности бедра при помощи визуальной аналоговой шкалы, а также измерения толщины четырехглавой мышцы и подколенного сухожилия с помощью ультразвукового исследования. Функциональное состояние оценивалось путем проведения теста с прыжками на одной ноге, по шкале Lysholm и опроснику ACL-QoL (Anterior Cruciate Ligament Quality of Life).

Результаты. В исследовании приняли участие 21 пациент, пролеченный без оперативного вмешательства, и 20 пациентов, перенесших операцию. Скорость реабилитации была значительно выше в группе прооперированных пациентов, несмотря на отсутствие существенных различий между группами с точки зрения состояния поврежденной стороны. Кроме того, в группе прооперированных пациентов наблюдалась статистически значимая разница в окружности бедра между правой и левой сторонами. Результаты УЗИ позволили выявить значительную разницу в толщине мышц подколенного сухожилия между группами. Однако между группами не наблюдалось существенной разницы в функциональности колена, о чем свидетельствовали результаты шкалы Lysholm и прыжковых тестов, а также в изокинетических показателях силы мышц-сгибателей и разгибателей.

Заключение. У пациентов с повреждениями передней крестообразной связки может не наблюдаться существенной разницы между функциональным состоянием колена и изокинетическими показателями силы мышц независимо от того, подвергались они хирургическому вмешательству или нет. Однако в группе пациентов, перенесших операцию, наблюдалась значительная потеря мышечной массы.

Ключевые слова: повреждение передней крестообразной связки; функциональность; изокинетическая мышечная сила; операция.

Для цитирования: Булут П.А., Айылдыз А., Инджеоглу С.Ч., Йылмаз Ф., Шахинкая Т., Эрен О.Т., Куран Б. Сравнение мышечной силы и функционального состояния оперированных и неоперированных пациентов с полным разрывом передней крестообразной связки. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):130-142. (На англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17721>.

✉ Айлин Айылдыз; e-mail: aylin.mrt93@gmail.com

Рукопись получена: 20.05.2025. Рукопись одобрена: 30.07.2025. Статья опубликована онлайн: 29.09.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

The anterior cruciate ligament (ACL) plays a fundamental role in maintaining knee joint stability, primarily by preventing the forward translation of the tibia relative to the femur [1]. The function of the stabilizer is to act as a key mechanical stabilizer, especially during dynamic movements involving pivoting, sudden stops, or directional changes. In the field of knee ligament research, the ACL has been identified as the most frequently injured structure. This observation has led to the conclusion that ACL injuries represent the most prevalent type of ligament injury within the knee joint [1, 2]. In the United States alone, the incidence of ACL injuries exceeds 200,000 cases per annum, thus emphasizing the widespread nature of this clinical problem and its significant burden on healthcare systems [3]. The injuries sustained in such incidents predominantly affect a younger, more physically active population, including athletes and individuals participating in high-demand physical activities. It is estimated that approximately 65% of ACL injuries occur during sporting activities. Notably, 70% of these injuries are attributed to non-contact mechanisms, such as sudden deceleration, cutting, or landing awkwardly after a jump, rather than direct trauma [4, 5].

The objective of treating ACL injuries is to alleviate pain and instability in the knee and restore the knee function [6]. However, the optimal treatment for ACL injuries is not yet definitive. Although surgical treatment is commonly performed, it may increase the risk of complications. Furthermore, surgical intervention improves static knee stability. A number of studies have indicated that there is no substantial discrepancy in knee functionality, sports performance, or objective measurements of muscle strength in the surrounding musculature when comparing patients who have undergone ACL reconstruction with those managed non-operatively [7, 8, 9, 10].

The aim of the study — to compare knee functional results, quality of life, quadriceps and hamstring muscle strengths, and muscle thickness differences using ultrasonography between patients who have undergone surgery and those who have not.

METHODS

This cross-sectional, single-blinded, analytical study involved male patients aged 18–40 who had experienced a total ACL rupture on knee MRI within the past 6 months. Only patients with unilateral ACL rupture who had undergone surgery with hamstring autograft and anatomical-single band technique or had at least 6 months since the ACL injury were included. Furthermore, patients with a Tegner Activity Scale (TAS) score of ≥ 4 were considered for the study. The study excluded patients with specific condi-

tions, such as posterior cruciate ligament rupture accompanying total ACL rupture, articular cartilage damage, chondromalacia patella, stage III collateral ligament damage, accompanying fracture, traumatic injury or surgery on the other knee, partial anterior cruciate rupture, a history of recurrent ACL surgery, and intra-articular effusion.

The study participants provided detailed information on their age, occupation, education level, weight, height, body mass index, presence of trauma, injured knee side, dominant knee, date of injury, date of operation, presence of rehabilitation, and slipping sensation. Pain levels were evaluated using the Visual Analog Scale (VAS). Additionally, the front part of each participant's knee was covered with tape prior to evaluation.

The investigators performed the physical examination, ultrasonography (USG), and isokinetic evaluation while blinded. Joint range of motion (ROM) measurements were taken using a goniometer on a hard surface, and the degrees of flexion and extension were recorded. TAS was used to determine the pre-injury activity levels of the patients. Additionally, the anterior drawer test was utilized to compare the operated and non-operated groups. The anterior drawer test was considered positive if anterior tibial translation greater than 6 mm was observed compared to the contralateral side, along with a soft end-point, in accordance with standard clinical definitions. Thigh circumference measurements were confidently taken bilaterally in centimeters using a tape measure, at the same distance from the medial malleolus of the tibia.

The study measured the hamstring and quadriceps muscle thicknesses twice in both legs of the patients using USG, following the methodology described in the literature. The quadriceps muscle thickness, which includes the *vastus intermedius* and *rectus femoris*, was measured with the knee in full extension while the patient was in a supine position. The midpoint of the patella was marked using 50% of the distance between the spina iliaca anterior superior (SIAS) and the midpoint of the patella (Figure 1).

The *vastus intermedius* and *rectus femoris* muscles were each measured twice at the same point for both legs, and the average of the two measurements was taken for each leg. The patient was positioned prone and the knees were extended to measure hamstring muscle thickness. The study measured the hamstring surface cross-sectional area and the difference in muscle thickness between both legs. Measurements were taken twice from the same point for each leg and the average was calculated separately for each leg. The maximum cross-sectional area of the hamstring was found at the greater trochanter and 60% of the lateral knee (Figure 2).



Figure 1. Ultrasonographic measurement location of *m. rectus femoris* and *m. vastus intermedius*



Figure 2. Ultrasonographic measurement location of the hamstring muscles

To evaluate the patients' functional status, we conducted single-leg jump tests twice on each extremity and completed the Lysholm Knee Scale (LKS) [11]. Our study measured the distance and time of a single-leg 6-meter jump. The farthest distance jumped with one leg while wearing sports shoes on hard ground determined the single-leg jump distance. Using the Limb Symmetry Index (LSI), the jump test evaluated both extremities for symmetry, with results of 90% and above considered symmetrical and results below 90% considered asymmetrical [12]. The single-leg 6-meter jump test required patients to jump 6 meters on one leg, and the time was measured with a stopwatch. The test was performed twice for both extremities, and the average time in seconds was recorded.

The Anterior Cruciate Ligament-Quality of Life questionnaire (ACL-QoL) [13] assessed the quality of life for both groups of patients. A higher score indicates a better quality of life. The questionnaire was completed by all patients, and the average score for each of the five subheadings was calculated by averaging the scores of the items.

The study conducted an isokinetic knee flexion and extension muscle strength test using a Cybex-350® dynamometer, with the assessor blinded. The patients were positioned on the device with their trunks at an angle of 80-85° with the hips and fastened to the chair with tapes over the trunk, pelvis, and thighs. Additionally, patients held onto the handles on both sides of the dynamometer seat during the test. Before the test, each patient completed a 10-minute warm-up program on a bicycle ergometer. Following this, the patients underwent a 3-minute stretching routine for their quadriceps and hamstring muscles before being tested. The test protocol consisted of 4 trials with 4 repetitions at a speed of 60°/s, and 5 trials with

20 test repetitions at a speed of 240°/sec. Throughout the test, verbal motivation was provided to the patients. At the end of the test, peak torque values, percentages of peak torque (PT) values according to body weight (BW) (PT/% BW) and total work (TW) done were recorded for both knees.

Statistical analysis

The research data was analyzed using SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 22.0 (SPSS Inc, Chicago, IL). Descriptive statistics are presented as mean±standard deviation, median [Q_1 ; Q_3] (min-max), frequency distribution, and percentage. Categorical variables were evaluated using Pearson's chi-square test, Yates's corrected chi-square test, and Fisher's exact test. The normal distribution suitability of the variables was examined using the Shapiro-Wilk test. Statistical significance between two independent groups for variables that complied with normal distribution was determined using the Student's t-test. For variables that did not comply with normal distribution, the Mann-Whitney U test was used. The relationship between variables was evaluated using Spearman's correlation analysis. We accepted a statistical significance level of $p < 0.05$.

RESULTS

The study analyzed 41 patients with ACL rupture, with 51.2% (21 patients) treated operatively and 48.8% (20 patients) — non-operatively. The demographic data of the patients is presented in Table 1. No statistically significant differences were found between the age, height, weight, BMI, education level, time since injury, injured tissues, affected and dominant knee, pre-injury TAS, duration, and type of rehabilitation for those receiving it ($p > 0.05$).

However, those who underwent surgery had a significantly higher rate of rehabilitation compared to those who did not undergo surgery ($p < 0.05$). The patients' operation-related characteristics were examined, revealing a median time of 30 months (7-42 months) since the operation and a median time of 5 months (1-26 months) from injury to operation. The majority of patients (71.4%) underwent a "hamstring autograft + meniscus repair", while the remaining 28.6% underwent only a "hamstring autograft".

The examination results demonstrate a statistically significant increase in anterior drawer test positivity in non-operated patients ($p < 0.05$). Moreover, non-operated patients exhibited a significantly lower diameter difference between the affected and intact thighs compared to operated patients ($p < 0.05$). Lastly, operated patients demonstrated a significantly higher difference in hamstring muscle thickness between the affected and healthy side ($p < 0.05$). There was no significant difference in quadriceps muscle thickness between the affected and unaffected areas, as well as affected hamstring muscle thickness ($p > 0.05$). However, the operated group demonstrated a significantly higher difference in intact hamstring

muscle thickness and healthy/affected side hamstring muscle thickness compared to the non-operated group ($p < 0.05$). No statistically significant differences were found between the study groups in terms of slipping sensation, right and left thigh diameter, LKS score, knee function degree according to LKS, and asymmetry according to the distanced single-step jump test ($p > 0.05$). Furthermore, all patients exhibited symmetrical single-leg 6-meter jumps during the test time.

The LKS score was significantly higher in the rehabilitation group ($p < 0.05$) when compared to non-operated patients who did not receive rehabilitation. Additionally, the rates of being symmetrical in the single-leg hop test and having good to excellent knee function were significantly higher among non-operated patients who received rehabilitation ($p < 0.05$). No statistically significant difference was detected between the non-operated patients who received rehabilitation and those who did not in terms of the anterior drawer test, slipping sensation, affected and intact thigh diameter and differences, affected and intact quadriceps femoris and hamstring muscle thickness ($p > 0.05$) (Table 2).

Table 1

Demographic characteristics of patients

Parameter	Operated (n = 21)	Non-operated (n = 20)	p
Age (y.o.), M±SD	29.43±5.01	28.45±7.02	0.611 ^a
Body weight (kg), M±SD	81.91±15.16	74.08±9.71	0.057 ^a
Height (cm), M±SD	175.81±7.43	173.90±6.84	0.398 ^a
BMI (kg/m ²), M±SD	26.36±3.82	24.50±2.93	0.089 ^a
Education, n (%)			
High school	12 (57.1)	11 (55.0)	0.890 ^b
University	9 (42.9)	9 (45.0)	
Time since injury (month), Me [Q ₁ ; Q ₃]	35 [24; 38]	20.5 [13.8; 34.3]	0.053 ^c
Injured tissue, n (%)			
Anterior cruciate ligament	6 (28.6)	4 (20.0)	0.719 ^d
Anterior cruciate ligament + meniscus	15 (71.4)	16 (80.0)	
Injured knee side, n (%)			
right	8 (38.1)	14 (70.0)	0.083 ^b
left	13 (61.9)	6 (30.0)	
Dominant knee, n (%)			
right	18 (85.7)	20 (100)	0.232 ^d
left	3 (14.3)	0	
Rehabilitation status, n (%)			
Non-taken	3 (14.3)	10 (50.0)	0.034^b
Taken	18 (85.7)	10 (50.0)	
Rehabilitation duration (month), Me [Q ₁ ; Q ₃]	2 [0.7; 7.0]	0.5 [0.0; 3.5]	0.944 ^c
Rehabilitation program, n (%)			
Home exercise program	9 (50.0)	7 (70.0)	0.434 ^d
Supervised by a physiotherapist	9 (50.0)	3 (30.0)	
Tegner activity scale, Me (min-max)	7 (5-9)	7 (3-9)	0.739 ^c

M — mean; SD — standard deviation; BMI — body mass index; ^a — Student's t-test; ^b — Yates's corrected chi-square test; ^c — Mann-Whitney U test; ^d — Fisher's exact test.

Table 2

Distribution of laxity status, functional status, quality of life, and muscle diameter and thickness among study groups

Parameter	Operated (n = 21)	Non-operated (n = 20)	p
Anterior drawer test, n (%)			
(-)	18 (85.7)	9 (45.0)	0.004^a
(1+)	3 (14.3)	3 (15.0)	
(2+)	0	8 (40.0)	
Anterior drawer test group, n (%)			
Negative	18 (85.7)	9 (45.0)	0.016^b
Positive	3 (14.3)	11 (55.0)	
Slipping sensation, n (%)			
(-)	16 (76.2)	11 (55.0)	0.271 ^b
(+)	5 (23.8)	9 (45.0)	
Injured thigh diameter, cm, M±SD	59.50±6.18	57.80±5.47	0.433
Healthy thigh diameter, cm, M±SD	60.62±6.61	58.12±5.45	0.230
Thigh diameter differences, cm, Me [Q ₁ ; Q ₃]	1 [0.0; 1.5]	0.0 [-0.5; 0.6]	0.021
Injured quadriceps femoris muscle thickness, mm, M±SD	27.79±6.49	25.49±6.52	0.901
Healthy quadriceps femoris muscle thickness, mm, M±SD	30.48±6.78	26.48±6.84	0.901
Quadriceps femoris muscle thickness differences, mm, Me [Q ₁ ; Q ₃]	3.4 [0.1; 5.4]	0.0 [-0.9; 3.0]	0.570
Injured hamstring muscle thickness (mm), M±SD	31.27±8.40	26.80±7.02	0.570
Healthy hamstring muscle thickness (mm), M±SD	35.04±8.23	26.89±7.52	0.324
Hamstring muscle thickness differences (mm), Me [Q ₁ ; Q ₃]	4.65 [-3.2; 5.6]	0.6 [-1.8; 2.5]	0.730
Lysholm knee scale, Me [Q ₁ ; Q ₃]	90 [73; 96]	81.5 [72.8; 94.3]	0.367 ^d
Bad, n (%)	2 (9.5)	3 (15.0)	0.737
Moderate, n (%)	6 (28.6)	8 (40.0)	
Good, n (%)	5 (23.8)	4 (20.0)	
Perfect, n (%)	8 (38.1)	5 (25.0)	
Distanced one-step jump test, n (%)			
Asymmetric	3 (14.3)	5 (25.0)	0.454 ^b
Symmetric	18 (85.7)	15 (75.0)	
Timed one-step jump test, n (%)			
Asymmetric	0	0	—
Symmetric	21 (100)	20 (100)	
ACL-QoL, Me [Q ₁ ; Q ₃]			
Symptoms and physical complaints	100.3 [70.5; 108.3]	89.3 [52.8; 105.5]	0.375 ^d
Work-related concerns	112.3 [84.5; 115.0]	73.4 [45.4; 101.0]	0.011^d
Hobbies, sports or competition participation	64.9 [36.1; 106.0]	29.0 [16.3; 74.6]	0.047^d
Life style	102.8 [62.7; 110.2]	71.9 [46.2; 103.1]	0.167 ^d
Social and emotional	82.0 [45.8; 109.0]	40.0 [21.2; 82.9]	0.020^d
Total	469.9 [308.6; 529.8]	318.7 [184.3; 447.7]	0.030^d

M — mean; SD — Standard deviation; ACL-QoL — Anterior Cruciate Ligament-Quality of Life; ^a — chi-square test; ^b — Fisher's exact test; ^c — Student's t-test; ^d — Mann-Whitney U test.

The sub-factor scores of the ACL-QoL for “work-related concerns”, “hobbies, participation in sports or competition”, and “social and emotional” as well as the total score of the non-operated patients were significantly lower than those of the operated patients ($p < 0.05$). There was no significant difference

between the groups in terms of the “symptoms and physical complaints” and “lifestyle” sub-factor scores of the ACL-QoL ($p > 0.05$). In non-operated patients who received rehabilitation, the ACL-QoL total score and the sub-factor scores of symptoms and physical complaints, hobbies, participation in sports or

competitions, lifestyle, social, and emotional were significantly higher than in non-operated patients who did not receive rehabilitation ($p < 0.05$).

No statistically significant differences were found in isokinetic measurements for extension and flexion between the two groups ($p > 0.05$). However, a statistically significant difference was observed in PT/BW at 60°/sec angular speed, PT/BW at 240°/sec, TW, and TW/BW values at 240°/sec on the affected side during flexion when comparing non-operated patients who received rehabilitation to those who did not ($p < 0$). There was no significant difference found in all isometric measurements in extension ($p > 0.05$) and other isometric measurements in flexion. Furthermore, there was no significant difference observed between non-operated patients who received rehabilitation and those who did not, in terms of hamstring/quadriceps ratios at 60°/sec and 240°/sec on both the affected and healthy sides ($p > 0.05$).

Table 3 demonstrates the relationship between the ACL-QOL questionnaire and various factors, including age, body mass index, time since injury,

TAS score, LKS score, and thigh diameter and muscle thickness differences, based on the operating status. The LKS score and the ACL-QOL questionnaire total score, as well as the scores for symptoms and physical complaints, work-related concerns, hobbies, participation in sports or competitions, life style, and social and emotional factors were all evaluated and found to have a strong correlation ($r = 0.71$, $r = 0.74$, $r = 0.67$, $r = 0.71$, $r = 0.56$, $r = 0.61$, respectively; $p < 0.05$). The study clearly demonstrates a positive and statistically significant relationship between the sub-factor scores of the operated patients. A positive and strong correlation was found in non-operated patients between LKS score and ACL-QOL questionnaire total score, as well as symptoms and physical complaints, work-related concerns, hobbies, participation in sports or competitions, life style, and social and emotional sub-factor scores ($r = 0.68$, $r = 0.63$, $r = 0.58$, $r = 0.68$, $r = 0.56$, $r = 0.61$; $p < 0.05$, respectively).

The relationship between affected side isokinetic measurements and ACL-QOL scores of operated and non-operated patients is also shown in Table 4.

Table 3

The relationship between the ACL-QoL questionnaire score and various factors, based on the operating status

Factors	ACL-QoL subscales					
	Symptoms and physical complaints	Work-related concerns	Hobbies, sports or competition participation	Life style	Social and emotional	Total
Operated (n = 21)						
Age	-0.106	-0.128	-0.131	-0.097	-0.150	-0.095
BMI	-0.083	-0.215	-0.048	0.008	-0.026	-0.086
Time since injured	-0.054	0.127	-0.175	-0.231	-0.064	-0.104
Tegner activity scale	0.354	0.354	0.363	0.297	0.246	0.371
Lysholm knee scale	0.743**	0.666**	0.709**	0.560**	0.608**	0.707**
Thigh diameter differences	0.370	0.357	0.347	0.255	0.379	0.374
Quadriceps muscle thickness differences	0.213	0.250	0.318	0.229	0.286	0.273
Hamstring muscle thickness differences	-0.411	-0.200	-0.395	-0.207	-0.404	-0.397
Non-operated (n = 20)						
Age	0.036	0.066	-0.106	-0.252	-0.248	-0.163
BMI	0.017	0.157	0.066	-0.035	0.000	-0.003
Time since injured	0.003	-0.012	0.041	-0.029	-0.185	-0.061
Tegner activity scale	0.090	0.054	-0.036	0.151	0.182	0.136
Lysholm knee scale	0.632**	0.580**	0.680**	0.565**	0.611**	0.680**
Thigh diameter differences	-0.027	-0.129	-0.038	-0.199	-0.096	-0.123
Quadriceps muscle thickness differences	0.223	-0.305	0.060	0.238	0.105	0.054
Hamstring muscle thickness differences	0.396	0.335	0.198	0.296	0.314	0.347

** $p < 0.01$.

Table 4

The relationship between the ACL-QoL questionnaire score and isometric muscle strength measurements of operated and non-operated patients

Parameter		ACL-QoL subscales					
		Symptoms and physical complaints	Work-related concerns	Hobbies, sports or competition participation	Life style	Social and emotional	Total
Operated (n = 21)							
<i>Extension</i>							
PT (60°/s)	Injured	0.684**	0.505*	0.692**	0.569**	0.652**	0.652**
	Healthy	0.033	-0.082	0.100	0.000	-0.077	0.050
PT%BW (60°/s)	Injured	0.818**	0.680**	0.665**	0.474*	0.709**	0.693**
	Healthy	0.205	0.091	0.123	-0.062	0.154	0.171
PT (240°/s)	Injured	0.299	0.157	0.428	0.403	0.383	0.364
	Healthy	0.025	-0.086	0.167	-0.021	-0.001	0.093
PT%BW (240°/s)	Injured	0.577**	0.480*	0.515*	0.433*	0.547*	0.531*
	Healthy	0.052	-0.033	0.063	-0.151	-0.050	0.048
TW (240°/s)	Injured	0.257	0.019	0.322	0.261	0.296	0.256
	Healthy	-0.151	-0.316	-0.026	-0.071	-0.113	-0.082
TW%BW (240°/s)	Injured	0.343	0.089	0.318	0.248	0.430	0.286
	Healthy	-0.047	-0.188	-0.157	-0.352	-0.144	-0.134
<i>Flexion</i>							
PT (60°/s)	Injured	0.571**	0.241	0.575**	0.424	0.354	0.491*
	Healthy	0.197	-0.110	0.187	0.077	0.049	0.118
PT%BW (60°/s)	Injured	0.653**	0.420	0.455*	0.219	0.340	0.438*
	Healthy	0.368	0.126	0.213	0.030	0.130	0.219
PT (240°/s)	Injured	0.264	0.077	0.381	0.403	0.236	0.290
	Healthy	0.101	-0.115	0.162	0.083	0.031	0.112
PT%BW (240°/s)	Injured	0.467*	0.379	0.404	0.355	0.335	0.393
	Healthy	0.214	0.061	0.158	0.024	0.052	0.169
TW (240°/s)	Injured	0.427	0.083	0.397	0.198	0.309	0.329
	Healthy	0.056	-0.241	0.091	-0.032	-0.026	0.030
TW%BW (240°/s)	Injured	0.597**	0.325	0.395	0.134	0.367	0.401
	Healthy	0.222	0.009	0.087	-0.055	-0.001	0.099
Hamstring/quadriceps (60°/s)	Injured	-0.069	-0.210	-0.194	-0.307	-0.368	-0.262
	Healthy	0.371	0.092	0.201	0.170	0.142	0.195
Hamstring/quadriceps (240°/s)	Injured	0.091	0.060	0.034	0.033	-0.140	0.000
	Healthy	0.303	0.107	0.177	0.229	0.187	0.203
Non-operated (n = 20)							
<i>Extension</i>							
PT (60°/s)	Injured	0.274	0.296	0.298	0.320	0.272	0.316
	Healthy	-0.136	-0.105	-0.183	-0.073	-0.048	-0.126
PT%BW (60°/s)	Injured	0.320	0.290	0.280	0.241	0.229	0.356
	Healthy	0.029	-0.035	-0.014	0.023	0.034	0.076
PT (240°/s)	Injured	0.647**	0.487*	0.346	0.361	0.338	0.498*
	Healthy	0.183	-0.037	-0.047	0.063	-0.001	-0.014
PT%BW (240°/s)	Injured	0.546*	0.358	0.320	0.341	0.303	0.451*
	Healthy	0.169	-0.148	-0.142	-0.038	-0.147	-0.081
TW (240°/s)	Injured	0.593**	0.343	0.332	0.547*	0.436	0.477*
	Healthy	0.380	0.108	0.236	0.314	0.305	0.274
TW%BW (240°/s)	Injured	0.705**	0.388	0.398	0.561*	0.487*	0.584**
	Healthy	0.571**	0.213	0.330	0.417	0.405	0.462*

End of Table 4

Parameter		ACL-QoL subscales					
		Symptoms and physical complaints	Work-related concerns	Hobbies, sports or competition participation	Life style	Social and emotional	Total
<i>Flexion</i>							
PT (60°/s)	Injured	0.501*	0.237	0.287	0.348	0.209	0.332
	Healthy	-0.058	-0.183	-0.321	-0.155	-0.248	-0.255
PT%BW (60°/s)	Injured	0.721**	0.357	0.487*	0.440	0.398	0.573**
	Healthy	0.220	-0.167	-0.044	0.011	-0.004	0.020
PT (240°/s)	Injured	0.500*	0.274	0.387	0.288	0.346	0.439
	Healthy	0.066	-0.029	-0.176	-0.020	-0.149	-0.126
PT%BW (240°/s)	Injured	0.523*	0.227	0.380	0.316	0.348	0.452*
	Healthy	0.317	0.113	0.023	0.138	0.005	0.121
TW (240°/s)	Injured	0.699**	0.408	0.492*	0.537*	0.426	0.565**
	Healthy	0.287	0.080	-0.085	0.093	-0.059	0.035
TW%BW (240°/s)	Injured	0.760**	0.408	0.507*	0.513*	0.442	0.611**
	Healthy	0.528*	0.098	0.177	0.281	0.165	0.283
Hamstring/quadriceps (60°/s)	Injured	0.223	-0.142	-0.084	-0.096	-0.140	-0.065
	Healthy	-0.064	-0.104	-0.306	-0.223	-0.305	-0.271
Hamstring/quadriceps (240°/s)	Injured	0.096	-0.018	0.289	0.247	0.220	0.195
	Healthy	0.098	0.161	-0.009	0.038	-0.116	0.005

*p < 0.05; **p < 0.01.

DISCUSSION

Our study included only male patients to ensure consistency with the trend of a high prevalence of male patients in studies on ACL injuries. This is supported by T.L. Sanders et al. who reported a higher incidence of ACL injuries in men than in women in the general population (81.7 per 100.000 — men, 55.3 — women; p = 0.001) [14].

Patients with ACL lesions commonly experience pain and slipping sensation. Pain is caused by hemarthrosis in the acute period and mostly by the development of osteoarthritis in the chronic period. It is important to note that a study conducted by H. Moksnes et al. found no significant difference in VAS values between operative and non-operative ACL injuries, indicating that non-operative treatment may be a viable option for some patients [2]. In a meta-analysis by T.O. Smith et al., it was determined that the development of osteoarthritis after ACL injury occurred more after 5 years [7]. Our study evaluated patients within the first 5 years after the injury, consistent with the literature. We found no significant difference between the groups in terms of pain and slipping sensation.

The main objective of conducting a physical examination on patients with ACL injuries is to assess the stability of the knee. In this study, we utilized the anterior drawer test to evaluate knee stability and found a significantly higher rate of positive tests in

the non-operated group, indicating that the knees of patients who underwent surgery were more stable. Our findings are consistent with those of H. Moksnes et al. who also found better knee stability in patients who underwent surgery [2]. Studies objectively evaluating stability using devices such as KT-1000 or KT-2000 found the operated group to be stable [2, 15]. Furthermore, there was no significant difference in functionality between the groups despite the operated group being more stable upon physical examination [8, 9, 15]. Interestingly, 45% of non-operated patients exhibited a negative anterior drawer test despite MRI-confirmed ACL ruptures. This may be due to neuromuscular adaptation over time, particularly through hamstring activation that compensates for anterior laxity. Additionally, partial scarring or fibrosis of the ruptured ACL remnant may provide some mechanical stability. Other potential factors include voluntary or involuntary muscle guarding during the test, or variability in clinical grading of borderline laxity. These findings highlight the importance of integrating clinical examination with imaging and functional assessments.

Operated and non-operated patients showed differences in muscle thickness and isokinetic measurements in thigh circumference. It is important to note that muscle thickness is correlated with muscle strength, as stated by T. Abe et al. [16]. Our study found that although the hamstring muscle thicknesses

differed between the two groups, no difference was detected in the isokinetic evaluation or flexor muscle group strengths. Muscle thickness is not necessarily correlated with muscle strength. Age and gender are among the factors that may impact muscle strength.

Meniscus damage commonly accompanies ACL injuries. Meniscus damage accompanies acute ACL injuries in 16-84.7% of cases, as shown by research [17, 18, 19]. Additionally, a 6-year cohort study conducted by K.R. Duchman et al. found that this value was 65.3% [20]. Our study found that meniscus damage was present in 15 patients (71.4%) in the operated group and in 16 patients (80%) in the non-operated group.

In a prospective randomized controlled study conducted by R.B. Frobell et al., 120 active adult patients aged 18-35 were included. At the 10th week, 61 patients underwent early ACL reconstruction, while reconstruction was postponed and performed if necessary in the remaining 59 patients. Early surgical treatment resulted in significantly less instability when evaluated by Lachman and pivot-shift tests, with no significant difference in pain, symptoms, and Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), SF-36 QoL questionnaire, and TAS when evaluating 5-year results. Following a five-year period of observation, it was found that knee stability at rest was statistically significantly superior in knees that had undergone early ACL reconstruction in comparison with those that had undergone initial rehabilitation, with the option of undergoing subsequent reconstruction if deemed necessary, as indicated by normal Lachman and pivot-shift tests. Additionally, there was no significant difference between the groups in terms of osteoarthritis development [10]. H. Grindem et al. conducted a study examining the 1-year results of active rehabilitation patients with ACL injuries who underwent surgery and those who did not. The non-operative group showed significantly better results in four jump tests, the Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADLS), and International Knee Documentation Committee (IKDC)-2000 scores, despite showing more laxity in KT-1000 measurements. Knee function and return to sports did not differ between the two groups [21].

These findings demonstrate the reliability and consistency of isokinetic tests and devices in providing objective data for the follow-up of patients with ACL injuries. The study results indicate that there was no statistically significant difference between the flexion and extension muscle peak torques, PT/BW values at an angular speed of 60°/s, and the flexion and extension peak torque, PT/BW values and total work at 240°/s in the operated and non-operated groups. Our findings are supported by the literature. H. Grindem et al. conducted a 2-year follow-up in 2014 and found no significant difference in knee flexion

and extension muscle strength and knee function between operatively and non-operatively treated patients, which is consistent with our study [9]. Our study supports T.O. Smith et al. meta-analysis, which found no significant difference between flexion and extension muscle strength in the one- to four-year results [7].

Quadriceps weakness is common in ACL injuries and its etiology is multifactorial. There is less loss of strength in the hamstring muscles after ACL injury compared to the quadriceps. This supports the hypothesis that knee flexors are ACL agonists and that flexor muscle strength is less affected by compensatory mechanisms after ACL injury [22]. Neurological dysfunction was found to be less effective in the knee flexors than in the knee extensors in patients with ACL injuries, as concluded by Y. Konishi et al. [23]. Additionally, patients who underwent reconstruction with hamstring and patellar tendon autograft showed no difference in muscle strength [24].

The hamstring to quadriceps (H/Q) ratio assesses the balance between the hamstring and quadriceps muscles, and changes in this ratio may increase the risk of developing osteoarthritis after an ACL injury [25]. H.J. Kim et al. meta-analysis supports the existence of a protective mechanism in the knee after an ACL injury that reduces quadriceps isokinetic strength and theoretically increases hamstring strength to protect against tibial anterior translation. The research demonstrates that quadriceps muscle strength loss is three times greater than hamstring muscle strength loss, leading to an increased H/Q ratio in the injured leg compared to the healthy leg [26]. Our study shows that the average H/Q ratios of the injured knees in both the operated and non-operated groups at 60°/s and 240°/s were higher than those of the healthy knee.

In a review in the literature, no difference was found between surgical treatment and conservative treatment of ACL injuries in adults in terms of KOOS score, SF-36 QoL score and return to sports activity rates, but it was stated that this review was at a low level of evidence [27]. Our study found that ACL-QoL questionnaire results were significantly better in the group that underwent surgery compared to the non-operated group. The subheadings that showed significant differences were mostly related to the patients' emotional state. The patients' psychological state, fear of re-injury, and kinesiophobia may have also influenced these differences. Notably, S. Sonesson et al. conducted a study that demonstrated improved return-to-sport rates when rehabilitation included psychological factors such as motivation [28]. Psychological factors, such as kinesiophobia and fear of injury, play a significant role in determining whether an individual returns to their pre-injury level of sports activity [29].

Rehabilitation is a crucial factor that impacts the outcomes of both conservatively treated and surgically treated patients. These findings suggest that rehabilitation may not be the sole determining factor in patient outcomes and that other factors should be considered as well. Our study found that the rate of rehabilitation was significantly higher in the surgical group. However, despite the higher number of patients receiving rehabilitation in the surgical group, no significant difference was detected in functionality (LKS and jump tests) and isokinetic test results. There were no significant differences in symptoms (VAS, slipping sensation) and physical examination findings (anterior drawer test, ROM, thigh diameter differences) between the non-operated patients who received rehabilitation and those who did not. Nevertheless, patients who received rehabilitation demonstrated significantly better results in LKS and jump tests, which evaluate knee functionality. Our study found a strong and statistically significant positive correlation between all subheadings of the ACL-QoL and LKS in both the operated and non-operated groups. This confirms the findings of G.I. Kinikli et al., who reported a fair correlation ($r = 0.23$) between LKS and ACL-QoL in their Turkish translation of the questionnaire [13].

When we examined the literature, we could not find any studies examining the correlation between the ACL-QoL and isokinetic muscle strength. However, the relationship between isokinetic muscle strength and the SF-36 QoL questionnaire was evaluated. In this study conducted by D. Marn-Vukadinovic et al., a negative correlation was found between knee extensor weakness (60°/s PT) and physical function and social function ($r = -0.59$, $p < 0.01$ and $r = -0.43$, $p < 0.01$, respectively) [30]. Our study confirms that a reduction in knee extensor muscle strength is linked to a decline in the quality of life of knee injury

patients. Furthermore, we examined the relationship between ACL-QoL subheadings and isokinetic muscle strength measurements for both the operated and non-operated groups. The study found a significant positive correlation between extension PT and PT/BW on the affected side of the operated patients at a speed of 60°/s, extension PT/BW at 240°/s, and all subheadings of the ACL-QoL. These results demonstrate the relationship between these variables. The correlation analysis of the non-operated group showed a statistically significant relationship between the “symptoms and physical complaints” subheading of the ACL-QoL and the affected side with 240°/s extension PT, PT/BW, TW, TW/BW and 60°/s flexion PT, PT/BW. Furthermore, the isometric strengths of PT, PT/BW, TW, TW/BW at a speed of 240°/s exhibited a positive difference. The operated group did not show a significant relationship between the other subheadings of the ACL-QoL questionnaire.

Study limitations

The main limitations of our study are the relatively small number of patients in the groups, the lack of pre-injury data, and the fact that it was a cross-sectional study. Prospective studies with larger patient groups are needed in the future.

CONCLUSION

There were no significant differences in knee functionality and isokinetic muscle strength between the operated and non-operated patients. However, it is worth noting that the quality of life was better in the operated group, which contradicts the literature. This could be due to the higher number of patients receiving rehabilitation in the operated group and the fact that the differing subheadings were more related to emotional and kinesiophobia.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pınar A. Bulut — study concept, statistical data processing, data acquisition.

Aylin Ayyıldız — data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, literature search and review, drafting and editing the manuscript.

Selda Ç. İnceoğlu — data acquisition, statistical data processing.

Figen Yılmaz — data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Türker Şahinkaya — statistical data processing, data acquisition.

Osman T. Eren — data analysis and interpretation.

Banu Kuran — study concept and design, scientific guidance, editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Пинар А. Булут — концепция исследования, статистическая обработка данных, сбор данных.

Айлин Айылдыз — сбор, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, поиск и обзор литературы, написание и редактирование текста рукописи.

Сельда Ч. Инджеоглу — сбор данных, статистическая обработка данных.

Фиген Йылмаз — анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

Тюркер Шахинкайа — статистическая обработка данных, сбор данных.

Осман Т. Эрен — анализ и интерпретация данных.

Бану Куран — концепция и дизайн исследования, научное руководство, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответствен-

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. This research has been approved by the Ethics Committee of Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital (protocol No 1122, 15.03.2016).

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to publish personal medical data (i.e. images).

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ность 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 было одобрено этическим комитетом Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital (протокол № 1122 от 15.03.2016).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию персональных медицинских данных, включая изображения.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

REFERENCES

- Larwa J., Stoy C., Chafetz R.S., Boniello M., Franklin C. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(7):3826. doi: 10.3390/ijerph18073826.
- Moksnes H., Risberg M.A. Performance-based functional evaluation of non-operative and operative treatment after anterior cruciate ligament injury. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19(3):345-355. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00816.x.
- Monk A.P., Davies L.J., Hopewell S., Harris K., Beard D.J., Price A.J. Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;4(4):CD011166. doi: 10.1002/14651858.CD011166.pub2.
- Montalvo A.M., Schneider D.K., Silva P.L., Yut L., Webster K.E., Riley M.A. et al. What's my risk of sustaining an ACL injury while playing football (soccer)? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2019;53(21):1333-1340. doi: 10.1136/bjsports-2016-097261.
- Stojanović E., Faude O., Nikić M., Scanlan A.T., Radovanović D., Jakovljević V. The incidence rate of ACL injuries and ankle sprains in basketball players: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2023;33(6):790-813. doi: 10.1111/sms.14328.
- Insam D., Perwanger F., Fritsch L., Ahrens P., Christian J., Hinterwimmer S. ACL plus ALL reconstruction restores normal knee stability and does not lead to lateral pain or signs of lateral overstrain. *Sportverletz Sportschaden*. 2025;39(1):16-23. (In English). doi: 10.1055/a-2503-6766.
- Smith T.O., Postle K., Penny F., McNamara I., Mann C.J. Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. *Knee*. 2014;21(2):462-470. doi: 10.1016/j.knee.2013.10.009.
- Meuffels D.E., Favejee M.M., Vissers M.M., Heijboer M.P., Reijman M., Verhaar J.A. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *Br J Sports Med*. 2009;43(5):347-351. doi: 10.1136/bjsm.2008.049403.
- Grindem H., Eitzen I., Engebretsen L., Snyder-Mackler L., Risberg M.A. Nonsurgical or Surgical Treatment of ACL Injuries: Knee Function, Sports Participation, and Knee Reinjury: The Delaware-Oslo ACL Cohort Study. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(15):1233-1241. doi: 10.2106/JBJS.M.01054.
- Frobell R.B., Roos H.P., Roos E.M., Roemer F.W., Ranstam J., Lohmander L.S. Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. *BMJ*. 2013;346:f232. doi: 10.1136/bmj.f232.
- Citaker S., Kafa N., Hazar Kanik Z., Ugurlu M., Kafa B., Tuna Z. Translation, cross-cultural adaptation and validation of the Turkish version of the Lower Extremity Functional Scale on patients with knee injuries. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016;136(3):389-395. doi: 10.1007/s00402-015-2384-6.
- Wang L., Xia Q., Li T., Wang Z., Li J. Limb Symmetry Index of Single-Leg Vertical Jump vs. Single-Leg Hop for Distance After ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. 2024;16(5):851-861. doi: 10.1177/19417381231205267.
- Kinikli G.I., Celik D., Yuksel I., Atay O.A. Turkish version of the Anterior Cruciate Ligament Quality of Life questionnaire. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(8):2367-2375. doi: 10.1007/s00167-014-3404-8.
- Sanders T.L., Maradit Kremers H., Bryan A.J., Larson D.R., Dahm D.L., Levy B.A. et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med*. 2016;44(6):1502-1507. doi: 10.1177/0363546516629944.
- Shea K.G., Carey J.L., Richmond J., Sandmeier R., Pitts R.T., Polousky J.D. et al. The American Academy of Orthopaedic Surgeons evidence-based guideline on management of anterior cruciate ligament injuries. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(8):672-674. doi: 10.2106/jbjs.n.01257.

16. Abe T., Loenneke J.P., Thiebaud R.S. Ultrasound assessment of hamstring muscle size using posterior thigh muscle thickness. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016;36(3):206-210. doi: 10.1111/cpf.12214.
17. Kilcoyne K.G., Dickens J.F., Haniuk E., Cameron K.L., Owens B.D. Epidemiology of meniscal injury associated with ACL tears in young athletes. *Orthopedics*. 2012;35(3):208-212. doi: 10.3928/01477447-20120222-07.
18. Chen G., Tang X., Li Q., Zheng G., Yang T., Li J. The evaluation of patient-specific factors associated with meniscal and chondral injuries accompanying ACL rupture in young adult patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(3):792-798. doi: 10.1007/s00167-013-2718-2.
19. Matava M.J., Gibian J.T., Hutchinson L.E., Miller P.E., Milewski M.D., Pennock A.T. Factors Associated With Meniscal and Articular Cartilage Injury in the PLUTO Cohort. *Am J Sports Med*. 2023;51(6):1497-1505. doi: 10.1177/03635465231164952.
20. Duchman K.R., Westermann R.W., Spindler K.P., Reinke E.K., Huston L.J., Amendola A. The Fate of Meniscus Tears Left In Situ at the Time of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 6-Year Follow-up Study From the MOON Cohort. *Am J Sports Med*. 2015;43(11):2688-2695. doi: 10.1177/0363546515604622.
21. Grindem H., Eitzen I., Moksnes H., Snyder-Mackler L., Risberg M.A. A pair-matched comparison of return to pivoting sports at 1 year in anterior cruciate ligament-injured patients after a nonoperative versus an operative treatment course. *Am J Sports Med*. 2012;40(11):2509-2516. doi: 10.1177/0363546512458424.
22. Kellis E., Sahinis C., Baltzopoulos V. Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *J Sport Health Sci*. 2023;12(3):343-358. doi: 10.1016/j.jshs.2022.01.002.
23. Konishi Y., Kinugasa R., Oda T., Tsukazaki S., Fukubayashi T. Relationship between muscle volume and muscle torque of the hamstrings after anterior cruciate ligament lesion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(11):2270-2274. doi: 10.1007/s00167-012-1888-7.
24. Meuffels D.E., Poldervaart M.T., Diercks R.L., Fievez A.W., Patt T.W., Hart C.P. et al. Guideline on anterior cruciate ligament injury. *Acta Orthop*. 2012;83(4):379-386. doi: 10.3109/17453674.2012.704563.
25. Alizadeh S., Sarvestan J., Svoboda Z., Alaei F., Linduška P., Ataabadi P.A. Hamstring and ACL injuries impacts on hamstring-to-quadriceps ratio of the elite soccer players: A retrospective study. *Phys Ther Sport*. 2022;53:97-104. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.12.001.
26. Kim H.J., Lee J.H., Ahn S.E., Park M.J., Lee D.H. Influence of Anterior Cruciate Ligament Tear on Thigh Muscle Strength and Hamstring-to-Quadriceps Ratio: A Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(1):e0146234. doi: 10.1371/journal.pone.0146234.
27. Long W.J., Scott W.N. Anterior cruciate ligament injuries and reconstruction: Indications, principles and outcomes. In: Scott W.N. (eds.) *Insall & Scott Surgery of the Knee*. 5th ed. Elsevier/Churchill Livingstone: Philadelphia; 2012. p. 371-384.
28. Sonesson S., Kvist J., Arden C., Österberg A., Silbernagel K.G. Psychological factors are important to return to pre-injury sport activity after anterior cruciate ligament reconstruction: expect and motivate to satisfy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(5):1375-1384. doi: 10.1007/s00167-016-4294-8.
29. Medvecky M.J., Nelson S. Kinesiophobia and Return to Sports After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Conn Med*. 2015;79(3):155-157.
30. Marn-Vukadinovic D., Jamnik H. Validation of the short form-36 health survey supported with isokinetic strength testing after sport knee injury. *J Sport Rehabil*. 2011;20(3):261-276. doi: 10.1123/jsr.20.3.261.

Authors' information

✉ Aylin Ayyıldız, MD
Address: Başakşehir Mahallesi, G-434 Caddesi, No 2L,
34480, Istanbul, Turkey
<https://orcid.org/0000-0002-7163-8234>
e-mail: aylin.mrt93@gmail.com

Pınar A. Bulut, MD
<https://orcid.org/0000-0002-1770-2258>
e-mail: pinarda88@hotmail.com

Selda Ç. İnçeoğlu, MD
<https://orcid.org/0000-0002-0387-3558>
e-mail: seldavd@gmail.com

Figen Yılmaz, MD, Professor
<https://orcid.org/0000-0002-0825-5169>
e-mail: figenyilmaz@yahoo.com

Türker Şahinkaya, MD
<https://orcid.org/0000-0003-1466-381X>
e-mail: turkerss@gmail.com

Osman T. Eren, MD, Professor
<https://orcid.org/0000-0002-7675-9297>
e-mail: tugruleren@hotmail.com

Banu Kuran, MD, Professor
<https://orcid.org/0000-0003-2273-1018>
e-mail: banukuran@gmail.com

Сведения об авторах

✉ Айлин Айылдыз
Адрес: Başakşehir Mahallesi, G-434 Caddesi, No 2L,
34480, Istanbul, Turkey
<https://orcid.org/0000-0002-7163-8234>
e-mail: aylin.mrt93@gmail.com

Пинар А. Булут
<https://orcid.org/0000-0002-1770-2258>
e-mail: pinarda88@hotmail.com

Сельда Ч. Инджеоглу
<https://orcid.org/0000-0002-0387-3558>
e-mail: seldavd@gmail.com

Фиген Йылмаз — профессор
<https://orcid.org/0000-0002-0825-5169>
e-mail: figenyilmaz@yahoo.com

Тюркер Шахинкая
<https://orcid.org/0000-0003-1466-381X>
e-mail: turkerss@gmail.com

Осман Т. Эрен — профессор
<https://orcid.org/0000-0002-7675-9297>
e-mail: tugruleren@hotmail.com

Бану Куран — профессор
<https://orcid.org/0000-0003-2273-1018>
e-mail: banukuran@gmail.com

Научная статья
УДК 616-089.84:616-77
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17749>



Остеоинтегративная система экзопротезирования: пилотное доклиническое исследование

А.В. Синегуб¹, В.А. Чупряев², К.Н. Демченко², С.Е. Воронин³, К.В. Эйдельман¹

¹ ООО «НьюСтеп», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России,
г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Традиционные протезы с культеприемной гильзой имеют ряд недостатков, включая кожные осложнения, нестабильную фиксацию и ограничение подвижности пациентов. Перспективной альтернативой являются остеоинтегративные экзопротезы, которые крепятся к телу человека через имплантат, хирургически установленный в остаточную кость культы. Это решение обеспечивает надежную фиксацию и особенно эффективно для пациентов с короткими или патологическими культями.

Цель исследования — оценить биосовместимость и безопасность применения отечественной остеоинтегративной системы для экзопротезирования бедра на крупной животной модели.

Материал и методы. Одной половозрелой свинье-мини-пигу в два этапа был имплантирован титановый остеоинтегрируемый имплантат, адаптированный по данным КТ. В течение 3 мес. наблюдения проводили комплекс клинических, лабораторных и рентгенологических исследований, осуществляли уход и бактериологический контроль состояния стомы, по завершении — пулл-аут тест имплантата.

Результаты. Животное опиралось на протез при стоянии и ходьбе. Масса увеличилась примерно на 10 кг. Усилие на отрыв имплантата (пулл-аут тест) составило 400 Н, что свидетельствует о формировании механической связи с костью. В ходе наблюдения отмечены управляемые осложнения: развитие анемии и бессимптомная бактериальная колонизация стомы *Staphylococcus* spp. 10⁷ КОЕ/мл без клинических признаков инфекции и системной воспалительной реакции.

Заключение. Продемонстрирована возможность успешного и безопасного применения рассматриваемой остеоинтегративной системы на крупной животной модели. Обнаруженные осложнения не были критичными. Полученные данные подтверждают биосовместимость и функциональность системы, что обосновывает необходимость дальнейших, более масштабных доклинических исследований.

Ключевые слова: чрескожное протезирование; экзопротезирование; остеоинтегративный экзопротез бедра; доклиническое исследование.

Для цитирования: Синегуб А.В., Чупряев В.А., Демченко К.Н., Воронин С.Е., Эйдельман К.В. Остеоинтегративная система экзопротезирования: пилотное доклиническое исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):143-151. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17749>.

Синегуб Андрей Владимирович; e-mail: a.sinegub@yandex.ru

Рукопись получена: 15.08.2025. Рукопись одобрена: 05.11.2025. Статья опубликована: 28.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17749>

Osseointegrated Exoprosthesis System: A Pilot Preclinical Study

Andrey V. Sinegub¹, Victor A. Chupryaev², Konstantin N. Demchenko², Stepan E. Voronin³,
Konstantin V. Eidelman¹

¹ NewStep LLP, St. Petersburg, Russia

² Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Traditional socket prostheses suffer from several limitations, including skin complications, unstable fixation, and restricted patient mobility. Osseointegrated exoprostheses represent a promising alternative as they attach to the human body via an implant surgically placed in the residual bone. This solution provides secure fixation and is particularly effective for patients with short or pathological residual limbs.

The aim of the study — to evaluate the biocompatibility and safety of a domestically developed osseointegration system for femoral exoprosthetics using a large animal model.

Methods. A customized titanium osseointegrated implant, adapted based on CT data, was placed in one sexually mature minipig using a two-stage surgical protocol. During the 3-month observation period, a comprehensive set of clinical, laboratory, and radiographic examinations was performed. The study also involved routine stoma care and bacteriological monitoring. At the end of the period, an implant pull-out test was conducted.

Results. The animal was able to endure weight-bearing on the prosthesis while standing and walking. Body weight increased by approximately 10 kg. The implant pull-out force was 400 N, indicating the formation of a mechanical bond with the bone. Manageable complications were noted during the observation, specifically the development of anemia and asymptomatic bacterial colonization of the stoma with *Staphylococcus* spp. at 10^7 CFU/ml. There were no clinical signs of infection or systemic inflammatory response.

Conclusion. The study demonstrated the feasibility of the successful and safe application of the evaluated osseointegration system in a large animal model. The observed complications were not critical. The findings confirm the biocompatibility and functionality of the system, justifying the need for further expansive preclinical studies.

Keywords: percutaneous prosthetics; exoprosthetics; osseointegrated femoral implants; preclinical study.

Cite as: Sinegub A.V., Chupryaev V.A., Demchenko K.N., Voronin S.E., Eidelman K.V. Osseointegrated Exoprosthesis System: A Pilot Preclinical Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):143-151. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17749>.

✉ Andrey V. Sinegub; e-mail: a.sinegub@yandex.ru

Submitted: 15.08.2025. Accepted: 05.11.2025. Published: 28.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на достижения современной медицины, потребность в совершенствовании методов протезирования конечностей остается высокой ввиду стабильного числа ампутаций, обусловленных сосудистыми заболеваниями, гражданскими и боевыми травмами [1, 2, 3, 4]. Стандартизированный подход, основанный на применении культеприемных гильз, сопряжен со значительными ограничениями: болевым синдромом, кожными осложнениями, нестабильностью фиксации и снижением мобильности пациента [5, 6]. Для пациентов с короткими или патологически измененными культями использование культеприемных гильз становится технически малореализуемым и требует значительных энергозатрат при ходьбе [2].

В качестве перспективной альтернативы рассматривается остеointегративное экзопротезирование — метод, предполагающий прямую фиксацию имплантата в кости [6, 7]. Такая технология обеспечивает физиологичное распределение осевой нагрузки, способствует восстановлению сенсорных ощущений (эффект остеоперцепции) и повышает качество жизни, открывая возможности для протезирования в сложных клинических случаях [8, 9, 10, 11]. Метод не лишен рисков, главными из которых являются инфекционные осложнения и вероятность механических поломок, что требует строгого отбора пациентов [12, 13, 14]. Вышесказанное определяет актуальность разработки и доклинического изучения отечественных систем остеointегративного экзопротезирования [15, 16].

Цель исследования — оценить биосовместимость и безопасность применения отечественной остеointегративной системы для экзопротезирования бедра на крупной животной модели.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данное пилотное доклиническое исследование было проведено на базе Центра доклинических и трансляционных исследований ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России.

Животная модель

В исследовании было задействовано одно клинически здоровое половозрелое животное — самка минипига (*sus scrofa domesticus*) в возрасте 13 мес. с исходной массой тела 64 кг. После периода карантина животное содержалось в индивидуальном вольере (площадь более 2 м²) при температуре воздуха 18–20°C, влажности 30–70%. Световой режим был автоматически регулируемым по принципу: 12 ч. темнота, 12 ч. свет.

Дизайн и подготовка имплантата

Был разработан имплантат, конструкция которого основывалась на применяющихся в мировой практике остеointегративных имплантатах, устанавливаемых методом press-fit. Конструктивно имплантат состоит из интрамедуллярной и чрескожной частей, соединяемых с помощью конуса и резьбы. Интрамедуллярный компонент оснащен антиротационными шлицами для стабильности и ячеистой структурой для улучшения остеointеграции.

С целью индивидуализации размеров интрамедуллярной части имплантата животному под седацией была выполнена компьютерная томография (КТ). На основании КТ были определены и скорректированы диаметр и длина интрамедуллярного компонента имплантата для соответствия анатомическим параметрам костномозгового канала бедренной кости животного (рис. 1). Предоперационное планирование включало трехмерную реконструкцию и виртуальное моделирование позиционирования имплантата (рис. 2).



Рисунок 1. Имплантат и экзопротез, спроектированные индивидуально для животного на основе компьютерной томограммы

Figure 1. Implant and exoprosthesis custom-designed for the animal based on computed tomography data

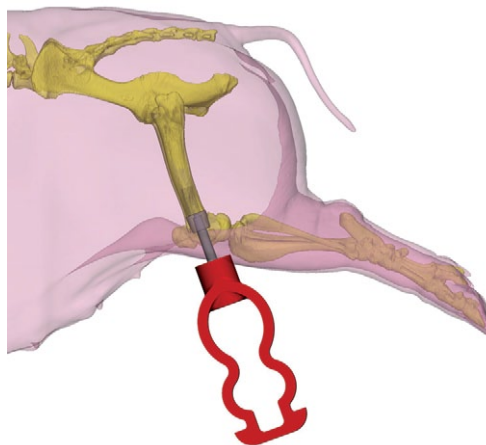


Рисунок 2. 3D-модель имплантата и экзопротеза, установленных в заднюю конечность животного

Figure 2. 3D model of the implant and exoprosthesis positioned in the animal's hind limb

Имплантат был изготовлен методом SLM 3D-печати из порошка Ti6Al4V. После изготовления имплантат проходил пескоструйную обработку, а затем термообработку в печи с режимом 900°C в течение 2 ч. Зона чрескожного интерфейса имплантата полировалась до Ra 0,4; шероховатость остальных частей имплантата была между Ra 6,3 и Ra 12,5.

Хирургическое вмешательство

Для отработки хирургической техники и минимизации интраоперационных рисков было выполнено два предварительных вмешательства на кадаверном материале с использованием пластиковых моделей имплантатов. Это позволило уточнить анатомические ориентиры и последовательность этапов операции.

Имплантация проводилась в два этапа. Хирургические вмешательства выполнялись бригадой хирургов ВМедА им. С.М. Кирова при анестезиологическом обеспечении сотрудниками НМИЦ им. В.А. Алмазова.

Первый этап: установка интрамедуллярного имплантата. Животное было зафиксировано на операционном столе в положении на спине. Применялась комбинированная анестезия:

1) вводная анестезия: введение препаратов золетил (20 мг/кг внутримышечно), ксилазин (3 мг/кг внутримышечно); выполнялась в подготовительном помещении; при достижении оптимального уровня седации животное транспортировалось в операционную;

2) поддерживающая анестезия: непосредственно на операционном столе осуществлялись интубация трахеи и перевод животного на ИВЛ (параметры вентиляции 25–30 мл/кг/мин.; ЧДД 8–14 в мин., 65% кислорода в смеси);

3) дополнительная анестезия: регионарная блокада нервов раствором ропивакаина в дозе 5 мг/кг.

Такой подход позволил снизить глубину общего наркоза и обеспечить стабильное состояние животного на протяжении всей операции.

За 30 мин. до начала операции с целью профилактики инфекционных осложнений внутримышечно животному был введен антибиотик широкого спектра действия. После стандартной асептической подготовки операционного поля (выбывание шерсти на правой задней конечности, многократная обработка растворами антисептиков, изоляция стерильным операционным бельем) была выполнена ампутация правой задней конечности на уровне средней трети бедренной кости. Крупные сосуды и нервы были тщательно лигированы. После остеотомии бедренной кости был вскрыт костномозговой канал. Канал последовательно рассверливался набором стерильных хирургических сверл возрастающего диаметра (11, 12 и 13 мм). Интрамедуллярная часть имплантата (диаметр интрамедуллярной части 13,5 мм) была установлена в подготовленный костномозговой канал под контролем электронно-оптического преобразователя (С-дуги). Мышцы культи были ушиты над проксимальной частью имплантата для создания мышечной муфты. Кожная рана ушивалась послойно с оставлением активного дренажа. Была проведена интраоперационная антисептикопрофилактика (рис. 3).

Второй этап: установка чрескожного абатмента и экзопротеза. Через 4 нед. после первого этапа под аналогичным протоколом анестезии и асептической подготовки операционного поля был обеспечен доступ к дистальному торцу ранее установленного интрамедуллярного имплантата. На верхушке культи с использованием специализированного трубчатого ножа (стомореза) диаметром, равным диаметру абатмента, была сформирована стома для вывода имплантата. После гемостаза чрескожный абатмент был ввинчен в интрамедуллярный имплантат с использованием специализированного ключа (без контрудержания интрамедуллярного имплантата). Края кожи вокруг стомы были адаптированы с помощью кисетного шва. Наложена асептическая повязка. Затем к абатменту был присоединен экзопротез (рис. 4).

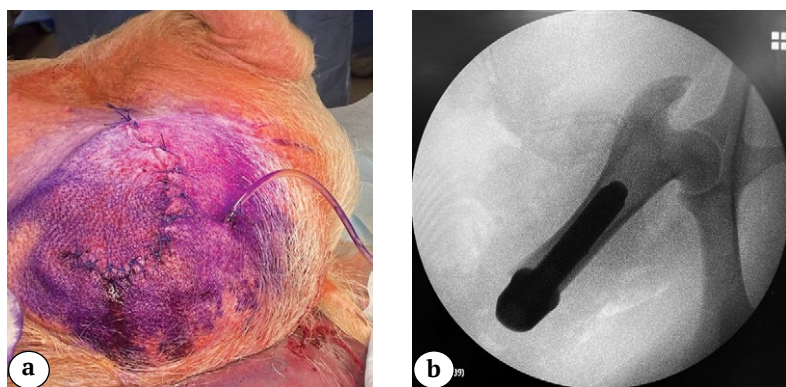


Рисунок 3. Результат первого этапа операции:

a — сформированная культя;
b — рентгенограмма имплантированного интрамедуллярного компонента

Figure 3. Outcome of the first surgical stage:
a — the formed residual limb;
b — X-ray of the implanted intramedullary component

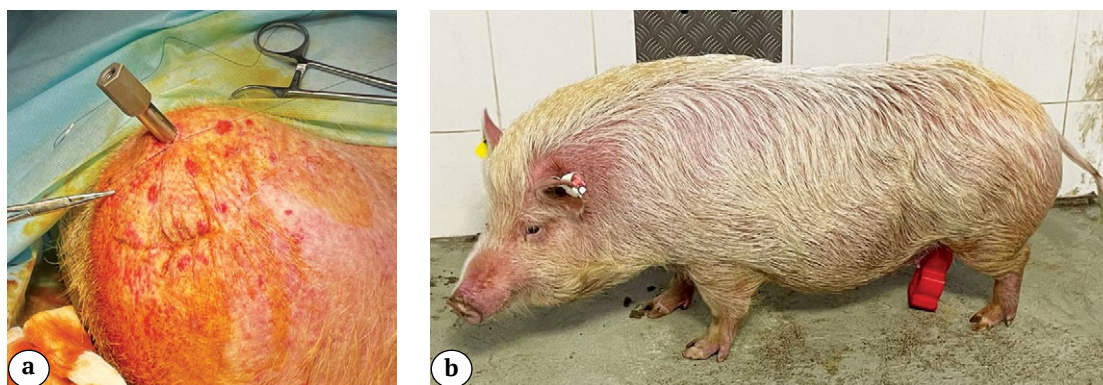


Рисунок 4. Результат второго этапа операции:

а — интраоперационное фото с установленным чрескожным элементом; б — фото животного с экзопротезом

Figure 4. Outcome of the second surgical stage:

а — intraoperative photograph showing the installed percutaneous element; б — photograph of the animal fitted with the exoprosthesis

Послеоперационный уход и мониторинг

В послеоперационном периоде животное получало курс системной антибиотикотерапии и анальгезии с использованием Пенстрепта (10 мл) и Мелоксикама (2 мл на 64 кг веса животного) один раз в день, в течение 10 суток. Ежедневно проводился клинический осмотр с оценкой общего состояния, поведения, аппетита, реакции на раздражители, состояния кожных покровов, слизистых оболочек и тонуса мускулатуры. Область стомы один раз в сутки обрабатывалась растворами антисептиков. Регистрировались признаки местного воспаления (гиперемия, отек, экссудация), болезненность при пальпации и способность животного опираться на протезированную конечность.

Через месяц после второй операции и перед выведением животного из эксперимента проводили забор крови для общего и биохимического анализов. Также дважды выполнялся забор биоматериала из области стомы для бактериологического посева. Один раз в месяц выполняли рентгенографию оперированной конечности в двух стандартных проекциях для контроля стабильности имплантата и оценки состояния костной ткани на границе с имплантатом.

Эвтаназия и забор материала для гистологического исследования

Через 3 мес. после второго этапа операции было выполнено выведение животного из эксперимента путем эвтаназии под глубокой общей анестезией, после чего произвели ампутацию сегмента конечности с имплантатом. Осуществили забор мазков из костномозгового канала в области имплантата на бактериологический посев.

Ампутированная конечность подверглась пуллаут тесту путем выдергивания имплантата из кости с использованием динамометра с регистрацией пикового усилия, необходимого для полного извлечения имплантата из костного ложа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе эксперимента не было зафиксировано серьезных послеоперационных осложнений. Отмечено достижение функциональной нагрузки на протезированную конечность: животное уверенно опиралось на остеоинтегративный протез при стоянии и ходьбе. Это в сочетании с рентгенологически подтвержденными признаками оссификации вокруг имплантата и результатами пуллаут теста (400 Н) после эвтаназии свидетельствует о частичной остеоинтеграции имплантата и его механической стабильности. Общее состояние животного на протяжении эксперимента оставалось удовлетворительным, что подтверждается хорошим аппетитом и набором веса около 10 кг после первой хирургической интервенции.

Ежедневный осмотр стомы не выявлял выраженных признаков воспаления, таких как значительный отек, гиперемия или гнойное отделяемое.

На контрольных рентгенограммах через 3 мес. визуализировалось формирование периостальной костной мозоли и остеофитов в дистальной части культи (рис. 5).

Результаты клинических анализов крови представлены в таблице 1.

Бактериологический мониторинг области стомы выявил наличие *Staphylococcus* spp. в концентрации 10^7 КОЕ/мл в пробах через месяц после второй операции и перед выведением.



Рисунок 5. Рентгенограмма перед выведением животного из эксперимента с формированием периостальной костной мозоли и остеофитов в дистальной части культи

Figure 5. X-ray taken prior to study termination showing the formation of periosteal callus and osteophytes in the distal residual limb

Таблица 1

Динамика основных показателей общего анализа крови в послеоперационном периоде

Показатель	Через месяц после второй операции	Перед выведением
Гемоглобин, г/л	102,0	88,0
Эритроциты, $\times 10^{12}$ /л	4,40	3,79
Лейкоциты, $\times 10^9$ /л	10,29	11,66
Тромбоциты, (автоматический подсчет) $\times 10^9$ /л	403	408
Тромбоциты, (ручной подсчет) $\times 10^9$ /л	555	495
Гематокрит, %	30,9	26,9
ССГЭ, пг	23,2	23,1
СКГЭ, г/дл	33,0	32,5
СЭО, фл	70,2	81,1
Ядросодержащие эритроциты кл/100 лейкоцитов	0	0
Эозинофилы, $\times 10^9$ /л	0,31	0,47
Базофилы, $\times 10^9$ /л	0,1	0,23
Бластные клетки, $\times 10^9$ /л	0	0
Промиелоциты, $\times 10^9$ /л	0	0
Миелоциты, $\times 10^9$ /л	0	0
Метамиелоциты, $\times 10^9$ /л	0	0
Палочкоядерные нейтрофилы, $\times 10^9$ /л	0,1	0
Сегментоядерные нейтрофилы, $\times 10^9$ /л	4,32	4,55
Лимфоциты, $\times 10^9$ /л	4,94	6,3
Моноциты, $\times 10^9$ /л	0,51	0,12

ОБСУЖДЕНИЕ

Пилотное исследование на модели минипига подтвердило реализуемость и первичную безопасность отечественной остеointегративной системы бедра. Ранняя опора на экзопротез без потери фиксации, признаки перимплантатного костеобразования и результаты пулл-аут теста (400 Н) указывают на частичную остеointеграцию и достаточную первичную стабильность конструкции с антиротационными шлицами и ячеистой зоной. Для сопоставимости результатов необходимо стандартизировать методики механических испытаний (условия фиксации сегмента, скорость тракции, протокол измерений).

Чрескожный интерфейс: при высокой обсемененности *Staphylococcus* spp., характерной для

данного вида, признаков клинически значимой инфекции не отмечено; ежедневная антисептическая обработка поддерживала удовлетворительное состояние стомы. Это подчеркивает критическую роль дизайна чрескожного интерфейса и ухода для улучшения барьерных свойств.

Гематология: были выявлены аспекты, требующие внимания. Клинический анализ крови через месяц после полной установки имплантата указал на развитие выраженной анемии, что не связано с кровопотерей во время операции, так как кровопотеря при выполнении обеих операций была минимальной — до 50 мл. Вероятной причиной является анемия, связанная с реакцией организма на имплантат, однако нельзя полностью исключать и другие факторы, такие как алиментарная

недостаточность или сопутствующие патологии, не выявленные на этапе скрининга. В дальнейшем необходим расширенный мониторинг (контроль уровня ферритина, сывороточного железа, ретикулоцитов, С-реактивного белка).

Технические аспекты: двухэтапная имплантация выполнена по плану; вворачивание абатмента без контрудержания интрамедуллярного компонента потенциально создает микроподвижность — требуется инструментальная контрфиксация. Раннее дозированное нагружение в ограниченном объеме не сопровождалось признаками расшатывания. Также сделан вывод о том, что диаметр ножа для стомы должен быть на 2–4 мм меньше диаметра выводимого имплантата для создания натяжения, тогда не потребуются накладывать кисетный шов на стому для ее герметизации на имплантате.

Интраоперационные наблюдения также позволили сделать важный вывод относительно конструкции имплантата. В процессе его установки методом press-fit отмечалось значительное повышение внутрикостного давления. Для его снижения и облегчения выхода костного мозга в будущих версиях имплантата целесообразно предусмотреть сквозной продольный канал. Такая модификация не только упростит установку, но и потенциально снизит риск жировой эмболии и некроза кости от избыточного давления.

Практическая значимость: полученные результаты подтверждают корректность инженерных решений и задают направления доработки — усиление барьерных свойств чрескожного интерфейса и контроль биопленки, стандартизация механических и рентгенологических критериев интеграции, регламенты ухода за стомой и протоколы ранней нагрузки.

Полученные нами результаты сопоставимы с данными других работ. Так, В.Т. Grisez с соавторами в пилотном исследовании на овцах через 16 нед. получили биологическую остеоинтеграцию у двух из трех имплантатов и не обнаружили признаков инфекции [17]. Процент успеха их эксперимента (67%) соответствует результатам исследования о частичной интеграции: у минипига также отмечено формирование новой кости вокруг имплантата, и результаты пулл-аут теста составили 400 Н. В исследовании Т.Т. Shelton с соавторами овцы через 12 мес. после ампутации поддерживали нагрузку на оперированную конечность на уровне 74% от исходной и имели симметричную походку [18]. Это совпадает с нашими наблюдениями — уверенная опора и ходьба животного с экзопротезом сразу после установки чрескожного абатмента и экзопротеза.

Анализ гистологических и клинических результатов, полученных другими исследователями,

также подтверждает эффективность остеоинтегративного подхода. В экспериментах В.Т. Farrell с соавторами имплантировали домашней кошке пористый титановый штифт в большеберцовую кость, через 11 нед. животное полноценно ходило на протезе без признаков инфекции, а гистологически отмечали врастание кости и кожи в поры имплантата [19]. При этом масса тела кошки выросла с 3,2 до 4,0 кг за время эксперимента аналогично тому, как самка минипига в нашем эксперименте набрала до 10 кг. Эти данные хорошо соотносятся с полученными нами рентгенологическими результатами перимплантатного окостенения и клиническим восстановлением функции конечности.

Что касается инфекционных осложнений, наши наблюдения укладываются в известные тренды. Несмотря на высокую бактериальную колонизацию, в эксперименте не развилась клиническая инфекция. В.Т. Grisez с соавторами аналогично не выявили микробное воспаление [17]. В реальной клинической практике при использовании чрескожных остеоинтегративных систем частота поверхностных инфекций у пациентов составляет приблизительно 13–30% [13], что говорит о необходимости совершенствования конструкции узла и ухода за стомой. В нашем наблюдении ежедневное применение антисептиков обеспечило удовлетворительное состояние кожи, что подтверждает выводы других авторов о важности гигиены [17, 18, 19].

Таким образом, полученные при проведении эксперимента результаты по функциональной нагрузке, образованию костной ткани и безопасности сопоставимы с данными аналогичных исследований на животных: они подтверждают принципиальную эффективность метода остеоинтеграции, несмотря на неизбежные технические сложности. На этом фоне выявленные при выполнении исследования данные — частичная остеоинтеграция и колонизация стомы без воспаления — хорошо согласуются с литературными отчетами и задают векторы для дальнейших испытаний.

Ограничения исследования

Единичное наблюдение и срок 3 мес. не позволяют оценить длительную стабильность, поздние инфекционные события и ремоделирование; отсутствовали исходные гематологические данные и инструментальная оценка походки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное пилотное исследование продемонстрировало принципиальную работоспособность и первичную безопасность отечественной остеоинтегративной системы на крупной животной модели. Достигнуты функциональная нагрузка на протез и частичная остеоинтеграция имплан-

тата. Выявленные нежелательные явления, такие как анемия и бессимптомная колонизация стомы, требуют дальнейшего изучения и оптимизации протоколов ведения. Результаты обосновывают целесообразность проведения расширенных

доклинических испытаний с увеличением выборки животных и срока наблюдения для оценки долгосрочной стабильности и безопасности системы перед рассмотрением возможности ее клинического применения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Синегуб А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста рукописи.

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

Демченко К.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных.

Воронин С.Е. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных.

Эйдельман К.В. — 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. Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований ООО «НьюСтеп».

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

Этическая экспертиза. Исследование проведено при соблюдении принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей и директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. по охране животных, используемых в научных целях.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Sinegub A.V. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

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

Demchenko K.N. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation.

Voronin S.E. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation.

Eidelman K.V. — 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. The study was conducted in accordance with the research plan of NewStep LLC.

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

Ethics approval. The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Гросс Д.Д., Грюнфельд М., Розбрух С.Р., Рейф Т.Дж., Холлварт Д.С. Применение метода остеointеграции на нижней конечности — современное состояние и перспективы: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(3):120-131. (На англ.). doi: 10.17816/2311-2905-17465. Gross J.D., Grunfeld M., Rozbruch S.R., Reif T.J., Hoellwarth J.S. Lower Extremity Osseointegration — A Review of the Current Experiences and Expectations. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(3): 120-131. doi: 10.17816/2311-2905-17465.

2. Karimi M.T., Kavyani M., Mehrvar A. Osseointegration: A new approach to improve functional performance of prostheses — a systematic review of the literature. *Cur Orthop Pract*. 2024;35(6):229-236. doi: 10.1097/BCO.0000000000001275.
3. Li Y., Brånemark R. Osseointegrated prostheses for rehabilitation following amputation: The pioneering Swedish model. *Unfallchirurg*. 2017;120(4):285-292. doi: 10.1007/s00113-017-0331-4.
4. Li Y., Felländer-Tsai L. The bone anchored prostheses for amputees — Historical development, current status, and future aspects. *Biomaterials*. 2021;273:120836. doi: 10.1016/j.biomaterials.2021.120836.

5. Juhnke D.L., Beck J.P., Jeyapalina S., Aschoff Horst H. Fifteen years of experience with Integral-Leg-Prosthesis: Cohort study of artificial limb attachment system. *J Rehabil Res Dev.* 2015;52(4):407-420. doi: 10.1682/JRRD.2014.11.0280.
6. Jah F., Blöchle C., Aschoff H.H. Comparative analysis between bone-guided (endo-exo) prostheses and soft-tissue guided shaft prostheses for rehabilitation after thigh amputation, with special emphasis on its socio-economic aspects. *J Surg Rehabil.* 2019;1(1):1-9. doi: 10.31487/j.JSR.2019.01.03.
7. Overmann A.L., Forsberg J.A. The state of the art of osseointegration for limb prosthesis. *Biomed Eng Lett.* 2019;10(1):5-16. doi: 10.1007/s13534-019-00133-9.
8. Tropf J.G., Potter B.K. Osseointegration for amputees: Current state of direct skeletal attachment of prostheses. *Orthoplastic Surgery.* 2023;12(C):2028. doi: 10.1016/j.orthop.2023.05.004.
9. Handford C., McMenemy L., Kendrew J., Mistlin A., Akhtar M.A., Parry M. et al. Improving outcomes for amputees: The health-related quality of life and cost utility analysis of osseointegration prosthetics in transfemoral amputees. *Injury.* 2022;53(12):4114-4122. doi: 10.1016/j.injury.2022.10.007.
10. Brånemark R.P., Hagberg K., Kulbacka-Ortiz K., Berlin Ö., Rydevik B. Osseointegrated Percutaneous Prosthetic System for the Treatment of Patients With Transfemoral Amputation: A Prospective Five-year Follow-up of Patient-reported Outcomes and Complications. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(16):e743-e751. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00621.
11. Hagberg K., Ghassemi Jahani S.A., Kulbacka-Ortiz K., Thomsen P., Malchau H., Reinholdt C. A 15-year follow-up of transfemoral amputees with bone-anchored transcutaneous prostheses. *Bone Joint J.* 2020;102-B(1):55-63. doi: 10.1302/0301-620X.102B1.BJJ-2019-0611.R1.
12. Al Muderis M., Khemka A., Lord S.J., Van de Meent H., Frölke J.P. Safety of Osseointegrated Implants for Transfemoral Amputees: A Two-Center Prospective Cohort Study. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(11):900-909. doi: 10.2106/JBJS.15.00808.
13. Örgel M., Aschoff H.H., Sedlacek L., Graulich T., Krettek C., Roth S. et al. Twenty-four months of bacterial colonization and infection rates in patients with transcutaneous osseointegrated prosthetic systems after lower limb amputation — A prospective analysis. *Front Microbiol.* 2022;13:1002211. doi: 10.3389/fmicb.2022.1002211.
14. Hagberg K., Ghassemi Jahani S.A., Omar O., Thomsen P. Osseointegrated prostheses for the rehabilitation of patients with transfemoral amputations: A prospective ten-year cohort study of patient-reported outcomes and complications. *J Orthop Translat.* 2022;38:56-64. doi: 10.1016/j.jot.2022.09.004.
15. Sinegub A.V., Lopota A.V. Finite element analysis of a screw with cellular structure and bone thread for direct bone anchoring of prostheses. *Biomed Engineering.* 2022;55(6):425-428. doi: 10.1007/s10527-022-10150-1.
16. Sinegub A.V., Lopota A.V., Suvorov V.A. Personalized Finite Element Analysis of an Endo-Exo Prosthetics System under Conditions of Osseointegration. *Biomed Engineering.* 2022;56(1):40-43. doi: 10.1007/s10527-022-10162-x.
17. Grisez B.T., Hanselman A.E., Boukhemis K.W., Lalli T.A.J., Lindsey B.A. Osseointegrated Transcutaneous Device for Amputees: A Pilot Large Animal Model. *Adv Orthop.* 2018;2018:4625967. doi: 10.1155/2018/4625967.
18. Shelton T.J., Beck J.P., Bloebaum R.D., Bachus K.N. Percutaneous osseointegrated prostheses for amputees: Limb compensation in a 12-month ovine model. *J Biomech.* 2011;44(15):2601-2606. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.08.020.
19. Farrell B.J., Prilutsky B.I., Kistenberg R.S., Dalton J.F. 4th, Pitkin M. An animal model to evaluate skin-implant-bone integration and gait with a prosthesis directly attached to the residual limb. *Clin Biomech (Bristol).* 2014;29(3):336-349. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2013.12.014.

Сведения об авторах

☒ Синегуб Андрей Владимирович — канд. техн. наук
Адрес: Россия, 188300, г. Гатчина, Пушкинское ш., д. 20
<https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>
eLibrary SPIN: 7170-6994
e-mail: a.sinegub@yandex.ru

Чупряев Виктор Андреевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0009-0005-6030-6460>
eLibrary SPIN: 5007-7607
e-mail: v.chupryaev@gmail.com

Демченко Константин Николаевич
<https://orcid.org/0000-0001-5437-1163>
eLibrary SPIN: 7549-2959
e-mail: phantom964@mail.ru

Воронин Степан Евгеньевич
<https://orcid.org/0000-0003-4773-1663>
eLibrary SPIN: 5569-4092
e-mail: voronin_se@almazovcentre.ru

Эйдельман Константин Валерьевич
<https://orcid.org/0009-0006-8555-4046>
e-mail: eidelmankv@niuitmo.ru

Authors' information

☒ Andrey V. Sinegub — Cand. Sci. (Tech.)
Address: 20, Pushkinskoe shosse, Gatchina, 188300, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>
eLibrary SPIN: 7170-6994
e-mail: a.sinegub@yandex.ru

Victor A. Chupryaev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0009-0005-6030-6460>
eLibrary SPIN: 5007-7607
e-mail: v.chupryaev@gmail.com

Konstantin N. Demchenko
<https://orcid.org/0000-0001-5437-1163>
eLibrary SPIN: 7549-2959
e-mail: phantom964@mail.ru

Stepan E. Voronin
<https://orcid.org/0000-0003-4773-1663>
eLibrary SPIN: 5569-4092
e-mail: voronin_se@almazovcentre.ru

Konstantin V. Eidelman
<https://orcid.org/0009-0006-8555-4046>
e-mail: eidelmankv@niuitmo.ru



Nail-Plate Combination for the Treatment of Pubic Symphysis Disruption and Pubic Rami Fractures

Nikita N. Zadneprovskiy, Alexey M. Fain, Pavel A. Ivanov, Yuri A. Bogolyubsky, Alexander N. Mansurov

Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia

Abstract

Background. Anterior pelvic ring fractures, including pubic symphysis disruption and pubic rami fractures, represent a complex clinical challenge in traumatology. They are associated with significant pain syndrome, loss of weight-bearing function, and often with damage to the anterior abdominal wall caused by stomas, drains, etc. There remains a strong demand in pelvic surgery for effective treatment methods that provide stable bone fixation in this anatomical region, shorten rehabilitation, and improve functional outcomes with minimal complications.

The aim of the study — to demonstrate a new method of simultaneous fixation of pubic symphysis disruption and pubic rami fractures using the nail-plate combination.

Surgical technique. A 10-cm Pfannenstiel incision was made directly along the superior edge of the pubic symphysis, followed by vertical incision of the aponeurosis and dissection of the prevesical space. After revision of the symphyseal rupture zone, the identified diastasis was reduced using Weber or small Jungbluth forceps. Sequential fixation of the pubic rami fractures was then performed with interlocking nails on both sides, but without inserting the locking screws. Without removing the guide from the last inserted nail, a plate was positioned so that its midpoint corresponded precisely to the midline of the reduced pubic symphysis. The nail was then interlocked with two 3.5-mm cortical screws through the plate holes. The guide was removed and connected to the remaining nail (the nail ends usually protrude 1-2 mm from the entry points and are easily palpable).

Conclusion. The method of combined fixation using the nail-plate system is a technically feasible and safe approach for the treatment of pubic symphysis disruptions and pubic rami fractures.

Keywords: pubic symphysis disruption; pubic rami fracture; interlocking nail; plate fixation; nail-plate combination.

Cite as: Zadneprovskiy N.N., Fain A.M., Ivanov P.A., Bogolyubsky Yu.A., Mansurov A.N. Nail-Plate Combination for the Treatment of Pubic Symphysis Disruption and Pubic Rami Fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):152-162. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17774>.

✉ Nikita N. Zadneprovskiy; e-mail: ZadneprovskiyNN@sklif.mos.ru

Submitted: 13.10.2025. Accepted: 17.11.2025. Published: 28.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

Научная статья

УДК [616.718.19+616.718.3]-001.5-089.84

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17774>

Сопряженная фиксация разрыва симфиза и переломов лобковых костей системой «штифт – пластина»

Н.Н. Заднепровский, А.М. Файн, П.А. Иванов, Ю.А. Боголюбский, А.Н. Мансуров

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»,
г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Переломы переднего полукольца таза, включая разрыв лонного симфиза и переломы лобковых костей, представляют собой сложную клиническую проблему травматологии. Они сопровождаются значительным болевым синдромом, нарушением функций опоры и нередко повреждением передней брюшной стенки стомами, дренажами и т. п. В хирургии таза сохраняется высокий спрос на новые эффективные методы лечения, которые бы обеспечивали стабильную фиксацию костей в этой анатомической области, раннюю активизацию и улучшение функциональных исходов с минимальными осложнениями.

Цель исследования — представить новый метод одновременной фиксации разрыва симфиза и переломов лобковых костей сопряженной системой «штифт – пластина».

Техника операции. Выполняли хирургический доступ по Пфannenштилю длиной 10 см непосредственно по верхнему краю лонного сочленения с вертикальным рассечением апоневроза и разведением клетчатки предпузырного пространства. После ревизии зоны разрыва лонного сочленения выявленный диастаз устраняли с помощью щипцов Weber или малых щипцов Jungbluth. Далее выполняли поочередную фиксацию переломов лобковых костей блокируемыми штифтами с обеих сторон, но без установки блокирующих винтов. Не снимая направлятель с последнего установленного штифта, укладывали пластину таким образом, чтобы середина фиксатора находилась строго посередине сопоставленного лонного сочленения. Далее выполняли блокировку штифта двумя 3,5 мм кортикальными винтами через отверстия пластины. Направлятель снимали и соединяли с оставшимся штифтом (концы штифтов, как правило, выступают на 1–2 мм из точек входа и хорошо определяются).

Заключение. Метод сопряженной фиксации системой «штифт – пластина» является технически осуществимым и безопасным при лечении разрывов симфиза и переломов лобковых костей.

Ключевые слова: разрыв симфиза; перелом лобковых костей; блокируемый штифт; наkostный остеосинтез; сопряженный остеосинтез системой «штифт – пластина».

Для цитирования: Заднепровский Н.Н., Файн А.М., Иванов П.А., Боголюбский Ю.А., Мансуров А.Н. Сопряженная фиксация разрыва симфиза и переломов лобковых костей системой «штифт – пластина». *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):152-162. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17774>.

Заднепровский Никита Николаевич; e-mail: ZadneprovskiyNN@sklif.mos.ru

Рукопись получена: 13.10.2025. Рукопись одобрена: 17.11.2025. Статья опубликована: 28.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Anterior pelvic ring fractures, including pubic symphysis disruption and pubic rami fractures, represent a complex clinical problem in trauma surgery [1, 2, 3, 4]. Such injuries occur in the setting of high-energy trauma (motor vehicle accidents, falls from height) and are associated with high mortality, a risk of urogenital organ injury, and prolonged rehabilitation [3, 5, 6]. The combined injury of the symphysis and pubic bones does not have an established incidence rate, as it is usually described in the literature as a component of broader pelvic trauma [3, 4]. Pelvic ring instability leads to impaired weight-bearing function, chronic pain, and reduced quality of life in affected patients [7, 8, 9].

Modern fixation methods, such as plate osteosynthesis, external fixation devices, and minimally invasive subcutaneous systems (INFIX), demonstrate various advantages and disadvantages. For example, traditional plates provide stability but require extensive surgical exposure, which may lead to infectious complications (4%) and neurovascular injuries (0.3-2.0%) [10]. External fixation, in turn, is associated with a high complication rate (up to 62% cases of pin-site inflammation) [10, 11], while INFIX, although reducing surgical invasiveness, may cause lateral femoral cutaneous nerve neuropraxia in 28% of cases, heterotopic ossification around screw heads in 9.4%, and infectious complications in 1-3% [12, 13].

These limitations underscore the need for continued development of new techniques that combine the stability of classical osteosynthesis with minimal invasiveness [14, 15, 16, 17, 18]. In this context, the nail-plate system,

integrating intramedullary nailing and plate fixation, represents a promising solution.

The aim of the study — to demonstrate a new method of simultaneous fixation of pubic symphysis disruption and pubic rami fractures using the nail-plate combination.

Surgical technique

To ensure maximum safety and predictability of the method, its performance was first practiced in an anatomical laboratory on cadaver specimens and is described in detail below with the illustration of the key steps. The optimal surgical approach was determined, the ideal entry points for the locking nails were identified, and the technical reproducibility of all stages of the combined fixation was confirmed. Based on these findings, a standardized operative protocol was formalized and subsequently applied to patients during the clinical phase.

For the procedure, the patient was positioned on a radiolucent surgical table, with rolls placed under the knees to achieve 20-30° of flexion. To monitor urine output and detect intraoperative bladder injuries, a Foley catheter was inserted. The surgical field was disinfected three times with antiseptic solution and draped with sterile linens. A 10-cm Pfannenstiel incision was made directly along the superior margin of the pubic symphysis (Figure 1a) [19]. The concept of the nail-plate combined system for the osteosynthesis of bilateral fractures of the superior pubic rami with nails and fixation of the pubic symphysis disruption with a plate is illustrated in Figure 1b. Intraoperative radiographic control of fragment reduction, as well as nail and locking screw placement, was performed throughout the surgery using a C-arm.

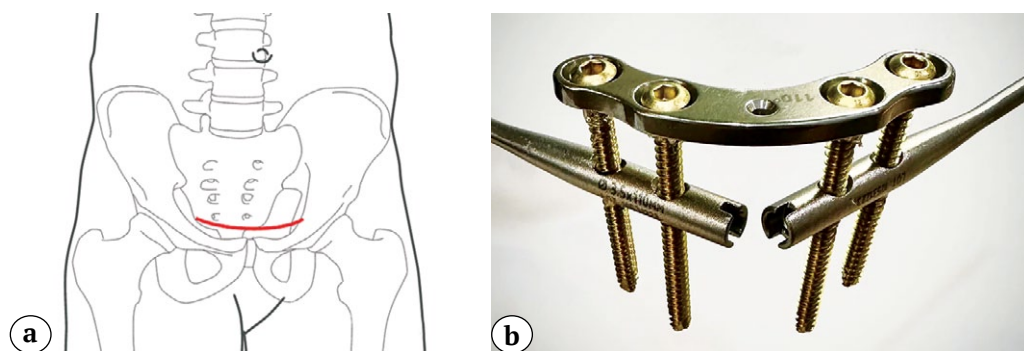


Figure 1. Schematic representation of the Pfannenstiel approach (a); conceptual model of the combined nail-plate system, comprising plate fixation of the symphyseal disruption and fixation of bilateral pubic rami fractures with interlocking nails (b)

The aponeurosis was vertically incised along the linea alba, and the rectus abdominis muscles were retracted with hooks. The prevesical (Retzius) space was then bluntly dissected, following the posterior surface of the pubic bone bases (Figure 2a). After the revision of the pubic symphysis disruption, the identified diastasis was reduced using Weber forceps or small Jungbluth clamps (Figure 2b).

The length of the nails was determined according to the Nakatani classification of pubic bone fractures: for fractures in zones I and II, a 110-mm nail was used; for zone III fractures, a 120-mm nail was used (for individuals taller than 190 cm, a 130-mm nail was selected) [20]. It is important to achieve symmetrical entry points for both nails: exactly at the midpoint of

the height of the pubic bone base in the outlet view and at the apex of the anterior corner of the pubic bone base in the inlet view.

Sequential fixation of the pubic rami fractures was then performed using locking nails on both sides through a 1-cm contralateral skin puncture located below the Pfannenstiel incision, but without inserting the locking screws. Without removing the guide from the last inserted nail, the plate was positioned so that the midpoint of the implant lay exactly over the reduced pubic symphysis (Figure 3).

To prevent displacement, the plate was temporarily fixed with a 2-mm wire through the technical hole. A drill sleeve was inserted through the guide handle and aligned with the hole in the plate closest to the symphysis (Figure 4).

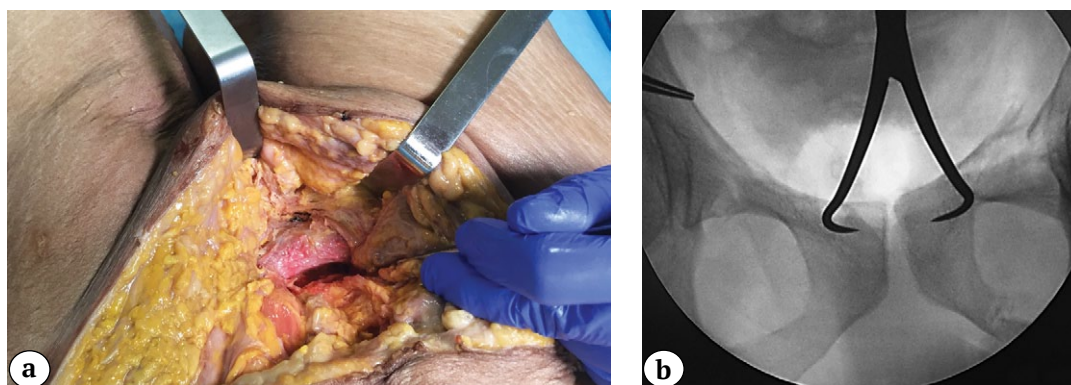


Figure 2. Anterior intrapelvic Pfannenstiel approach: a — the incision is extended to 30 cm for illustrative purposes; b — reduction of the symphyseal disruption using Weber forceps

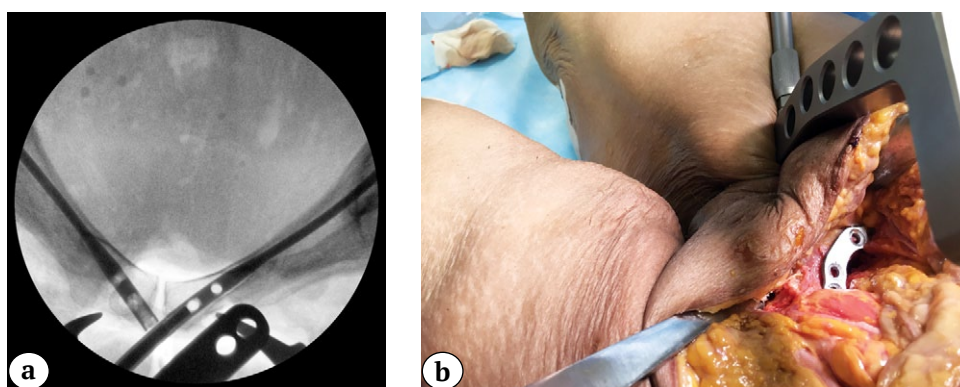


Figure 3. Intraoperative inlet view of the pelvic with nails inserted into both pubic bones (a); the plate is positioned at the midpoint of the superior symphyseal border via the surgical approach (b)

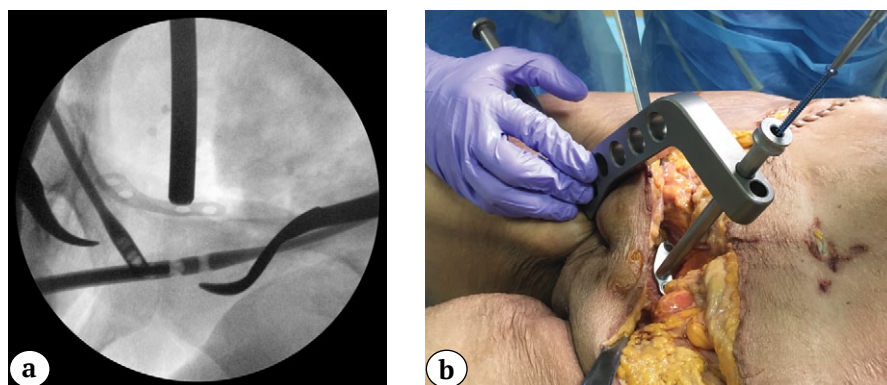


Figure 4. Intraoperative outlet view of the pelvis with the guide cannula aligned for nail locking through the plate hole (a); nail locking via the plate hole (b)

If necessary, the nail was slightly adjusted in a retrograde or antegrade direction to achieve precise alignment of the drill sleeve with the plate hole. The nail was then locked with two 3.5-mm cortical screws through the plate holes (Figure 5). The guide was removed and attached to the second nail (the ends of the nails usually protrude 1-2 mm from the entry points and are easily palpable). The optimal angle of the guide for subsequent nail locking was achieved by rotating it around the nail axis under C-arm control.

Standard positioning of the plate after osteosynthesis and the view of the surgical field prior to closure are shown below (Figure 6).

During the clinical phase, when performing this surgical technique, patients underwent drainage of the Retzius space using a Redon drain through a contralateral incision in the area of the Hesselbach triangle. The surgical field was irrigated with saline and closed in

layers. Postoperative sutures were covered with a sterile dressing. Before wound closure, the absence of blood in the urinary catheter was verified.

The Pfannenstiel approach allows simultaneous osteosynthesis of bilateral pubic rami fractures with concomitant pubic symphysis disruption, even in the presence of various anterior abdominal wall defects. For example, this technique can be applied in patients with a colostomy or concomitant bladder rupture (Figure 7).

It is important to note that the presented method of anterior pelvic ring stabilization is usually part of a comprehensive surgical approach. In cases associated with posterior ring instability, it should be combined with appropriate fixation techniques, chosen individually based on the complete diagnostic assessment. In our practice, cannulated 6.5-mm screws were typically used (Figure 8).

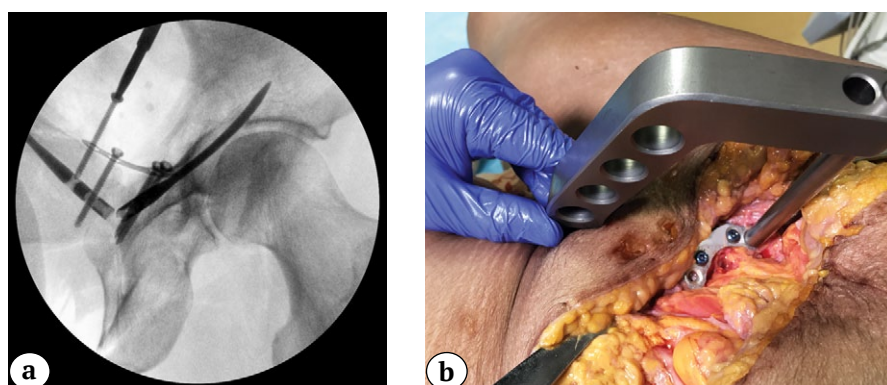


Figure 5. Intraoperative obturator-outlet view of the pelvis during locking of the nail with a 3.5-mm screw through the plate hole (a); intraoperative photograph of the surgical site showing interlocking of the second nail through the plate hole (b)

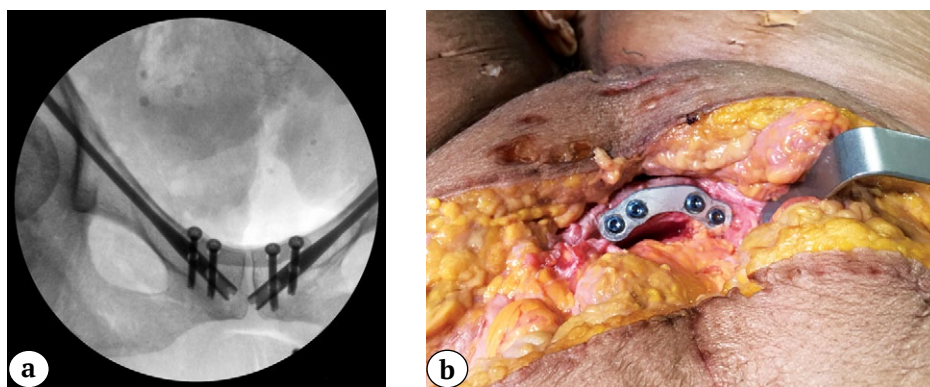


Figure 6. Intraoperative anteroposterior view of the pelvis after combined fixation with the nail-plate system (a); intraoperative photograph of the surgical site prior to wound closure (b)

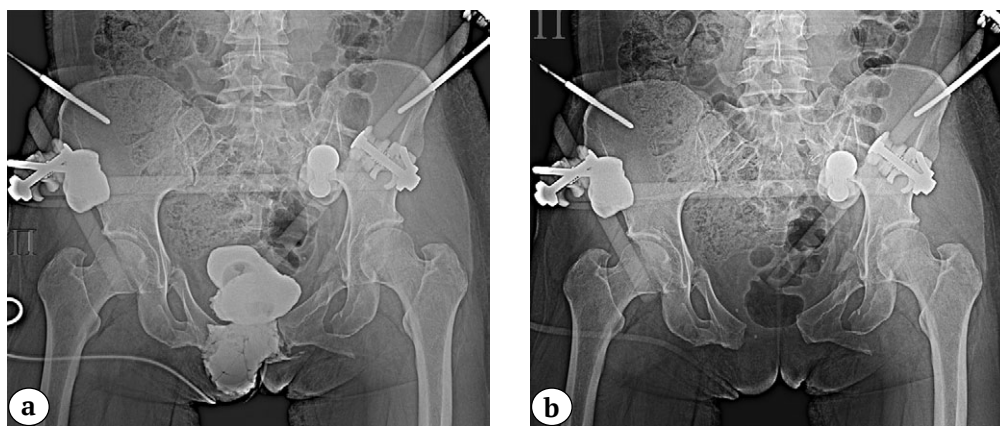


Figure 7. Pelvic X-ray in the anteroposterior view: symphyseal disruption with significant diastasis and fractures of both pubic bones (a); cystogram showing extravasation of contrast beyond the bladder contour (b)

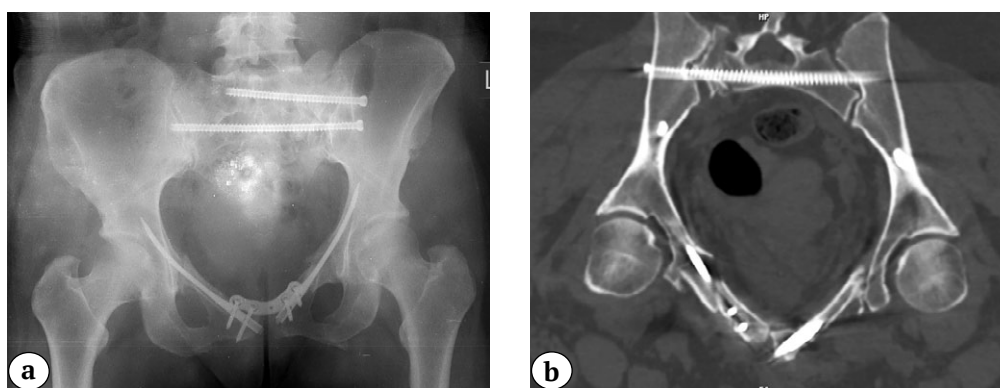


Figure 8. Postoperative X-ray: anterior fixation with the nail-plate system and sacral fixation with cannulated screws in S1 and S2 (a); 2D CT reconstruction of the pelvis postoperatively confirming restoration of the pelvic ring anatomy with fixation of the sacrum, pubic bones, and symphysis (b)

In 11 (84.6%) of the 13 patients who underwent the developed surgical technique, an anatomical reduction of the fractures was achieved, as confirmed by intraoperative fluoroscopy. Two patients (15.4%) demonstrated minor displacement (<5 mm) due to osteoporosis, which required correction.

The mean operative time was 120 ± 25 minutes, with a blood loss of 150 ± 50 ml. Postoperative wounds healed primarily in all patients within 10-14 days. Radiographic bone union was observed at 12 ± 2 weeks. No implant-related complications (migration, breakage) were reported.

Functional outcomes were assessed using the Majee scale at 6 months: 9 (69.2%) patients had excellent results (85-100 points), 3 (23.1%) patients had good results (70-84 points), and 1 (7.7%) patient had satisfactory results (55-69 points).

DISCUSSION

The treatment of anterior pelvic ring fractures (pubic symphysis disruption with concomitant fractures of the superior pubic rami) in patients with a colostomy, epicycstostomy, drains, or laparotomy wounds presents a particular challenge due to limited surgical access, the risk of implant-associated infection, and technical difficulties in fixation. Patients with colostomies often have impaired immunity and may develop anemia or hypoproteinemia, increasing the risk of general surgical complications with large incisions.

Isolated fixation of the symphysis alone may be insufficient, and open reduction and fixation of the pubic bones can be technically difficult due to the limited surgical exposure [5].

Providing care for patients with pelvic fractures is generally a complex process that requires a multidisciplinary approach and the use of both surgical and non-surgical treatment methods [11, 21, 22]. The management of anterior pelvic ring injuries, in particular, remains a subject of ongoing discussion within the trauma community [23]. There is a continuous search for minimally invasive surgical techniques due to improving mechanical properties of fixation devices and constantly advancing osteosynthesis technologies [14, 20, 24, 25, 26]. These developments significantly reduce operative time, blood loss, and complication rates. Several surgical approaches for pubic symphysis

disruption with concomitant pubic rami fractures have been described in the literature [13, 27, 28, 29]. The choice of treatment method depends on multiple factors, including the specific fracture morphology, the patient's condition, the presence of associated injuries, and the surgeon's preference.

Plate fixation. The use of a long J-shaped pelvic plate is considered the gold standard for the surgical treatment of simultaneous pubic symphysis disruption and pubic rami fractures. This method provides high stability even in osteoporotic bone and allows for the precise restoration of the pubic symphysis anatomy. Success is achieved in approximately 90% of cases [3]. Surgical approaches to the anterior pelvis vary and include the Pfannenstiel approach, the modified Stoppa approach, and the ilioinguinal approach according to Letournel, each with its own set of potential complications [10, 13, 19]. However, these methods are not without significant drawbacks: extensive exposure carries the risk of injury to major vessels and nerves, averaging around 4%, and there is potential for blood loss and postoperative infectious complications in about 5% of cases [31]. Screw or plate breakage is frequently observed during treatment, although it generally does not affect long-term outcomes.

External fixation devices are the most commonly used method for treating fractures of the anterior pelvic ring. They are employed both as a standalone treatment and as an auxiliary tool for stabilizing pubic bone fractures during the plate fixation of pubic symphysis disruptions [2, 5]. The most frequent complications associated with external fixation include soft tissue inflammation around Schanz screws (18-62%), device failure, and the need for re-admission for device removal, which in itself increases treatment costs [14].

Minimally invasive osteosynthesis with cannulated screws is used both for the fixation of pubic symphysis disruptions and for osteosynthesis of pubic rami fractures, with screws able to be inserted retrogradely or antegradely. The osteosynthesis of pubic bone fractures with cannulated screws is typically combined with the plate fixation of the pubic symphysis. In this context, the antegrade insertion technique is primarily used, as retrograde screw placement is often impeded by

screws from the plate at the insertion site [31]. Moreover, the method is technically demanding, and in approximately 13% of cases it cannot be performed due to pronounced curvature of the anterior pelvic ring [25]. Complications are mainly related to screw placement outside the bony corridor and may include injury to major vessels, the femoral nerve, the spermatic cord and the suspensory ligament of the penis in men, or the round ligament in women [26].

Subcutaneous systems: INFIX and Pelvic Bridge Plate. It has been shown that a new method for treating pelvic fractures — the combination of lower pelvic coverage with a pubic plate — effectively addresses Nakatani type I, II, and III fractures, offering advantages such as rapid recovery, safety, simplicity, and improved aesthetics [12, 25]. An alternative is the minimally invasive anterior pelvic ring internal fixator (INFIX), although it may not be suitable for all patients due to potential complications, such as femoral nerve palsy and vascular occlusion [31, 33, 34]. Furthermore, the management of the anterior component of unstable lateral compression pelvic ring injuries remains controversial. Researchers continue to compare different fixation methods to identify the most effective approach [35]. There is ongoing exploration of optimal pelvic osteosynthesis techniques, both traditional and novel, depending on fracture morphology and the patient's overall condition [12, 13, 31, 36].

Common complications associated with INFIX include injury to the lateral femoral cutaneous nerve, with reported incidence varying across studies, and heterotopic ossification around the screw heads [25, 32].

We hypothesized that for the osteosynthesis of tilt-fracture type injuries, the use of a combined nail-plate fixation system is entirely appropriate. The principle involves locking the nail through the plate holes, where the screws securing the plate do not interfere but, on the contrary, facilitate compact placement of the fixators within the limited bony space. This concept was made possible by the development of a locking nail [20]. The fundamental idea of hybrid use of fixators, where screws locking the nail pass through plate holes, is not new and has long been applied in osteosynthesis of other

anatomical regions, such as femoral and tibial fractures [36, 37, 38].

When using standard symphyseal plates from foreign manufacturers (Synthes, Switzerland; Stryker, USA) or domestic producers (Osteomed, Russia), coaxial alignment between the plate lying over the pubic symphysis and the nail inserted into the pubic bone is lacking due to differing hole spacing in the plate and the nail. Additionally, the fixators are positioned at slight angles relative to each other in both the horizontal and frontal planes. These factors make locking the nail with two screws simultaneously practically impossible. As a result, plate fixation through the nail can only be achieved with a single screw, which is biomechanically suboptimal, since the screw in this configuration acts as a rotational axis for both the plate and the nail, theoretically creating an element of instability. The placement of anti-rotational screws through the remaining plate holes can be problematic due to the narrow bony corridor of the pubic bone base already occupied by the nail. Therefore, we developed a new plate design in which the holes are coaxially aligned with the nail holes to allow for secure locking.

The special design of the plate holes allows the surgeon to adjust the angle of the 3.5-mm screws within a 50° cone, facilitating the task of locking the nail with two screws. This biomechanical concept of dual-screw nail locking has been termed “doublet locking”. The concept of “doublet locking” arose due to the technical difficulties of standard fixation, namely inserting screws into the narrow bony corridor of the pubic bone base already occupied by the nail. In our view, for maximal rigid stabilization of a nail locked at only one end, at least two fixation points are required. Moreover, the plate is designed to allow simultaneous locking of two nails in cases of bilateral pubic rami fractures, making it a versatile solution.

The key advantage of this method is the combination of minimal invasiveness (Pfannenstiel approach) with biomechanical stability. This aligns with studies showing that combined fixation methods achieve superior outcomes compared to isolated use of plates or nails [39, 40].

Study limitations

The small sample size and the lack of long-term follow-up limit the interpretation of the results. Multicenter studies assessing long-term outcomes, such as heterotopic ossification, implant migration, or breakage, are needed to confirm the efficacy of the method.

CONCLUSION

This study demonstrated that the combined nail-plate fixation method is technically feasible and safe for the treatment of pubic symphysis disruptions and pubic rami fractures. The nail-plate system combines a small Pfannenstiel approach with high fixation stability provided by double nail locking. This allows for reduced operative time and lower risks associated with extensive surgical exposure.

The proposed method aligns with current trends in trauma surgery and may be recommended for clinical implementation in the management of unstable anterior pelvic ring injuries, particularly in patients with polytrauma or a high risk of infectious complications.

DISCLAIMERS

Author contribution

Zadneprovskiy N.N. — study concept and design, drafting the manuscript.

Fain A.M. — study concept, editing the manuscript.

Ivanov P.A. — editing the manuscript.

Bogolyubsky Yu.A. — literature search and review, editing the manuscript.

Mansurov A.N. — literature search and review, editing the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Sklifosovsky Research Institute For Emergency Medicine, protocol No 2, 30.04.2022.

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

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

1. Henes F.O., Nüchtern J.V., Groth M., Habermann C.R., Regier M., Rueger J.M. et al. Comparison of diagnostic accuracy of Magnetic Resonance Imaging and Multidetector Computed Tomography in the detection of pelvic fractures. *Eur J Radiol.* 2012;81(9):2337-2342. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.07.012.
2. Litvina E.A. Emergent Stabilization of Pelvic Bones Fractures in Polytrauma. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2014;21(1):19-25. (In Russian). doi: 10.17816/vto20140119-25.
3. Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(1):1-12. doi: 10.1302/0301-620X.70B1.3276697.
4. Gänsslen A., Pohlemann T., Paul C., Lobenhoffer P., Tschern H. Epidemiology of pelvic ring injuries. *Injury.* 1996;27 Suppl 1:13-20.
5. Petrikov S.S., Ivanov P.A., Zadneprovsky N.N. Comparison of the results of osteosynthesis with locking nails and external fixation devices in patients with damages of the anterior pelvic ring and abdominal organs. *Polytrauma.* 2024;(1):36-45. (In Russian). doi: 10.24412/1819-1495-2024-1-36-45.
6. Bondarenko A.V., Kruglykhin I.V., Plotnikov I.A., Voytenko A.N., Zhmurkov O.A. Features of treatment of pelvic injuries in polytrauma. *Polytrauma.* 2014;(3): 46-57. (In Russian).
7. Rommens P.M., Hessmann M.H. Staged reconstruction of pelvic ring disruption: differences in morbidity, mortality, radiologic results, and functional outcomes between B1, B2/B3, and C-type lesions. *J Orthop Trauma.* 2002; 16(2):92-98. doi: 10.1097/00005131-200202000-00004.
8. Donchenko S.V., Dubrov V.E., Golubyatnikov A.V., Chernyaev A.V., Kuz'kin I.A., Alekseev D.V. et al. Techniques for Final Pelvic Ring Fixation Based on the Method of Finite Element Modeling. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2014;21(1):38-44. (In Russian). doi: 10.17816/vto.211.
9. Grotz M.R.W., Allami M.K., Harwood P., Pape H.C., Krettek C., Giannoudis P.V. Open pelvic fractures: epidemiology, current concepts of management and outcome. *Injury.* 2005;36(1):1-13. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.029.
10. Cole P.A., Gauger E.M., Anavian J., Ly T.V., Morgan R.A., Heddings A.A. Anterior pelvic external fixator versus subcutaneous internal fixator in the treatment of anterior ring pelvic fractures. *J Orthop Trauma.* 2012; 26(5):269-277. doi: 10.1097/BOT.0b013e3182410577.
11. Lindahl J., Hirvensalo E. Outcome of operatively treated type-C injuries of the pelvic ring. *Acta Orthop.* 2005;76(5):667-678. doi: 10.1080/17453670510041754.

12. Vaidya R., Court T., Morandi M. "Max". InFix – a technique for anterior subcutaneous pelvic internal fixation in the management of pelvic ring injury. *Lo Scalpello J.* 2024;38:61-69. doi: 10.36149/0390-5276-315.
13. Vaidya R., Colen R., Vigdorchik J., Tonnos F., Sethi A. Treatment of unstable pelvic ring injuries with an internal anterior fixator and posterior fixation: initial clinical series. *J Orthop Trauma.* 2012;26(1):1-8. doi: 10.1097/BOT.0b013e318233b8a7.
14. Solod E.I., Lazarev A.F., Petrovskiy R.A., Ovcharenko A.V., Abdulkhabirov M.A., Alsmadi Ya.M. Potentialities of low invasive fixation of the anterior pelvic ring with threaded pin. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2018;25(3-4):6-11. (In Russian). doi: 10.17116/vto201803-0416.
15. Lindahl J., Hirvensalo E., Böstman O., Santavirta S. Failure of reduction with an external fixator in the management of injuries of the pelvic ring. Long-term evaluation of 110 patients. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(6):955-962. doi: 10.1302/0301-620x.81b6.8571.
16. Matta J.M. Indications for anterior fixation of pelvic fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(329):88-96. doi: 10.1097/00003086-199608000-00011.
17. Dienstknecht T., Berner A., Lenich A., Nerlich M., Fuechtmeier B. A minimally invasive stabilizing system for dorsal pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(11):3209-3217. doi: 10.1007/s11999-011-1922-y.
18. Qoreishy M., Alamian A., Movahedinia M., Keyhani S. A New Technique for Anterior Pelvic Ring Fixation Using a Minimally Invasive Approach. *Tech Orthop.* 2022;37(4):218-223. doi: 10.1097/BTO.0000000000000583.
19. Thierry M., Hermann J. Pfannenstiel (1862–1909) and the Pfannenstiel incision. *Gynecol Surg.* 2010;7(1):93-95. doi: 10.1007/s10397-009-0537-8.
20. Ivanov P.A., Zadneprovsky N.N., Nevedrov A.V., Kalensky V.O. Pubic Rami Fractures Fixation by Interlocking Intramedullary Nail: First Clinical Experience. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018;24(4):111-120. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-111-120.
21. Pape H.C., Tornetta P. 3rd, Tarkin I., Tzioupis C., Sabeson V., Olson S.A. Timing of fracture fixation in multitrauma patients: the role of early total care and damage control surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2009;17(9):541-549. doi: 10.5435/00124635-200909000-00001.
22. Solod E.I., Alhajj A., Abdulkhabirov M.A., Papoyan V.S., Bekshokov K.K. Conservative treatment of pelvic bone fractures in patients over 65 years old. *Bulletin of Pirogov National Medical Surgical Center.* 2025;20(3):83-87. doi: 10.25881/20728255_2025_20_3_83.
23. O'Neill D.E., Bradley H.R., Hull B., Pierce W., Grewal I.S., Starr A.J. et al. Percutaneous screw fixation of the pubic symphysis versus plate osteosynthesis: a biomechanical study. *OTA Int.* 2022;5(4):e215. doi: 10.1097/OI9.0000000000000215.
24. Pervez H., Parker M.J. Results of the long Gamma nail for complex proximal femoral fractures. *Injury.* 2001;32(9):704-707. doi: 10.1016/s0020-1383(01)00022-5.
25. Vaidya R., Woodbury D., Nasr K. Anterior Subcutaneous Internal Pelvic Fixation/INFIX: A Systemic Review. *J Orthop Trauma.* 2018;32 Suppl 6:S24-S30. doi: 10.1097/BOT.0000000000001248.
26. Rommens P.M., Graafen M., Arand C., Mehling I., Hofmann A., Wagner D. Minimal-invasive stabilization of anterior pelvic ring fractures with retrograde transpubic screws. *Injury.* 2020;51(2):340-346. doi: 10.1016/j.injury.2019.12.018.
27. Wu S., Chen J., Yang Y., Chen W., Luo R., Fang Y. Minimally invasive internal fixation for unstable pelvic ring fractures: a retrospective study of 27 cases. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):350. doi: 10.1186/s13018-021-02387-5.
28. Matta J.M., Tornetta P. 3rd. Internal fixation of unstable pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(329):129-140. doi: 10.1097/00003086-199608000-00016.
29. Liu S., Xiao B., Liu P., Wei Y., Liu Y., Fu D. New Concealed-Incision Extrapelvic Approach for Pubic Symphysis Diastasis and Parasymphyseal Fractures: Preliminary Results. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(17):1542-1550. doi: 10.2106/JBJS.19.01152.
30. Cole P.A., Dyskin E.A., Gilbertson J.A., Mayr E. Plate Osteosynthesis, Subcutaneous Internal Fixation and Anterior Pelvic Bridge Fixation. In: *Fragility Fractures of the Pelvis.* Springer International Publishing; 2017. p. 225-248. doi: 10.1007/978-3-319-66572-6_20.
31. Kim B.S., Oh J.K., Cho J.W., Yeo D.H., Cho J.M. Minimally Invasive Stabilization with Percutaneous Screws Fixation of APC-3 Pelvic Ring Injury. *J Trauma and Injury.* 2019;32(1):60-65. doi: 10.20408/jti.2018.015
32. Apivatthakakul T., Rujiwattanapong N. "Anterior subcutaneous pelvic internal fixator (INFIX), Is it safe?" A cadaveric study. *Injury.* 2016;47(10):2077-2080. doi: 10.1016/j.injury.2016.08.006.
33. Hiesterman T.G., Hill B.W., Cole P.A. Surgical technique: a percutaneous method of subcutaneous fixation for the anterior pelvic ring: the pelvic bridge. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(8):2116-2123. doi: 10.1007/s11999-012-2341-4.
34. Çavuşoğlu A.T., Erbay F.K., Özsoy M.H., Demir T. Biomechanical comparison of supraacetabular external fixation and anterior pelvic bridge plating. *Proc Inst Mech Eng H.* 2017;231(10):931-937. doi: 10.1177/0954411917718223.
35. Steer R., Balendra G., Matthews J., Wullschlegel M., Reidy J. The use of anterior subcutaneous internal fixation (INFIX) for treatment of pelvic ring injuries in major trauma patients, complications and outcomes. *SICOT J.* 2019;5:22. doi: 10.1051/sicotj/2019019.
36. Liporace F.A., Tang A., Jankowski J.M., Yoon R.S. Distal femur: nail plate combination and the linked construct. *OTA Int.* 2022;5(3):e172. doi: 10.1097/OI9.0000000000000172.

37. Kontakis M.G., Giannoudis P.V. Nail plate combination in fractures of the distal femur in the elderly: A new paradigm for optimum fixation and early mobilization? *Injury*. 2023;54(2):288-291. doi: 10.1016/j.injury.2022.11.035.
38. Bogdan Y., Dedhia N. Proximal tibia and tibial plateau nail-plate combinations: technical trick and case series. *OTA Int*. 2022;5(3):e181. doi: 10.1097/OI9.0000000000000181.
39. Sagi H.C., Afsari A., Dziadosz D. The anterior intra-pelvic (modified rives-stopppa) approach for fixation of acetabular fractures. *J Orthop Trauma*. 2010;24(5): 263-270. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181dd0b84.
40. Tucker M.C., Nork S.E., Simonian P.T., Routt M.L. Jr. Simple anterior pelvic external fixation. *J Trauma*. 2000;49(6): 989-994. doi: 10.1097/00005373-200012000-00002.

Authors' information

✉ Nikita N. Zadneprovskiy — Cand. Sci. (Med.)

Address: 3, Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow, 129090, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4432-9022>

eLibrary SPIN: 7796-2000

e-mail: ZadneprovskiyNN@sklif.mos.ru

Alexey M. Fain — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8616-920X>

eLibrary SPIN: 2232-0852

e-mail: FainAM@sklif.mos.ru

Pavel A. Ivanov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-2954-6985>

eLibrary SPIN: 9227-8442

e-mail: IvanovPA@sklif.mos.ru

Yuri A. Bogolyubsky — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-1509-7082>

eLibrary SPIN: 3842-5072

e-mail: BogoljubskijA@sklif.mos.ru

Alexander N. Mansurov

<https://orcid.org/0009-0000-0696-6840>

e-mail: MansurovAN@sklif.mos.ru

Научная статья

УДК [616-001+617.3]:004.6

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17768>

Анализ возможностей автоматизированной информационной системы сбора годовых отчетов для оценки результатов работы травматолого-ортопедической службы на региональном уровне

Е.В. Вебер¹, Т.Н. Воронцова¹, А.С. Богопольская¹, А.П. Середа², А.М. Чилилов³,
Р.М. Тихилов¹, И.И. Шубняков¹

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

² Министерство здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность исследования обусловлена потребностью в объективной оценке состояния травматолого-ортопедической службы в Российской Федерации и поиске эффективных инструментов для принятия управленческих решений в этой сфере.

Цель исследования — провести первичный анализ результатов работы травматолого-ортопедической службы в трех федеральных округах России по данным автоматизированной информационной системы сбора годовых отчетов.

Материал и методы. Для анализа брались данные из автоматизированной информационной системы сбора отчетов (АИС СО). С целью демонстрации возможностей данной системы анализу подверглись не все имеющиеся показатели, а лишь наиболее значимые в рамках изучаемого вопроса.

Результаты. На момент написания статьи были доступны сведения о работе 644 (44,1%) подразделений травматологии и ортопедии стационарного и амбулаторного звена из 1460, зарегистрированных в системе. Наиболее высокая заполняемость (61,1–71,7%) отмечается в Северо-Кавказском, Северо-Западном и Южном федеральных округах, поскольку они курируются ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России и включились в работу с АИС СО на год раньше остальных. В выделенных округах не все регионы принимают участие в заполнении АИС СО — в СЗФО данные представили 10 регионов из 11, в СКФО — 7 из 7, в ЮФО — 7 из 8. В настоящий момент информация о стационарах предоставляется лучше, чем об амбулаторно-поликлинических учреждениях, имеется информация о работе 218 стационаров и 210 амбулаторно-поликлинических учреждений.

Заключение. Проведенный анализ результатов показал, что информация из АИС СО позволяет поднять на новый качественный уровень оценку работы травматолого-ортопедической службы любого региона за счет детализации характера повреждений и лечебных мероприятий. Базовым моментом для принятия решений по маршрутизации пациентов должно стать понимание узкопрофильных аспектов работы службы и проблем, связанных непосредственно с оказанием специализированной помощи. По мере увеличения числа организаций, вносящих информацию в АИС СО, будут повышаться валидность данных и расширяться возможности анализа работы травматолого-ортопедической службы. При многолетнем функционировании накопленная база данных позволит проводить не только скрининговые исследования, но и наблюдение процессов в динамике.

Ключевые слова: организация медицинской помощи; травматолого-ортопедическая служба; автоматизированная информационная система; маршрутизация пациентов.

Для цитирования: Вебер Е.В., Воронцова Т.Н., Богопольская А.С., Середа А.П., Чилилов А.М., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. Анализ возможностей автоматизированной информационной системы сбора годовых отчетов для оценки результатов работы травматолого-ортопедической службы на региональном уровне. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):163–178. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17768>.

✉ Вебер Евгений Валерьевич; e-mail: wjhon@yandex.ru

Рукопись получена: 24.09.2025. Рукопись одобрена: 19.11.2025. Статья опубликована: 28.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Automated Information Reporting System to Assess the Performance of Trauma and Orthopedics Services at the Regional Level: Analysis of the Capabilities

Eugeni V. Veber¹, Tatiana N. Vorontsova¹, Anna S. Bogopol'skaya¹, Andrei P. Sereda², Abdula M. Chililov³, Rashid M. Tikhilov¹, Igor I. Shubnyakov¹

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

² Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ National Medical Research Center of Surgery named after A. Vishnevsky, Moscow, Russia

Abstract

Background. The relevance of this study is determined by the need for an objective assessment of the current state of the trauma and orthopedics service in the Russian Federation and the search for effective tools that can support informed management decisions in this field.

The aim of the study — to conduct a preliminary analysis of the performance of trauma and orthopedics services in three federal districts of Russia based on the data from an automated information system for collecting annual reports.

Methods. Data for the analysis were obtained from the automated information reporting system (AIRS). To demonstrate the capabilities of this system, we analyzed not all available indicators, but only those what were most relevant to the research question.

Results. At the time of writing, information was available on the performance of 644 (44.1%) inpatient and outpatient trauma and orthopedics units out of 1460 registered in the system. The highest reporting completeness (61.1-71.7%) was observed in the North Caucasian, Northwestern, and Southern Federal Districts, as these districts are supervised by the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics and began working with the AIRS one year earlier than the others. Not all regions within these districts participated in filling out the AIRS: in the Northwestern Federal District, data were provided by 10 out of 11 regions; in the North Caucasian Federal District, by 7 out of 7; and in the Southern Federal District, by 7 out of 8. At present, information from inpatient facilities is reported more completely than from outpatient clinics: data are available for 218 inpatient facilities and 210 outpatient institutions.

Conclusion. The analysis of the results demonstrated that data from the AIRS make it possible to elevate the assessment of the current state of trauma and orthopedics services in any region to a new qualitative level by providing detailed information on the nature of injuries and therapeutic interventions. A fundamental component of decision-making regarding patient routing should be an understanding of the highly specialized aspects of service operations and the key challenges in delivering specialized care. As the number of organizations contributing data to the AIRS increases, the validity of the information will improve, and the analytical capabilities for evaluating the performance of trauma and orthopedics services will expand. With long-term functioning, the accumulated database will enable not only screening studies but also the monitoring of processes over time.

Keywords: organization of medical care; trauma and orthopedics service; automated information system; patient routing.

Cite as: Veber E.V., Vorontsova T.N., Bogopol'skaya A.S., Sereda A.P., Chililov A.M., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I. Automated Information Reporting System to Assess the Performance of Trauma and Orthopedics Services at the Regional Level: Analysis of the Capabilities. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):163-178. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17768>.

✉ Eugeni V. Veber; e-mail: wjhon@yandex.ru

Submitted: 24.09.2025. Accepted: 19.11.2025. Published: 28.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Приказом № 125 Министерства здравоохранения Российской Федерации от 13 марта 2019 г. «Об утверждении Положения о формировании сети национальных медицинских исследовательских центров (НМИЦ) и об организации деятельности национальных медицинских исследовательских центров» по профилю «травматология и ортопедия» (ТО) была сформирована сеть из четырех федеральных центров Минздрава России: НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова, НМИЦ ТО им. Г.И. Турнера.

После преобразования РНИИТО в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена сотрудники Центра активно изучали научные труды по организации травматологической помощи в других странах [1, 2], в СССР [3, 4], в России в целом [5, 6, 7], в ее регионах [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15], медицинских организациях разных уровней [16, 17]. Это стало хорошим подспорьем в дальнейшей работе. Далее приступили к реализации направлений, указанных в ст. 3 Приказа № 125 — сбор данных о работе медицинских организаций прикрепленных регионов осуществлялся путем заполнения чек-листов. При этом каждый НМИЦ ТО занимался разработкой своих опросников отдельно, а затем отправлял в бумажном или электронном виде для заполнения. В результате информация о работе травматолого-ортопедической службы запрашивалась у главного внештатного специалиста (ГВС) региона по ТО, который, в свою очередь, запрашивал ее у заведующих отделениями ТО своего региона. Далее информация аккумулировалась у ГВС, и он вручную сводил все данные в единую таблицу и присылал в НМИЦ ТО. Это приводило к еще большей загруженности ГВС регионов. В связи с этим стали актуальными следующие задачи:

- 1) разгрузка ГВС при сборе информации;
- 2) упрощение сбора, внесения и передачи данных;
- 3) детализация информации по осуществляемой работе травматологами-ортопедами в регионах;
- 4) аккумулирование полученной информации в одном месте с удобным доступом к ней для всех пользователей;
- 5) упрощение процесса анализа данных за счет структурирования и формализации полученной информации.

На момент начала работы над системой в ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России имелся значительный положительный

опыт мониторинга работы травматолого-ортопедической службы отдельного субъекта РФ — г. Санкт-Петербурга. В течение 15 лет проводились сбор и анализ ежегодных отчетов заведующих всех амбулаторных и стационарных травматолого-ортопедических отделений города, включая медицинские организации (МО) федерального подчинения, но без частных клиник [18, 19, 20]. Отработанные и усовершенствованные в процессе использования отчетные формы при масштабировании задач нуждались в переводе в современный цифровой формат. Когда к информации профильной службы г. Санкт-Петербурга потребовалось добавить данные по трем курируемым федеральным округам, было принято решение разработать онлайн-платформу, на которой будут размещены все необходимые отчетные разделы и созданы личные кабинеты для всех пользователей. В 2021 г. было сформулировано техническое задание для создания автоматизированной информационной системы сбора отчетов (АИС СО). В 2022 г. АИС СО была запущена в тестовом режиме выборочно в девяти регионах трех округов (СЗФО, ЮФО, СКФО). В 2023 г. все 26 территорий СЗФО, ЮФО, СКФО были подключены к АИС СО. В 2024 г. НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова и НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова начали работу по присоединению к АИС СО. На данный момент все регионы России постепенно подключаются к работе на платформе единой АИС СО.

В настоящем исследовании представлен первый опыт анализа работы травматолого-ортопедической службы за 2023 г. на основе сведений, внесенных в АИС СО. Ввиду этого анализу подверглись только отдельные показатели для понимания возможностей данной системы.

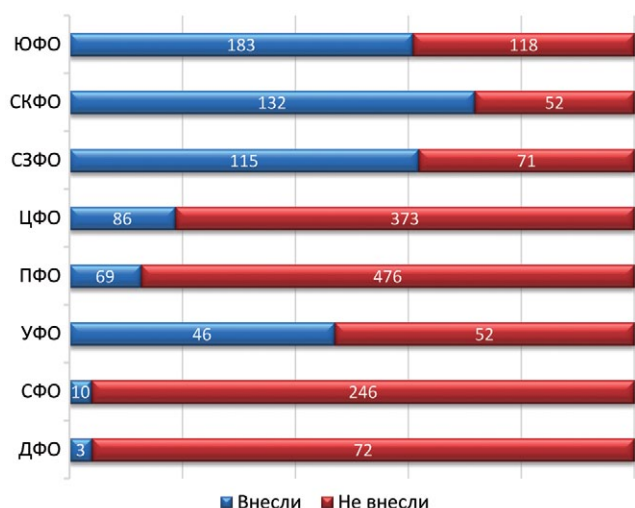
Цель исследования — провести первичный анализ результатов работы травматолого-ортопедической службы в трех федеральных округах России по данным автоматизированной информационной системы сбора годовых отчетов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа брали данные из АИС СО. С целью демонстрации возможностей данной системы анализу подверглись не все имеющиеся показатели, а лишь наиболее значимые в рамках изучаемого вопроса в 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

К началу аналитической обработки данных были доступны сведения о работе 644 (44,1%) подразделений травматологии и ортопедии стационарного и амбулаторного звена из 2104, зарегистрированных в системе (рис. 1).



Общие сведения о трех рассматриваемых округах. По данным Росстата*, на 01.01.2024 г. площадь СЗФО составляет около 1687 тыс. км², или 9,9% от всей площади России. Площадь СКФО — 170,4 тыс. км² (1% от территории России). Площадь ЮФО — 447,8 тыс. км² (2,61% от территории России). Суммарно три рассматриваемых округа занимают около 13,51% от всей площади территории России. Численность населения регионов этих округов представлена на рисунках 2–4. Всего в СЗФО проживает 13 840 352 человека, в СКФО — 10 251 083, в ЮФО — 16 624 081. Суммарно население этих регионов составляет 27,9% от населения всей Российской Федерации.

Рисунок 1. Распределение медицинских организаций по округам, внесших данные в АИС СО за 2023 г.

Figure 1. Distribution of healthcare facilities that entered data into the AIRS by districts in 2023

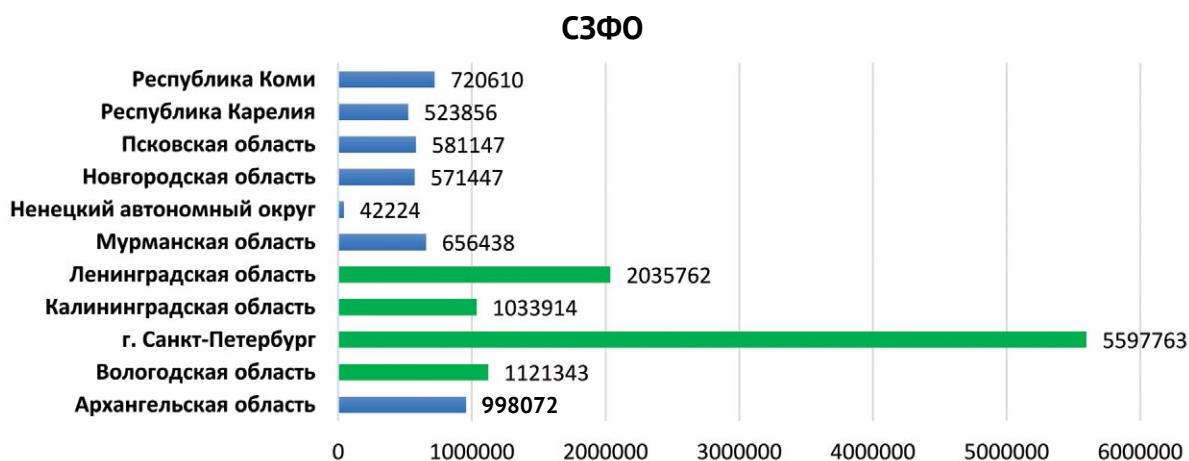


Рисунок 2. Численность населения СЗФО, по данным Росстата, на 01.01.2024 г.

Figure 2. Population of the Northwestern Federal District, according to the Federal State Statistics Service, as of 01.01.2024

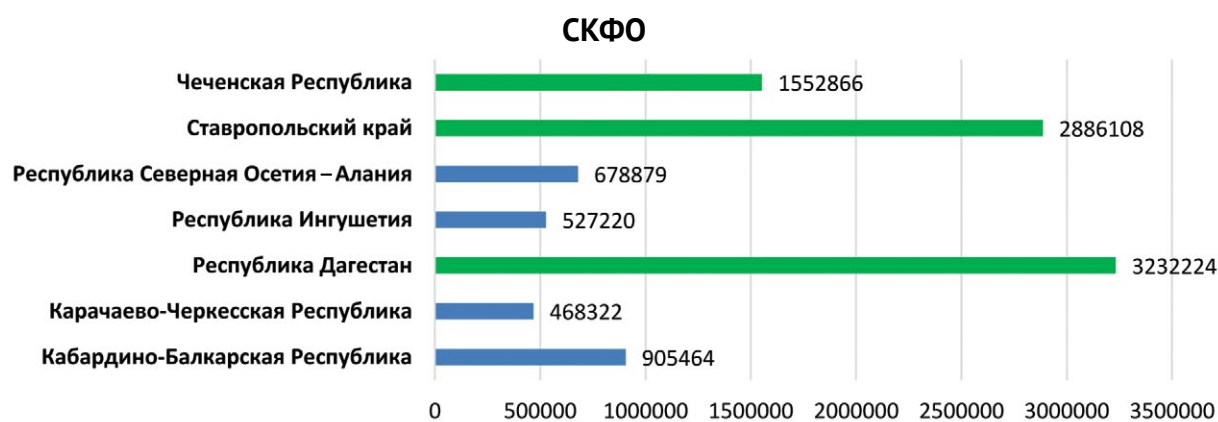


Рисунок 3. Численность населения СКФО, по данным Росстата, на 01.01.2024 г.

Figure 3. Population of the North Caucasian Federal District, according to the Federal State Statistics Service, as of 01.01.2024

* Регионы России. Основные характеристики субъектов РФ. 2024. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Subekt_2024.pdf

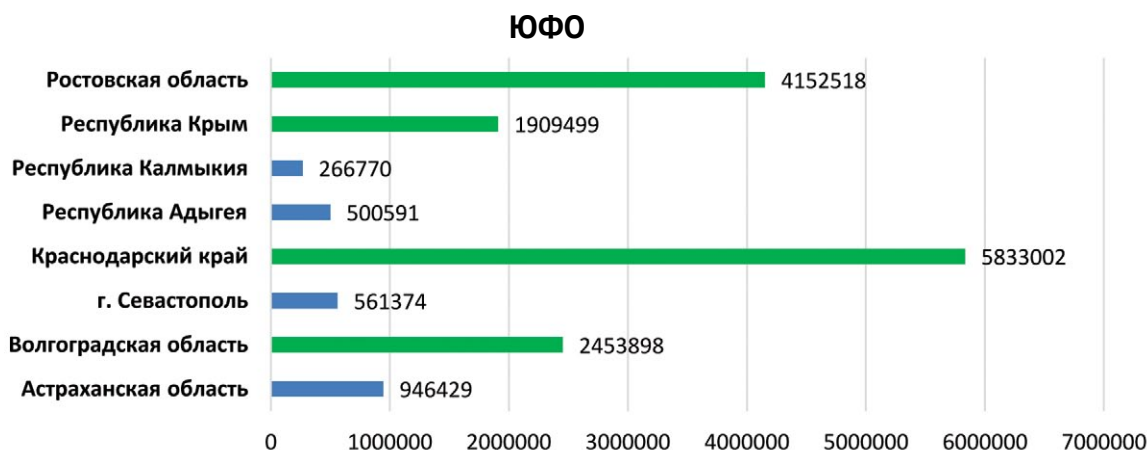


Рисунок 4. Численность населения ЮФО, по данным Росстата, на 01.01.2024 г.

Figure 4. Population of the Southern Federal District, according to the Federal State Statistics Service, as of 01.01.2024

Обращаемость пациентов с травмами, их последствиями и заболеваниями опорно-двигательной системы (ОДС) является одним из ключевых показателей, отражающим в целом востребованность данной специальности у населения. Во всех трех территориях различные травмы стали причиной обращения в 72–79% случаев (рис. 5).

Среди амбулаторных и стационарных медицинских организаций СЗФО, СКФО и ЮФО вы-

деляются по 2–3 региона из каждого округа с максимальным заполнением отчетных форм. Для большей наглядности они выделены цветом в таблице 1. В СЗФО это г. Санкт-Петербург (39 МО) и Мурманская область (14 МО), в СКФО — Республика Дагестан (61 МО) и Ставропольский край (36 МО), в ЮФО — Волгоградская область (33 МО), Краснодарский край (54 МО) и Республика Адыгея (8 МО).



Рисунок 5. Доли пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательной системы, обратившихся в медицинские организации округов в 2023 г.

Figure 5. Proportion of patients with injuries and musculoskeletal diseases who sought medical care in healthcare facilities of the districts in 2023

АИС СО позволяет детализировать распределение профильных пациентов по нозологическим группам, что, безусловно, невозможно получить из статистических форм государственной отчетности. Рассматривая обращаемость в амбулаторно-клиническое учреждение (АПУ) пациентов с привязкой к их последующему направлению в стационар,

можно с большой долей уверенности говорить о недостаточно проработанной системе маршрутизации пациентов (табл. 2).

База данных АИС СО позволяет не только анализировать спектр нозологических групп пациентов, но и оценивать хирургическую активность стационаров в зависимости от типа травмы (табл. 3).

Таблица 1

**Количество обращений пациентов с травмами и заболеваниями
в медицинские организации СЗФО, СКФО, ЮФО (2023)**

Округ	Регион	АПУ/ Стац.	Кол-во МО, заполнивших отчеты	Количество обращений		Всего
				Травмы, абс. ч. (%)	Заболевания ОДС, абс. ч. (%)	
СЗФО	Архангельская область	АПУ	1	2506 (75)	824 (25)	3330
		Стац	8	4367 (80)	1100 (20)	5467
	Вологодская область	АПУ	1	1912 (83)	387 (17)	2299
		Стац	7	5867 (79)	1547 (21)	7414
	г. Санкт-Петербург	АПУ	23	409954 (91)	42615 (9)	452569
		Стац	16	35919 (82)	7777 (18)	43696
	Калининградская область	АПУ	4	39209 (96)	1463 (4)	40672
		Стац	3	2327 (67)	1136 (33)	3463
	Ленинградская область	АПУ	1	2179 (50)	2202 (50)	4381
		Стац	19	16758 (80)	4128 (20)	20886
	Мурманская область	АПУ	7	35631 (61)	22755 (39)	58386
		Стац	7	4955 (54)	4221 (46)	9176
	Ненецкий авт. округ	АПУ	0	н/д	н/д	н/д
		Стац	0	н/д	н/д	н/д
	Новгородская область	АПУ	2	2831 (66)	1487 (34)	4318
		Стац	4	4400 (87)	658 (13)	5058
	Псковская область	АПУ	1	16954 (100)	0 (0)	16954
		Стац	4	2614 (71)	1057 (29)	3671
	Республика Карелия	АПУ	1	248 (77)	73 (23)	321
		Стац	4	3079 (72)	1215 (28)	4294
	Республика Коми	АПУ	0	н/д	н/д	н/д
		Стац	2	963 (67)	477 (33)	1440
	Всего	АПУ	41	511424 (88)	71806 (12)	583230
		Стац	74	81249 (78)	23316 (22)	104565
СКФО	Кабардино-Балкарская Республика	АПУ	2	39 (28)	98 (72)	137
		Стац	1	1433 (79)	388 (21)	1821
	Карачаево-Черкесская Республика	АПУ	2	26 (32)	55 (68)	81
		Стац	3	3831 (31)	8692 (69)	12523
	Республика Дагестан	АПУ	52	3921 (11)	33182 (89)	37103
		Стац	9	12328 (74)	4248 (26)	16576
	Республика Ингушетия	АПУ	0	н/д	н/д	н/д
		Стац	1	677 (96)	29 (4)	706
	Республика Северная Осетия — Алания	АПУ	3	3525 (76)	1140 (24)	4665
		Стац	6	6222 (82)	1363 (18)	7585
	Ставропольский край	АПУ	18	8822 (39)	14064 (61)	22886
		Стац	18	28051 (85)	4877 (15)	32928
	Чеченская Республика	АПУ	12	5054 (59)	3537 (41)	8591
		Стац	4	13769 (91)	1287 (9)	15056
	Всего	АПУ	89	21387 (29)	52076 (71)	73463
		Стац	42	66311 (76)	20884 (24)	87195

Окончание таблицы 1

Округ	Регион	АПУ/ Стац.	Кол-во МО, заполнивших отчеты	Количество обращений		Всего
				Травмы, абс. ч. (%)	Заболевания ОДС, абс. ч. (%)	
ЮФО	Астраханская область	АПУ	0	н/д	н/д	н/д
		Стац	2	1394 (92)	116 (8)	1510
	Волгоградская область	АПУ	24	4271 (19)	18571 (81)	22842
		Стац	9	9271 (81)	2159 (19)	11430
	г. Севастополь	АПУ	0	н/д	н/д	н/д
		Стац	0	н/д	н/д	н/д
	Краснодарский край	АПУ	12	8230 (60)	5540 (40)	13770
		Стац	42	81103 (90)	9277 (10)	90380
	Республика Адыгея	АПУ	4	18344 (93)	1353 (7)	19697
		Стац	4	1450 (73)	532 (27)	1982
	Республика Калмыкия	АПУ	1	295 (19)	1261 (81)	1556
		Стац	4	859 (72)	337 (28)	1196
	Республика Крым	АПУ	3	49 (4)	1329 (96)	1378
		Стац	4	1189 (71)	488 (29)	1677
	Ростовская область	АПУ	36	13349 (26)	38099 (74)	51448
		Стац	36	32506 (78)	9212 (22)	41718
	Всего	АПУ	80	44538 (40)	66153 (60)	110691
		Стац	101	127772 (85)	22121 (25)	149893
	Итого	АПУ	210	577349 (75)	190035 (25)	767384
		Стац	217	275332 (81)	66321 (19)	341653

Таблица 2

Обращаемость пациентов с травмами в амбулаторное звено СЗФО, СКФО и ЮФО

Нозологические группы амбулаторных пациентов	СЗФО				СКФО				ЮФО			
	Кол-во пациентов	Направлены в стационар		Кол-во пациентов	Направлены в стационар		Кол-во пациентов	Кол-во пациентов	Направлены в стационар		Кол-во пациентов	Кол-во пациентов
		n	%		n	%			n	%		
Травмы головного мозга	15481	10643	69	7055	2684	38	14257	10544	74			
Переломы костей черепа и лицевого скелета	2573	1628	63	602	306	51	2878	1950	68			
Переломы позвоночника	3924	1873	48	1004	646	64	2823	2131	75			
Переломы ребер	9694	1676	17	3865	701	18	5755	1411	25			
Переломы костей таза, в т. ч. с разрывом тазового кольца	1194	647	54	854	407	48	828	634	77			
Переломы ключицы и лопатки	3168	1304	41	3322	939	28	3832	1531	40			
Переломы или переломовывихи проксимального отдела плечевой кости	7713	2671	35	2903	877	30	5751	1562	27			
Переломы диафиза плечевой кости	2314	1010	44	1279	634	50	1523	1213	80			
Переломы дистального отдела плечевой кости	2261	621	27	1707	631	37	1690	915	54			
Переломы проксимального отдела костей предплечья	4442	1164	26	4674	1192	26	5360	925	17			
Переломы диафизов костей предплечья	2665	887	33	2959	1405	47	1896	797	42			
Переломы дистального отдела костей предплечья	19159	2865	15	7354	1936	26	11992	1932	16			
Другие переломы и переломовывихи костей предплечья	1279	333	26	2590	1142	44	1945	670	34			
Переломы кисти	21722	3200	15	11348	1756	15	18022	2364	13			
Переломы проксимального отдела бедренной кости	1849	999	54	2735	2073	76	2032	1553	76			
Переломы диафиза бедренной кости	542	208	38	1042	788	76	471	375	80			
Переломы дистального отдела бедренной кости	486	258	53	1049	933	89	450	343	76			
Переломы надколенника	1256	519	41	1914	1348	70	883	521	59			
Переломы проксимального отдела костей голени	2160	661	31	3453	2668	77	2246	963	43			
Изолированный перелом диафизов костей голени	1387	540	39	2289	1551	68	1404	948	68			
Переломы дистального отдела голени	12191	3259	27	9653	5676	59	7709	2629	34			
Переломы и переломовывихи стопы, исключая голеностопный сустав	17484	2442	14	4787	776	16	16453	2103	13			

Множественные переломы неуточненные / разных сегментов	1196	514	43	1636	688	42	1072	677	63
Вывихи тел позвонков	28	25	89	19	12	63	42	36	86
Вывихи ключицы	1338	814	61	1512	777	51	909	622	68
Вывихи плеча	4168	532	13	3405	1389	41	3537	581	16
Вывихи и переломовывихи предплечья	859	409	48	1603	595	37	1151	339	29
Вывихи кисти и в других суставах кисти	4425	602	14	655	161	25	1048	145	14
Вывихи бедра	135	95	70	172	120	70	142	86	61
Вывихи надколенника	332	86	26	321	135	42	237	125	53
Вывихи голени	118	18	15	426	137	32	101	39	39
Травматические ампутации	867	405	47	635	508	80	964	427	44
Раны мягких тканей	69686	3569	5	20167	1942	10	57923	4230	7
Ушибы (кроме головного мозга)	124716	5122	4	43057	935	2	109162	2605	2
Повреждения связочного аппарата верхней конечности	26275	176	1	12052	1331	11	13700	783	6
Повреждения связочного аппарата и внутрисуставные повреждения коленного сустава	21946	1195	5	10078	2087	21	13553	1259	9
Повреждения связочного аппарата голеностопного сустава	45228	418	1	12588	1374	11	29899	3678	12
Повреждения связочного аппарата других локализаций	10359	233	2	6003	169	3	6509	253	4
Повреждения мышц, сухожилий верхней конечности, кроме кисти	2499	402	16	5520	629	11	1262	399	32
Повреждения мышц, сухожилий кисти	3721	1562	42	4145	1807	44	3514	1579	45
Повреждения мышц, сухожилий нижней конечности	3359	710	21	6940	1309	19	1888	467	25
Инородные тела (в т. ч. укусы клещей)	15990	516	3	4330	528	12	7285	611	8
Ожоги и обморожения	6115	612	10	1988	556	28	3319	915	28
Гематомы	5685	1960	34	2874	540	19	3247	1164	36
Проникающие ранения полостей	125	101	81	157	147	94	146	108	74
Прочие	27310	2237	8	17867	1867	10	26194	1813	7
Всего	511424	61721	12	236588	50812	22	396804	60955	16

Таблица 3

Соотношение пациентов с травмами, обратившихся за медицинской помощью и прооперированных в стационарах СЗФО, СКФО и ЮФО

Нозологические группы стационарных пациентов	СЗФО		СКФО		ЮФО	
	Кол-во пациентов	Из них прооперировано n %	Кол-во пациентов	Из них прооперировано n %	Кол-во пациентов	Из них прооперировано n %
Травмы головного мозга	7072	1387 20	5254	606 12	14779	887 6
Переломы костей черепа и лицевого скелета	1701	765 45	486	106 22	1303	211 16
Переломы позвоночника	1494	240 16	513	55 11	2277	288 13
Переломы ребер	1687	233 14	1468	192 13	2253	520 23
Переломы костей таза, в т. ч. с разрывом тазового кольца	1077	422 39	640	300 47	1020	245 24
Переломы ключицы и лопатки	2333	1624 70	1593	1098 69	2353	1728 73
Переломы или переломовывихи проксимального отдела плечевой кости	3654	2279 62	1602	851 53	3294	1803 55
Переломы диафиза плечевой кости	1272	1016 80	775	566 73	1309	1062 81
Переломы дистального отдела плечевой кости	710	527 74	763	443 58	1783	672 38
Переломы проксимального отдела костей предплечья	1191	768 64	1230	440 36	1991	845 42
Переломы диафизов костей предплечья	836	648 78	1115	647 58	1543	1093 71
Переломы дистального отдела костей предплечья	3427	1783 52	2474	1021 41	3173	1783 56
Другие переломы и переломовывихи костей предплечья	365	185 51	364	177 49	335	185 55
Переломы кисти	1503	1045 70	2919	1208 41	3441	1971 57
Переломы проксимального отдела бедренной кости	9299	6983 75	2827	2196 78	6936	4578 66
Переломы диафиза бедренной кости	1027	800 78	917	784 85	1072	909 85
Переломы дистального отдела бедренной кости	586	436 74	573	450 79	823	502 61
Переломы надколенника	721	551 76	601	407 68	857	720 84
Переломы проксимального отдела костей голени	1099	700 64	1105	485 44	1862	1091 59
Изолированный перелом диафизов костей голени	1796	1510 84	1049	669 64	1839	1541 84
Переломы дистального отдела голени	4664	3790 81	1433	1031 72	4707	3571 76

Переломы и переломовывихи стопы, исключая голеностопный сустав	1552	791	51	1445	422	29	2378	1108	47
Множественные переломы неуточненные / разных сегментов	1864	1328	71	606	356	59	1866	1187	64
Вывихи тел позвонков	64	1	2	79	3	4	180	8	4
Вывихи ключицы	909	669	74	711	567	80	859	717	83
Вывихи плеча	1170	534	46	634	282	44	910	291	32
Вывихи и переломовывихи предплечья	320	143	45	349	154	44	440	227	52
Вывихи кисти и в других суставах кисти	182	97	53	423	173	41	215	111	52
Вывихи бедра	303	160	53	219	124	57	295	110	37
Вывихи надколенника	165	50	30	121	50	41	161	62	39
Вывихи голени	14	13	93	78	17	22	32	12	38
Травматические ампутации	257	230	89	253	195	77	598	513	86
Раны мягких тканей	3893	2763	71	4263	2890	68	16658	11174	67
Ушибы (кроме головного мозга)	4583	233	5	9201	251	3	16752	328	2
Повреждения связочного аппарата верхней конечности	1034	152	15	925	158	17	1233	382	31
Повреждения связочного аппарата и внутрисуставные повреждения коленного сустава	3316	1727	52	3436	2522	73	2760	1782	65
Повреждения связочного аппарата голеностопного сустава	1615	227	14	1884	145	8	2521	278	11
Повреждения связочного аппарата других локализаций	719	34	5	439	86	20	376	60	16
Повреждения мышц, сухожилий верхней конечности кроме кисти	456	302	66	634	264	42	694	412	59
Повреждения мышц, сухожилий кисти	568	432	76	1045	763	73	1620	1365	84
Повреждения мышц, сухожилий нижней конечности	764	555	73	817	273	33	829	592	71
Инородные тела (в т. ч. укусы клещей)	640	329	51	2532	608	24	1379	647	47
Ожоги и обморожения	697	337	48	910	226	25	1204	414	34
Гемартроз	1283	605	47	1335	480	36	1556	837	54
Проникающие ранения полостей	152	111	73	160	97	61	205	183	89
Прочие	7215	4676	65	3434	2326	68	11707	3493	30
Всего	81249	44191	55	65634	27164	42	126378	52498	42

ОБСУЖДЕНИЕ

Любая новая форма отчетности при ее внедрении в регионах требует времени на отладку процесса. Плюсом в нашем случае был накопленный опыт проведения мониторинга работы травматолого-ортопедической помощи г. Санкт-Петербурга. Чтобы сократить разброс вариантов интерпретации клинико-статистических групп заполняющими врачами, на начальных этапах заполнения отчетных форм была сформирована вспомогательная таблица, в которой напротив каждой клинико-статистической группы были перечислены соответствующие диагнозы и их коды по МКБ-10. Также позиционно были разделены собственно травмы, их последствия и ортопедические заболевания. В комплекте дополнительно были представлены таблицы по оказанию высокотехнологичной помощи, хирургической активности и ее основным результатам. Совершенствование отчетных форм на основе постоянной обратной связи от травматологов-ортопедов города велось непрерывно в течение нескольких лет. В итоге позиции отчета стали интуитивно понятны заведующим отделениями, проводившим заполнение отчетных форм, и руководителям при первичной аналитической обработке данных своих подчиненных.

При масштабировании имевшейся информационной базы на МО курируемых федеральных округов проявились проблемы, которые в принципе были ожидаемы. Технические проблемы — различная степень оснащенности территориальных МО, что повлияло на готовность к работе с платформой. Стоит отметить, что компьютерное оборудование доукомплектовалось в течение первого года. Профессиональные проблемы — все вопросы, связанные с подключением личных кабинетов и непосредственно с заполнением отчетных форм решались сразу по мере их поступления. Прочие проблемы: в ряде случаев при ежегодной аналитической обработке материала возникали вопросы к его полноте и достоверности, которые решались с ГВС онлайн либо во время очного посещения региона. Безусловно, как и при абсолютно любом сборе больших объемов статистической информации, может возникнуть сомнение в ее абсолютной достоверности. Тем не менее практически полное отсутствие такой подробной информации в официальных формах государственной отчетности, необходимой для понимания состояния и работы травматолого-ортопедической службы в курируемых регионах, позволяет считать полученные данные пригодными для аналитической обработки.

Относительно рассматриваемого 2023 г. наиболее высокая заполняемость (от 60,8 до 71,7%) отмечается в СКФО, СЗФО и ЮФО, поскольку данные округа на год раньше включились в работу с системой. Из других территорий выгодно выделяется

УФО, где заполняемость составила 46,9%, а в остальных округах в настоящий момент заполняемость колеблется от 3,9 до 18,7%. В связи с этим дальнейший анализ проводился по трем федеральным округам с наиболее полным внесением данных. Следует обратить внимание на то, что в данных округах также отмечаются пробелы в заполнении АИС СО — в СЗФО данные не представил НАО, в ЮФО — г. Севастополь.

Плотность населения в СЗФО выше, чем в двух других рассматриваемых округах. В СЗФО расположен второй по численности населения город России, Санкт-Петербург, что сказывается на показателях работы травматолого-ортопедической службы. Даже при беглом ознакомлении с данными системы между этими тремя округами отмечается существенная разница в организации и реализации травматолого-ортопедической помощи населению.

Отличия в плотности населения и территориальной доступности травматолого-ортопедической помощи создают специфические проблемы с маршрутизацией профильных пациентов. Во всех регионах в подавляющем большинстве случаев обращение за специализированной помощью происходит в результате различных травм. Обращение по поводу заболеваний ОДС в трех федеральных округах составляло от 21 до 28%.

И между федеральными округами в целом, и внутри каждого округа между регионами отмечалась значительная разница в распределении обращаемости пациентов в амбулаторные и стационарные МО для оказания травматолого-ортопедической помощи.

На момент выборки данные по стационарам представлены в более полном объеме, чем по АПУ. В базе данных имеется информация о работе 217 стационаров и 210 АПУ. В целом в рассматриваемые АПУ трех округов обратилось в 2,2 раза больше пациентов с травмами и заболеваниями ОДС, чем в приемные отделения стационаров. Такое распределение нагрузки представляется совершенно закономерным и обусловлено статистическим соотношением легких и тяжелых травм. При этом внутри регионов отмечается значительная разница в распределении потоков пациентов, что отчасти можно объяснить неодинаковой территориальной доступностью МО, на базе которых оказывается экстренная и плановая помощь пациентам с травмами и заболеваниями ОДС.

В целом как в стационарные, так и амбулаторные МО чаще попадают пациенты с травмами (81% и 75% всех обратившихся соответственно). Но, как и по другим показателям, отмечается значительный разброс данных в зависимости от субъекта РФ. Так, в амбулаторных МО г. Санкт-Петербурга наблюдается максимальный поток пациентов с травмой — 409 954 (91%), в то время как

пациентов с заболеваниями ОДС, обратившихся к травматологу-ортопеду, в 10 раз меньше — 42 615 (9%). Такая специфика обращаемости характерна именно для Санкт-Петербурга, в котором амбулаторный прием пациентов с ортопедической патологией осуществляют хирурги городских поликлиник, а не травматологи-ортопеды, что затрудняет понимание потребности в хирургическом лечении профильных пациентов.

В городские больницы Санкт-Петербурга обратились 35 919 пациентов с травмами, что составило 82% от всех обращений, а с заболеваниями ОДС — 7777 (18%). В Мурманской области все показатели смещаются в сторону количества заболеваний ОДС почти в 2–3 раза (амбулаторно: травмы — 35 631 (61%), заболевания — 22 755 (39%); стационарно: травмы — 4955 (54%), заболевания — 4221 (46%)).

В СКФО ситуация выглядит диаметрально противоположной в сравнении с СЗФО за счет большого количества обращений пациентов с заболеваниями ОДС в амбулаторные МО (Республика Дагестан — 33 182 (89%), Ставропольский край — 14 064 (61%)), в то время как пациенты с травмами часто обращаются в больницы региона (Республика Дагестан — 12 328 (74%), Ставропольский край — 28 051 (85%)).

В ЮФО в Волгоградской области ситуация схожа с СКФО, а в Республике Адыгея пропорция максимально близка к ситуации в Санкт-Петербурге. Вероятно, такое распределение потоков пациентов объясняется сложившимися традициями обращения пациентов к определенным специалистам, выраженностью кадрового дефицита и большей доступностью АПУ, чем стационаров. Кроме того, пациенты с целым рядом заболеваний ОДС обращаются за консультативной помощью к врачам других специальностей (терапевтам, хирургам, ревматологам и неврологам), и лишь непосредственно оперативная помощь оказывается в профильных отделениях травматологии и ортопедии.

В среднем были перенаправлены с приема в АПУ на стационарное лечение 12% пациентов в СЗФО, 22% — в СКФО, 16% — в ЮФО. Во всех регионах наиболее часто перенаправляли пациентов с проникающими ранениями полостей — 81%, 91%, 74% соответственно и с переломами длинных костей нижних и верхних конечностей, наиболее редко — с повреждениями связочного аппарата голеностопного и лучезапястного суставов. Усредненная картина по трем регионам выглядит примерно одинаково, имеющиеся различия представлены в таблице 2. Сходным во всех регионах является большое количество пациентов, обратившихся в амбулаторную сеть с тяжелыми травмами, однозначно требующими стационарного лечения. Учитывая, что самостоятельное обращение пациентов с переломами бедренной кости или костями голени сомнительно, можно предположить, что

это серьезный дефект маршрутизации пострадавших бригадами скорой помощи.

Современные технологии остеосинтеза, артроскопии и эндопротезирования позволяют максимально быстро и с хорошим функциональным результатом лечить повреждения и заболевания органов опоры и движения. Учитывая достаточно высокую стоимость стационарного койко-дня, логично предположить, что госпитализация пациента должна осуществляться для проведения лечения, невозможного в амбулаторных условиях. Таким образом, показатель хирургической активности является одним из важнейших маркеров при оценке деятельности профильного отделения. Низкая хирургическая активность может быть вызвана несколькими основными факторами: кадровым дефицитом специалистов различного уровня, отсутствием у врачей знаний и навыков для выполнения всего необходимого спектра операций, низкой материально-технической обеспеченностью стационара и неправильной маршрутизацией пациентов в целом, при которой в стационар госпитализируются пациенты, не нуждающиеся в оперативном лечении в условиях стационара. Помимо перечисленных факторов, могут быть и другие, которые выявляются в ходе углубленного изучения состояния на местах. Низкая хирургическая активность травматолого-ортопедических отделений, помимо прочих причин, обусловлена отсутствием полноценной анестезиологической службы.

Безусловным преимуществом АИС СО является возможность максимально детального (в отличие от существующих форм государственной статистической отчетности) распределения обратившихся пациентов по нозологическим группам. Также база данных АИС СО содержит сведения о штатно-кадровом составе травматолого-ортопедических отделений МО, информацию о пациентах, обратившихся с заболеваниями системы органов опоры и движения, а также о количестве операций в зависимости от вида оказанной помощи, использовании технологий эндопротезирования, артроскопии и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный первичный анализ результатов показал, что информация из автоматизированной системы сбора отчетов позволяет поднять на новый качественный уровень оценку состояния травматолого-ортопедической службы любого региона за счет детализации характера повреждений и лечебных мероприятий. По мере увеличения числа организаций, вносящих информацию в систему, будут повышаться валидность данных и расширяться возможности анализа работы травматолого-ортопедической службы.

Базовым моментом для принятия решений по маршрутизации пациентов должно стать по-

нимание узкопрофильных аспектов работы травматолого-ортопедической службы и проблем, связанных непосредственно с оказанием специализированной помощи. При дальнейшем накоплении одноформатного материала станет возможна трассировка признаков. Анализ динамики показателей позволит объективно обосновать измене-

ния в ранее устоявшейся системе маршрутизации профильных пациентов на уровне федерального округа.

При многолетнем функционировании база данных позволит проводить не только скрининговые исследования, но и наблюдение процессов в динамике.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Вебер Е.В. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Воронцова Т.Н. — анализ и интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста рукописи.

Богопольская А.С. — анализ и интерпретация полученных данных, поиск и анализ литературы, редактирование текста рукописи.

Середа А.П. — концепция, анализ и интерпретация данных, редактирование текста рукописи.

Чилилов А.М. — анализ и интерпретация данных.

Тихилов Р.М. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Шубняков И.И. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, 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. Не требуется.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Veber E.V. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, drafting the manuscript.

Vorontsova T.N. — data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

Bogopol'skaya A.S. — data analysis and interpretation, literature search and review, editing the manuscript.

Sereda A.P. — study concept, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

Chililov A.M. — data analysis and interpretation.

Tikhilov R.M. — study concept and design, editing the manuscript.

Shubnyakov I.I. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, drafting the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Тимофеева А.С., Злобина Ю.С. Модели оказания травматологической помощи: мировой опыт: экспертный обзор. Москва: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ»; 2024. 24 с. Режим доступа: <https://niiioz.ru/upload/iblock/8fd/8fd96f1d64b14faeb486e78f77a4bdf1.pdf>.
Timofeeva A.S., Zlobina Yu.S. Models of trauma care delivery: global experience: an expert review. Moscow: NIIOZMM; 2024. 24 p. Available at: <https://niiioz.ru/upload/iblock/8fd/8fd96f1d64b14faeb486e78f77a4bdf1.pdf>.
2. Бекарисов О.С., Исаков Е.С., Мусина Г.А. О реализации дорожной карты по внедрению интегрированной модели оказания медицинской помощи при травмах и несчастных случаях. *Traumatology and Orthopedics of Kazakhstan*. 2021;57(2):4-16. doi: 10.52889/1684-9280-2021-2-57-4-16.

- Bekarissov O., Isakov Ye., Mussina G. About the Implementation of the Roadmap for the Implementation of an Integrated Model for the Provision of Medical Care in Case of Injuries and Accidents. *Traumatology and Orthopedics of Kazakhstan*. 2021;57(2):4-16. (In Russian). doi: 10.52889/1684-9280-2021-2-57-4-16.
3. Приоров Н.Н. О путях развития отечественной травматологии и ортопедии. В кн.: *Организация травматологической и ортопедической помощи*. Москва; 1959. С. 7-25.
Priorov N.N. On the paths of development of domestic traumatology and orthopedics. In: *Organization of traumatological and orthopedic care*. Moscow; 1959. p. 7-25. (In Russian).

4. Моргошия Т.Ш., Апчел В.Я., Рыжова А.М. У истоков организации травматологической помощи населению Советского Союза. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2020;22(1):268-272. doi: 10.17816/brmma26005.
Morgoshiia T.Sh., Apchel V.Ya., Ryzhova A.M. At the origins of the organization of trauma care to the population of the Soviet Union. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;22(1):268-272. (In Russian). doi: 10.17816/brmma26005.
5. Щепин В.О., Шишкин Е.В. Роль травм, отравлений и некоторых других последствий воздействия внешних причин в смертности населения Российской Федерации. *Менеджер здравоохранения*. 2018;(6):18-24.
Shchepin V.O., Shishkin E.V. The role of injury, poisoning and certain other consequences of external causes of mortality in the population of the Russian Federation. *Manager of Health Care*. 2018;(6):18-24. (In Russian).
6. Леонов С.А., Огрызко Е.В., Андреева Т.М. Динамика основных показателей автодорожного травматизма в Российской Федерации. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2009;16(3):86-91. doi: 10.17816/vto200916386-91.
Leonov S.A., Ogryzko E.V., Andreeva T.M. Dynamics of Traffic Injuries in Russian Federation. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2009;16(3):86-91. (In Russian). doi: 10.17816/vto200916386-91.
7. Щепин В.О., Шишкин Е.В. Современные проблемы травматизма в Российской Федерации. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2020;28(5):877-882. doi: 10.32687/0869-866X-2020-28-5-877-882.
Schepin V.O., Shishkin E.V. The actual problems of traumatism in the Russian Federation. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2020;28(5):877-882. (In Russian). doi: 10.32687/0869-866X-2020-28-5-877-882.
8. Щербак Н.П., Мансуров Д.Ш., Дорофеев Ю.Л., Хайдаров В.М., Ткаченко А.Н. Особенности организации травматологической помощи в регионах Российской Федерации. *Физическая и реабилитационная медицина*. 2021;3(3):62-72. doi: 10.26211/2658-4522-2021-3-3-62-72.
Shcherbak N.P., Mansurov D.Sh., Dorofeev Yu.L., Khajdarov V.M., Tkachenko A.N. Features of the organization of traumatological care in the regions of the Russian Federation. *Physical and Rehabilitation Medicine*. 2021;3(3):62-72. (In Russian). doi: 10.26211/2658-4522-2021-3-3-62-72.
9. Иванов С.М., Иванов М.В., Крети́нин Г.Ю., Иванова Г.Н. Актуальные вопросы организации медицинской помощи пациентам травматологического профиля в сельских районах. *Многопрофильный стационар*. 2020;7(1):6-13.
Ivanov S.M., Ivanov M.V., Kretinin G.Yu., Ivanova G.N. Current issues in the organization of medical care for trauma patients in rural areas. *Multidisciplinary Hospital*. 2020;7(1):6-13. (In Russian).
10. Руголь Л.В., Боряк А.Л. Проблемы и перспективы организации травматологической помощи на современном этапе. Аналитический обзор. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2024;70(3):3. doi: 10.21045/2071-5021-2024-70-3-3.
Rugol L., Boryak A. Problems and prospects of trauma care organisation at the present stage. Analytical Review. *Social Aspects of Population Health*. 2024;70(3):3. (In Russian). doi: 10.21045/2071-5021-2024-70-3-3.
11. Гладских Н.А., Голуб В.А., Семенов С.Н., Чопоров О.Н. Применение статистических методов прогнозирования и гис-технологий для мониторинга системы регионального здравоохранения. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2008;(1):111-116.
Gladskih N.A., Golub V.A., Semenov S.N., Choporov O.N. Application of statistical forecasting methods and GIS technologies for monitoring the regional healthcare system. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2008;(1):111-116. (In Russian).
12. Гречухин И.В., Андреев М.К., Акишкин В.Г. Использование информационно-коммуникативных технологий для персонализированного учёта объемов оказываемой помощи лицам с травмами в Астраханском медико-географическом регионе. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2015;6(46):2. Режим доступа: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/717/30/lang,ru/>.
Grechukhin I.V., Andreev M.K., Akishkin V.G. Using information and communication technologies to personify volumes of care provided to patients with injuries in the Astrakhan medical and geographic region. *Social Aspects of Population Health*. 2015;6(46):2. (In Russian). Available from: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/717/30/lang,en/>.
13. Щепин В.О., Шишкин Е.В. Экономические аспекты вследствие смертности от травматизма на региональном уровне. *Уральский медицинский журнал*. 2019;8(176):101-104. doi: 10.25694/URMJ.2019.08.38.
Schepin V.O., Shishkin E.V. Economic aspects due to injury deaths at the regional level. *Ural Medical Journal*. 2019;8(176):101-104. (In Russian). doi: 10.25694/URMJ.2019.08.38.
14. Бухтияров И.В., Тихонова Г.И., Чуранова А.Н., Горчакова Т.Ю. Временная нетрудоспособность работников Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022;61(1):4-18. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-1-4-18.
Bukhtiyarov I.V., Tikhonova G.I., Churanova A.N., Gorchakova T.Yu. Temporal disability of employees in the Russian Federation. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022;61(1):4-18. (In Russian). doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-1-4-18.
15. Щепин В.О., Шишкин Е.В. Основные тенденции заболеваемости от травм, отравлений и некоторых других последствий воздействия внешних причин в субъектах Российской Федерации. *Менеджер здравоохранения*. 2019;(1):46-55.
Shchepin V.O., Shishkin E.V. The main trends in the incidence of injuries, poisoning and some other effects of external causes in the constituent entities of the Russian Federation. *Manager of Health Care*. 2019;(1):46-55. (In Russian).
16. Чопоров О.Н., Золотухин О.В., Болгов С.В. Алгоритмизация интеллектуального анализа данных о распространенности заболеваний на региональном и муниципальном уровнях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2015;2(9). Режим доступа: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=194>.
Choporov O.N., Zolotukhin O.V., Bolgov S.V. Algorithmization of disease morbidity data mining at regional and municipal levels. *The Scientific Journal Modeling, Optimization and Information Technology*. 2015;2(9). (In Russian). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=194>.

17. Дубров В.Э., Злобина Ю.С., Тищенко С.А., Шахмуродян М.А., Поспелов Н.А., Шустов Е.А. Алгоритм территориального размещения государственных травмпунктов в мегаполисах (на примере г. Москвы). *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):138-149. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-138-149. Dubrov V.E., Zlobina Yu.S., Tishchenko S.A., Shakhmuradyan M.A., Pospelov N.A., Shustov E.A. The Algorithm for Territorial Distribution of Public Emergency Rooms in Megapolis (by the Example of Moscow). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(4):138-149. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-138-149.
18. Тихилов Р.М., Воронцова Т.Н., Лучанинов С.С. Динамика основных показателей травматизма и заболеваемости костно-мышечной системы у населения Ленинграда – Санкт-Петербурга (итоги тридцатилетнего мониторинга, проведенного с 1976 по 2007 гг.). *Травматология и ортопедия России*. 2008;(4):100-106. doi: 10.17816/2311-2905-1942. Tikhilov R.M., Vorontsova T.N., Luchaninov S.S. Dynamics of key indicators of injuries and musculoskeletal disorders in the population of Leningrad – Saint Petersburg: results of a thirty-year monitoring study (1976-2007). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2008;(4):100-106. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1942.
19. Тихилов Р.М., Воронцова Т.Н., Лучанинов С.С. Сравнительный анализ изменений показателей работы коечного фонда травматологической службы, как одного из направлений (разделов) в хирургической деятельности лечебных учреждений Санкт-Петербурга в 2000 и 2008 гг. *Травматология и ортопедия России*. 2010;(3):135-142. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-3-135-142. Tikhilov R.M., Vorontsova T.N., Luchaninov S.S. Comparative analysis of qualitative characteristics of traumatologic services bed pool working as one of directions in surgical activity of Saint-Petersburg municipal hospitals in 2000 and 2008 years. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2010;(3):135-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-3-135-142.
20. Тихилов Р.М., Воронцова Т.Н., Черный А.Ж., Лучанинов С.С. Состояние травматизма и ортопедической заболеваемости взрослого населения Санкт-Петербурга в 2009–2011 гг. и работа травматолого-ортопедической службы города. *Травматология и ортопедия России*. 2012;18(4):110-119. doi: 10.21823/2311-2905-2012--4-110-119. Tikhilov R.M., Vorontsova T.N., Cherniy A.G., Luchaninov S.S. Traumatism and orthopedic diseases incidence in adults of St. Petersburg in 2008-2011 and activity of trauma and orthopedic care system. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2012;18(4):110-119. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2012--4-110-119.

Сведения об авторах

✉ Вебер Евгений Валерьевич — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-0212-925X>
eLibrary SPIN: 4678-5550
e-mail: wjhon@yandex.ru

Воронцова Татьяна Николаевна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-4594-6655>
eLibrary SPIN: 9278-9897
e-mail: vorontsova-omorniito@yandex.ru

Богопольская Анна Сергеевна — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-1498-2514>
eLibrary SPIN: 4596-3014
e-mail: nikelin@yandex.ru

Серёда Андрей Петрович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
eLibrary SPIN: 1500-0618
e-mail: drsereda@gmail.com

Чилилов Абдула Магомедович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9638-7833>
eLibrary SPIN: 9948-7035
e-mail: chililov@mail.ru

Тихилов Рашид Муртузалиевич — д-р мед. наук,
профессор, чл.-корр. РАН
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
eLibrary SPIN: 3602-4912
e-mail: rtikhilov@gmail.com

Шубняков Игорь Иванович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
eLibrary SPIN: 3531-7679
e-mail: shubnyakov@mail.ru

Authors' information

✉ Eugeny V. Veber — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,
195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0212-925X>
eLibrary SPIN: 4678-5550
e-mail: wjhon@yandex.ru

Tatiana N. Vorontsova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-4594-6655>
eLibrary SPIN: 9278-9897
e-mail: vorontsova-omorniito@yandex.ru

Anna S. Bogopol'skaya — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1498-2514>
eLibrary SPIN: 4596-3014
e-mail: nikelin@yandex.ru

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
eLibrary SPIN: 1500-0618
e-mail: drsereda@gmail.com

Abdula M. Chililov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9638-7833>
eLibrary SPIN: 9948-7035
e-mail: chililov@mail.ru

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Corresponding Member of the RAS
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
eLibrary SPIN: 3602-4912
e-mail: rtikhilov@gmail.com

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
eLibrary SPIN: 3531-7679
e-mail: shubnyakov@mail.ru



Subsidence of Vertebral Body Replacement Prostheses in Spinal Tumors: A Systematic Review

Nikita S. Zaborovskii^{1,2}, Sheridan L. Shailieva¹, Sergei V. Masevnin¹, Oleg A. Smekalenkov¹, Vladislav S. Murakhovsky¹, Dmitrii A. Ptashnikov³

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 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

Abstract

Background. Vertebral body replacement is one of the key surgical methods for the treatment of spinal tumors. One of its most common complications is vertebral body implant subsidence.

The aim of the review — to compare the subsidence rates of various types of vertebral body implants used in the surgical treatment of thoracic and lumbar spinal tumors in order to determine the optimal reconstruction methods for patients with spinal tumors.

Methods. A systematic literature review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines. The search was performed in the PubMed, Google Scholar, and eLIBRARY databases. Studies were included if they involved vertebral body replacement in patients aged 18 years and older with oncologic lesions, provided a clear definition of subsidence, and analyzed risk factors. Various implant types were evaluated, including expandable, mesh, 3D-printed commercial, and patient-specific prostheses.

Results. Thirteen studies were included in the analysis (12 retrospective and 1 prospective) comprising a total of 661 patients. The highest subsidence rates were observed with titanium mesh cages, ranging from 63.8 to 71.4%. Expandable implants demonstrated more favorable outcomes, with subsidence rates from 5.3 to 35.3%. The results for 3D-printed implants were the most inconsistent, ranging from 0 to 100% across studies. The follow-up period varied from 7.4 to 101 months.

Conclusions. Expandable implants demonstrate the most favorable subsidence rates in vertebral body replacement for patients with spinal tumors. The high subsidence rates of titanium mesh cages may be attributed to a mismatch between the elastic modulus of the implant and bone tissue. 3D-printed implants require further investigation to optimize their design and clinical use. An individualized approach to prosthesis selection considering risk factors is essential.

Keywords: vertebral body replacement; spinal tumors; implant subsidence; expandable implants; titanium mesh cages; 3D-printed implants; spondylectomy.

Cite as: Zaborovskii N.S., Shailieva Sh.L., Masevnin S.V., Smekalenkov O.A., Murakhovsky V.S., Ptashnikov D.A. Subsidence of Vertebral Body Replacement Prostheses in Spinal Tumors: A Systematic Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):179-188. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17750>.

Nikita S. Zaborovskii; e-mail: n.zaborovskii@yandex.ru

✉ Submitted: 30.07.2025. Accepted: 18.09.2025. Published online: 24.10.2025.



Проседание протезов тел позвонков при опухолях позвоночника: систематический обзор литературы

Н.С. Заборовский^{1,2}, Ш.Л. Шайлиева¹, С.В. Масевнин¹, О.А. Смекалёнков¹,
В.С. Мураховский¹, Д.А. Пташников³

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, 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

Реферат

Актуальность. Протезирование тел позвонков является одним из ключевых методов хирургического лечения опухолевых поражений позвоночника. Одним из наиболее распространенных его осложнений является проседание протеза тела позвонка.

Цель обзора — сравнить частоту проседания различных типов протезов тел позвонков при хирургическом лечении опухолевых поражений грудного и поясничного отделов позвоночника для определения оптимальных методов реконструкции позвоночного столба у пациентов с опухолями позвоночника.

Материал и методы. Проведен систематический обзор литературы в соответствии с рекомендациями PRISMA. Поиск осуществлялся в базах данных PubMed, Google Scholar и eLIBRARY. Были включены исследования, посвященные протезированию тел позвонков при опухолевых поражениях у пациентов 18 лет и старше, с четким определением проседания и анализом факторов риска. Анализировались различные типы имплантатов: раздвижные, сетчатые, серийные и индивидуальные 3D-протезы.

Результаты. В анализ включено 13 исследований (12 ретроспективных, 1 проспективное) с участием 661 пациента. Наибольшая частота проседания зафиксирована для титановых сетчатых протезов — от 63,8 до 71,4%. Раздвижные имплантаты продемонстрировали более благоприятные результаты с частотой проседания от 5,3 до 35,3%. Результаты применения 3D-имплантатов оказались наиболее противоречивыми, варьируя от 0 до 100% в различных исследованиях. Период наблюдения составлял от 7,4 до 101 мес.

Заключение. Раздвижные имплантаты демонстрируют наиболее благоприятные результаты в отношении частоты проседания при протезировании тел позвонков у пациентов с опухолями позвоночника. Высокая частота проседания титановых сетчатых протезов может быть обусловлена несоответствием модуля упругости имплантата и костной ткани. 3D-протезы требуют дальнейшего изучения для оптимизации их дизайна и клинического применения. Необходим индивидуальный подход к выбору типа протеза с учетом факторов риска.

Ключевые слова: протезирование тел позвонков; опухоли позвоночника; проседание имплантатов; раздвижные протезы; титановые сетчатые протезы; 3D-имплантаты; спондилэктомия.

Для цитирования: Заборовский Н.С., Шайлиева Ш.Л., Масевнин С.В., Смекалёнков О.А., Мураховский В.С., Пташников Д.А. Проседание протезов тел позвонков при опухолях позвоночника: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):179-188. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17750>.

Заборовский Никита Сергеевич; e-mail: n.zaborovskii@yandex.ru

Рукопись получена: 30.07.2025. Рукопись одобрена: 18.09.2025. Статья опубликована онлайн: 24.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025

INTRODUCTION

Vertebral body replacement is one of the key surgical methods for the treatment of spinal tumors. This procedure restores the load-bearing function and stability of the spinal column after the resection of the affected vertebra [1, 2]. The long-term effectiveness of the method largely depends on the stability of the implanted device and its integration with the adjacent bone structures [3]. Vertebral body implant subsidence is one of the most common complications, which can lead to sagittal imbalance, compression of neural structures, pain syndrome, and, ultimately, the need for revision surgery [4].

Assessing the incidence of implant subsidence and identifying the factors influencing its development is critically important for optimizing surgical strategies and improving long-term treatment outcomes [5]. Modern spinal surgery utilizes a wide range of vertebral body implants, including traditional titanium mesh cages, expandable implants, and innovative 3D-printed and patient-specific prostheses [6]. Each implant type has unique biomechanical properties that may differentially affect the risk of subsidence.

Despite significant advances in the development of new implant types, the literature lacks systematized data on the comparative effectiveness of different vertebral body prostheses in terms of subsidence rates in spinal tumor cases.

The aim of the review — to compare the subsidence rates of various types of vertebral body implants used in the surgical treatment of thoracic and lumbar spinal tumors in order to determine the optimal reconstruction methods for patients with spinal tumors.

METHODS

This study is a systematic literature review conducted in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. A literature

search was performed in the PubMed, Google Scholar, and eLIBRARY electronic databases in both Russian and English using the following keywords: vertebral body replacement, vertebral body prosthesis, vertebral body reconstruction, spinal tumor, spine tumor, vertebral tumor, spinal metastases, implant subsidence, prosthesis subsidence, cage subsidence, spondylectomy, corpectomy, vertebrectomy, titanium mesh, expandable cage, 3D printed implant, spinal reconstruction, anterior spinal fusion. The initial search identified 1054 potentially relevant articles (Figure 1).

The selection of studies was based on the PICO framework (Population, Intervention, Comparison, Outcome). The Population (P) included adult patients (18 years and older) with primary or metastatic tumors of the thoracic and/or lumbar spine. The Intervention (I) was vertebral body replacement using various types of implants (expandable, mesh, 3D-printed commercial, or patient-specific). The Comparison (C) was made between different implant types. The primary Outcome (O) was the incidence of implant subsidence.

Inclusion criteria:

- 1) language of publication — English or Russian;
- 2) publication period — from 2010 to 2025 inclusive;
- 3) study design — randomized controlled trial, cohort study, case-control study, or case series with at least 10 patients;
- 4) full-text article available.

Exclusion criteria: review articles, editorials, letters to the editor, and poster presentation.

Studies were included if they focused on vertebral body replacement for spinal tumors, contained a clear definition and measurement methods of subsidence, and analyzed risk factors associated with subsidence. Studies dedicated exclusively to traumatic or infectious spinal conditions, as well as duplicate publications, were excluded.

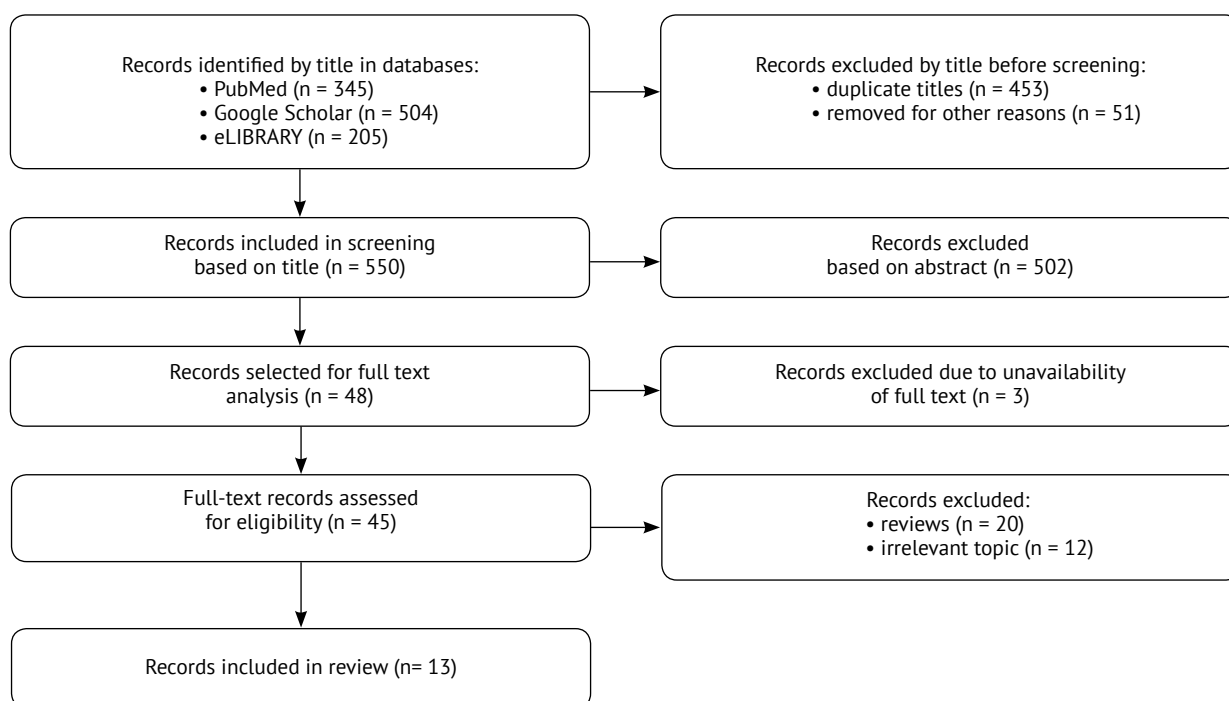


Figure 1. Flow diagram of article search and selection

Two independent reviewers performed the screening of titles and abstracts, followed by a full-text review of selected articles. Disagreements were resolved through discussion with a third reviewer when necessary. The following data were extracted from each included study: study design, patient characteristics (number, age, sex, tumor type and location), implant type, definition and measurement methods of subsidence, subsidence rate, risk factors, and follow-up duration.

Data analysis was performed using quantitative and descriptive methods. Particular attention was paid to comparing subsidence rates among different implant types and analyzing the risk factors associated with subsidence.

RESULTS

In the course of a systematic literature review, 13 studies on vertebral body replacement in case of spinal tumors were analyzed. The vast majority (12 out of 13) had a retrospective design, while only one was prospective. The pre-

dominance of retrospective studies limits the ability to establish causal relationships based on the obtained results (Table 1).

Information on tumor type was provided in 11 out of 13 studies. Across these studies, 258 patients had primary tumors and 267 had metastatic lesions. For 136 patients from two studies, the tumor type was not specified. The mixed nature of tumor involvement (both primary and metastatic) in the analyzed studies indicates heterogeneity of the patient population, which may affect the generalizability of the findings to specific tumor types.

Regarding the types of implants used, 3D-printed vertebral body prostheses were the most frequently reported – mentioned in 7 out of 13 studies. Titanium mesh cages were used in four studies, expandable implants in three, patient-specific prostheses in five, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone (CFR-PEEK) implants in two studies. The diversity of implant types reflects the evolving nature of spinal reconstruction technologies and complicates direct comparison of outcomes across studies.

Table 1

Characteristics of included studies

Study	Study design	Patient population	Implant type	Follow-up period
Viswanathan A. et al., 2012 [7]	Retrospective cohort study	95 patients (24% with primary tumors, 76% with metastatic lesions)	Expandable titanium prosthesis	Median 7.4 months (range 1-62 months)
Yoshioka K. et al., 2017 [8]	Retrospective cohort study	47 patients (15 with primary spinal tumors, 32 with metastatic lesions)	Titanium mesh cage	Mean 70.2 months (range 17-120 months)
Girolami M. et al., 2018 [9]	Prospective case series	13 patients (8 with primary bone tumors, 5 with solitary metastases)	Patient-specific 3D-printed titanium prosthesis	Mean 10 months (range 2-16 months)
Li Z. et al., 2020 [10]	Retrospective cohort study	30 patients (23 with primary spinal tumors, 7 with metastatic lesions)	Titanium mesh cage	Mean 41.8 months (range 13-120 months)
Tang X. et al., 2021 [11]	Retrospective cohort study	27 patients (predominantly with primary spinal tumors, 4 with metastatic lesions)	3D modular prosthesis	Mean 22 months (range 12-41 months)
Shen F.H. et al., 2022 [12]	Case series, retrospective multi-center review	13 patients (8 with primary tumors, 5 with metastatic lesions)	Patient-specific implant made of CFR PEEK	Mean 8 months (range 1-21 months)
Zhou H. et al., 2022 [13]	Retrospective cohort study, case series	23 patients (18 with primary spinal tumors, 5 with metastatic lesions)	3D-printed prostheses (patient-specific and commercial)	Median 37 months (range 24-58 months)
Cao Y. et al., 2023 [14]	Retrospective cohort study, comparative study	20 patients with metastases in the thoracolumbar region	Artificial 3D-printed prosthesis	Median 21.8 months (range 12-38 months)
Chen Z. et al., 2023 [15]	Retrospective comparative study	35 patients (26 with primary malignant tumors, 9 with metastatic lesions)	Commercial 3D-printed prosthesis, titanium mesh cage	Mean 24.6 months (range 12-60 months)
Shimizu T. et al., 2023 [16]	Retrospective cohort study	136 patients (tumor type not specified)	Titanium mesh cage	Mean 101 months (range 36-232 months)
Hu J. et al., 2023 [17]	Retrospective cohort study	51 patients (33 with primary tumors, 18 with metastatic lesions)	3D-printed prostheses (patient-specific and commercial)	Median 21 months (range 7-57 months)
Hu X. et al., 2023 [18]	Retrospective cohort study	145 patients (79 with primary spinal tumors, 66 with metastatic lesions)	Titanium mesh cage, expandable titanium prosthesis, patient-specific 3D-printed prosthesis	Mean 53.61 months (range 12-149 months)
Schwendner M. et al., 2023 [19]	Retrospective cohort study, case series	25 patients (8% with primary spinal tumors, 92% with metastatic lesions)	Expandable prosthesis made of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone (CFR-PEEK)	Median 295 days (range 13-491 days)

The duration of follow-up also varied among the studies. Five out of 13 studies reported median follow-up periods ranging from 7.4 to 37 months (with conversion of days to months for the study by M. Schwendner et al.). Eight studies reported mean follow-up durations ranging from 8 to 101 months. This wide variation in follow-up duration may influence the assessment of long-term outcomes and complication rates across studies.

The rates of implant subsidence varied considerably depending on the type of vertebral body prosthesis used. For titanium mesh cages, the incidence of subsidence ranged from 63.8 to 71.4%, as reported by K. Yoshioka et al. and Z. Chen et al., respectively [8, 15]. In the same study by Z. Chen et al., the performance of a 3D-printed commercial prosthesis was also evaluated, showing a subsidence rate of 64.3% [15].

Expandable implants demonstrated variable rates of subsidence. In the study by A. Viswanathan et al., the rate for a titanium implant was 12.6%, while in the study by M. Schwendner et al., the rate reached 35.3% for a CFR-PEEK implant [7, 19].

The results of 3D-printed implants were heterogeneous. In the study by X. Hu et al., no cases of subsidence were reported among 51 patients who received 3D-printed prostheses (both patient-specific and commercial) [18]. Similarly, F.H. Shen et al. reported no subsidence with CFR-PEEK implants featuring custom titanium endplates [12]. However, in the study by M. Girolami et al., subsidence occurred in all patients (100%) who received patient-specific titanium 3D-printed prostheses [9]. In the study by H. Zhou et al., the subsidence rate of 3D implants was 21.7%, while X. Tang et al. reported a rate of 38.5% for modular 3D-printed prostheses [11, 13] (Table 2).

Table 2

Subsidence rates by implant type

Study	Implant type	Subsidence rate	Definition of subsidence	Time of detection
Viswanathan A. et al., 2012 [7]	Expandable titanium prosthesis	12/95 (12.6%)	Migration > 1 mm	Immediately after surgery and more than 30 days postoperatively
Yoshioka K. et al., 2017 [8]	Titanium mesh cage	30/47 (63.8%)	> 2 mm	One month after surgery
Girolami M. et al., 2018 [9]	Patient-specific 3D-printed titanium prosthesis	13/13 (100%)	4.3±5.7 mm	At the last follow-up
Li Z. et al., 2020 [10]	Titanium mesh cage	8/52 (15.4%)	10.9±4.5 mm	At the last follow-up
Tang X. et al., 2021 [11]	3D modular prosthesis	10/26 (38.5%)	Migration > 2 mm	During the follow-up period
Shen F.H. et al., 2022 [12]	Patient-specific implant made of CFR PEEK	0/13 (0%)	Not applicable	Not applicable
Zhou H. et al., 2022 [13]	Patient-specific 3D-printed prostheses	1/10 (10%)	Migration > 2 mm	At the last follow-up
	Commercial 3D-printed prostheses	4/13 (30.8%)	Migration > 2 mm	At the last follow-up
Cao Y. et al., 2023 [14]	3D-printed self-stabilizing artificial vertebra	7/10 (70%)	1.8±2.1 mm	At the last follow-up
	Titanium mesh cage	9/10 (90%)	5.2±5.1 mm	At the last follow-up

End of Table 2

Study	Implant type	Subsidence rate	Definition of subsidence	Time of detection
Chen Z. et al., 2023 [15]	Commercial 3D-printed prostheses	9/14 (64.3%)	Decrease in mean vertebral body height > 3 mm	At the last follow-up
	Titanium mesh cage	15/21 (71.4%)	Decrease in mean vertebral body height > 3 mm	At the last follow-up
Shimizu T. et al., 2023 [16]	Titanium mesh cage	44/136 (32.4%)	2-18 mm	One month after surgery
Hu J. et al., 2023 [17]	3D-printed prostheses (patient-specific and commercial)	0/51 (0%)	Not applicable	Not applicable
Hu X. et al., 2023 [18]	Titanium mesh cage	18/70 (25.7%)	Not defined	At the last follow-up
	Expandable titanium prosthesis	4/75 (5.3%)	Not defined	At the last follow-up
Schwendner M. et al., 2023 [19]	Expandable prosthesis made of CFR-PEEK	6/17 (35.3%)	3.8±3.1 (1-8) mm	At the last follow-up

The degree of subsidence varied across studies, ranging from implant migration of more than 1 mm to segmental height loss exceeding 3 mm. The timing of subsidence detection also differed — from the immediate postoperative period to the final follow-up. In most studies, subsidence was assessed either one month postoperatively or during subsequent follow-up visits.

Implant instability rates were reported in 12 of the 13 studies. Recorded instability rates ranged from 0 to 32.4%, reflecting substantial variability in implant performance among studies. Information on the timing of implant instability was available in only three studies: one reported a mean time of 37.41 months, another a median of 31 months, and the third provided specific values of 24 and 36 months. In nine studies, no information on the timing of instability was provided, and in one study, this parameter was not applicable due to the absence of instability cases. The lack of consistent reporting on the timing of implant instability limits the ability to draw conclusions about the long-term performance of different implant types.

DISCUSSION

The present systematic review provides the first comprehensive analysis of vertebral body prosthesis subsidence in spinal tumors, encompassing various implant types and their clinical outcomes. The data demonstrate considerable variability in the incidence of subsidence across different prosthesis types, which has important clinical

implications for selecting the optimal method of spinal reconstruction in oncologic patients.

The highest subsidence rates were observed with titanium mesh cages — ranging from 15.4 to 90.0%. These findings are consistent with previous reports indicating a high incidence of subsidence in titanium implants, particularly in the presence of osteoporosis or weakened endplates [20]. The high subsidence rates associated with titanium mesh cages may be attributed to the mismatch in elastic modulus between the implant and bone tissue, as well as stress concentration over a relatively small contact area with the vertebral endplates. These results align with biomechanical studies demonstrating that the high stiffness of titanium creates unfavorable conditions for load distribution at the implant-bone interface, especially in patients with compromised bone quality due to oncologic disease [21, 22].

Expandable prostheses demonstrated more favorable outcomes, with subsidence rates ranging from 5.3 to 35.3%. The advantage of expandable designs lies in their ability to restore vertebral height accurately and distribute loads evenly across the endplates. Furthermore, expandable implants allow intraoperative height adjustment, promoting optimal contact with the surrounding bone structures.

The outcomes of using 3D-printed implants proved to be the most inconsistent, with reported subsidence rates ranging from 0 to 100% across studies. This considerable variability may be

attributed to differences in implant design, manufacturing materials, and patient-specific characteristics. Although patient-specific 3D-printed prostheses are theoretically expected to achieve superior anatomical conformity, clinical results do not always confirm this assumption.

Titanium alloy remains the standard material for fabricating patient-specific 3D implants. Despite its biocompatibility and mechanical strength, titanium possesses notable biomechanical disadvantages. Even porous titanium structures exhibit a substantial mismatch in elastic modulus compared to bone tissue — approximately 110 GPa for titanium versus 3.78-14.64 GPa for bone [22, 23]. This discrepancy leads to a stress-shielding effect, in which the stiffer implant bears the majority of the mechanical load, thereby reducing stimulation of the surrounding bone. According to Wolff's law, insufficient mechanical loading induces bone resorption and weakening, which ultimately promotes implant subsidence and structural instability [24]. Additionally, stress concentration over a relatively small contact area between a rigid titanium implant and compromised vertebral endplates further predisposes to subsidence. In oncologic settings, where bone quality is often impaired by tumor involvement, chemotherapy, or radiotherapy, these biomechanical factors become even more critical.

Paradoxically, while the patient-specific geometry of 3D-printed prostheses was intended to optimize load distribution, it does not address the fundamental mismatch in material mechanical properties. This may explain why even anatomically precise custom implants can show high subsidence rates, as reported by M. Girolami et al., where the incidence reached 100% [9]. This issue underscores the need for developing novel materials for 3D printing, such as PEEK-based composites, that could better approximate the mechanical characteristics of bone while retaining the advantages of patient-specific design.

Study limitations

This systematic review has several limitations. First, significant heterogeneity among the included studies in terms of design, patient populations, and implant types limits the

feasibility of performing a quantitative meta-analysis. Second, differences in the definition of subsidence and measurement methods complicate direct comparison of outcomes. Third, the relatively short follow-up periods in some studies may not adequately reflect long-term results.

CONCLUSIONS

This systematic review highlights the need for an individualized approach to selecting vertebral body replacement implants in patients with spinal tumors, taking into account various risk factors. Expandable implants demonstrate the most favorable outcomes with respect to subsidence rates, whereas 3D-printed prostheses require further investigation to optimize their design and clinical application.

DISCLAIMERS

Author contribution

Zaborovskii N.S. — study concept and design, drafting and editing the manuscript.

Shailieva Sh.L. — study concept and design, drafting and editing the manuscript.

Masevnin S.V. — literature search and review, drafting and editing the manuscript.

Smekalenkov O.A. — literature search and review, statistical data processing, data analysis and interpretation.

Murakhovsky V.S. — literature search and review, statistical data processing, data analysis and interpretation.

Ptashnikov D.A. — scientific guidance, editing the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

1. Usikov V.D., Ptashnikov D.A., Magomedov Sh.Sh. Corpor- and spondylectomy in system of surgical treatment of vertebral tumors. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2010;(2):140-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-140-142.
2. Zaborovsky N.S., Ptashnikov D.A., Topuzov E.E., levchenko E.V., Mikhailov D.A., Natalenko K.E. Spine Tumor Epidemiology in Patients who Underwent Orthopaedic Surgery. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(1):104-112. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-104-112.
3. Zaborovskii N.S., Masevni V.S., Murakhovskiy V.S., Mukhiddinov R.A., Smekalyonkov O.A., Ptashnikov D.A. Risk factors for hardware failure after total spondylectomy in patients with spinal tumors. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):183-193. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-183-193.
4. Berjano P., Cecchinato R., Pun A., Boriani S. Revision surgery for tumors of the thoracic and lumbar spine: causes, prevention, and treatment strategy. *Eur Spine J*. 2020;29(Suppl 1):66-77. doi: 10.1007/s00586-019-06276-8.
5. Zaborovskii N., Schlauch A., Ptashnikov D., Mikaylov D., Masevni S., Smekalenkov O. et al. Hardware Failure in Spinal Tumor Surgery: A Hallmark of Longer Survival? *Neurospine*. 2022;19(1):84-95. doi: 10.14245/ns.2143180.590.
6. Kasapovic A., Bornemann R., Pflugmacher R., Rommelspacher Y. Implants for Vertebral Body Replacement – Which Systems are Available and Have Become Established. *Z Orthop Unfall*. 2021;159(1):83-90. (In German). doi: 10.1055/a-1017-3968.
7. Viswanathan A., Abd-El-Barr M.M., Doppenberg E., Suki D., Gokaslan Z., Mendel E. et al. Initial experience with the use of an expandable titanium cage as a vertebral body replacement in patients with tumors of the spinal column: a report of 95 patients. *Eur Spine J*. 2012;21(1):84-92. doi: 10.1007/s00586-011-1882-7.
8. Yoshioka K., Murakami H., Demura S., Kato S., Yokogawa N., Kawahara N. et al. Risk factors of instrumentation failure after multilevel total en bloc spondylectomy. *Spine Surg Relat Res*. 2017;1(1):31-39. doi: 10.22603/ssrr.1.2016-0005.
9. Girolami M., Boriani S., Bandiera S., Barbanti-Bródano G., Ghermandi R., Terzi S. et al. Biomimetic 3D-printed custom-made prosthesis for anterior column reconstruction in the thoracolumbar spine: a tailored option following en bloc resection for spinal tumors: Preliminary results on a case-series of 13 patients. *Eur Spine J*. 2018;27(12):3073-3083. doi: 10.1007/s00586-018-5708-8.
10. Li Z., Wei F., Liu Z., Liu X., Jiang L., Yu M. et al. Risk Factors for Instrumentation Failure After Total En Bloc Spondylectomy of Thoracic and Lumbar Spine Tumors Using Titanium Mesh Cage for Anterior Reconstruction. *World Neurosurg*. 2020;135:e106-e115. doi: 10.1016/j.wneu.2019.11.057.
11. Tang X., Yang Y., Zang J., Du Z., Yan T., Yang R. et al. Preliminary Results of a 3D-Printed Modular Vertebral Prosthesis for Anterior Column Reconstruction after Multilevel Thoracolumbar Total En Bloc Spondylectomy. *Orthop Surg*. 2021;13(3):949-957. doi: 10.1111/os.12975.
12. Shen F.H., Gasbarrini A., Lui D.F., Reynolds J., Capua J., Boriani S. Integrated Custom Composite Polyetheretherketone/Carbon fiber (PEEK/CF) Vertebral Body Replacement (VBR) in the Treatment of Bone Tumors of the Spine: A Preliminary Report From a Multicenter Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2022; 47(3):252-260. doi: 10.1097/BRS.0000000000004177.
13. Zhou H., Liu S., Li Z., Liu X., Dang L., Li Y. et al. 3D-printed vertebral body for anterior spinal reconstruction in patients with thoracolumbar spinal tumors. *J Neurosurg Spine*. 2022;37(2):274-282. doi: 10.3171/2022.1.SPINE21900.
14. Cao Y., Yang N., Wang S., Wang C., He Q., Wu Q. et al. The application of 3D-printed auto-stable artificial vertebral body in en bloc resection and reconstruction of thoracolumbar metastases. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):638. doi: 10.1186/s13018-023-04135-3.
15. Chen Z., Lü G., Wang X., He H., Yuan H., Pan C. et al. Is 3D-printed prosthesis stable and economic enough for anterior spinal column reconstruction after spinal tumor resection? A retrospective comparative study between 3D-printed off-the-shelf prosthesis and titanium mesh cage. *Eur Spine J*. 2023;32(1):261-270. doi: 10.1007/s00586-022-07480-9.
16. Shimizu T., Kato S., Demura S., Shinmura K., Yokogawa N., Kurokawa Y. et al. Characteristics and risk factors of instrumentation failure following total en bloc spondylectomy. *Bone Joint J*. 2023;105-B(2):172-179. doi: 10.1302/0301-620X.105B2.BJJ-2022-0761.R2.
17. Hu J., Song G., Chen H., Xu H., Wang A., Wang X. et al. Surgical outcomes and risk factors for surgical complications after en bloc resection following reconstruction with 3D-printed artificial vertebral body for thoracolumbar tumors. *World J Surg Oncol*. 2023;21(1):385. doi: 10.1186/s12957-023-03271-8.
18. Hu X., Barber S.M., Ji Y., Kou H., Cai W., Cheng M. et al. Implant failure and revision strategies after total spondylectomy for spinal tumors. *J Bone Oncol*. 2023;42:100497. doi: 10.1016/j.jbo.2023.100497.
19. Schwendner M., Ille S., Kirschke J.S., Bernhardt D., Combs S.E., Meyer B. et al. Clinical evaluation of vertebral body replacement of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone in patients with tumor manifestation of the thoracic and lumbar spine. *Acta Neurochir (Wien)*. 2023;165(4):897-904. doi: 10.1007/s00701-023-05502-z.
20. Li Z., Guo L., Zhang P., Wang J., Wang X., Yao W. A Systematic Review of Perioperative Complications in en Bloc Resection for Spinal Tumors. *Global Spine J*. 2023;13(3):812-822. doi: 10.1177/21925682221120644.
21. Xu H., Wang X., Han Y., Jiang Y., Wang J., Zhang X. et al. Biomechanical comparison of different prosthetic reconstructions in total en bloc spondylectomy: a finite element study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):955. doi: 10.1186/s12891-022-05919-0.

22. Heary R.F., Parvathreddy N., Sampath S., Agarwal N. Elastic modulus in the selection of interbody implants. *J Spine Surg.* 2017;3(2):163-167. doi: 10.21037/jss.2017.05.01.
23. Warburton A., Girdler S.J., Mikhail C.M., Ahn A., Cho S.K. Biomaterials in Spinal Implants: A Review. *Neurospine.* 2020;17(1):101-110. doi: 10.14245/ns.1938296.148.
24. Frost H.M. A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *Angle Orthod.* 2004;74(1):3-15. doi: 10.1043/0003-3219(2004)074<0003:AUOBPA>2.0.CO;2.

Authors' information

✉ Nikita S. Zaborovskii — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0003-4562-8160>

eLibrary SPIN:3766-5993

e-mail: n.zaborovskii@yandex.ru

Sheridan L. Shailieva

<https://orcid.org/0009-0005-2113-3077>

eLibrary SPIN: 8199-7620

e-mail: sheri21072001@gmail.com

Sergei V. Masevnnin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9853-7089>

eLibrary SPIN:5505-2641

e-mail: drmasevnnin@gmail.com

Oleg A. Smekalenkov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-4867-0332>

eLibrary SPIN:7902-6380

e-mail: drsmekalenkov@mail.ru

Vladislav S. Murakhovsky

<https://orcid.org/0000-0002-9985-5636>

eLibrary SPIN:3819-8485

e-mail: drmurakhovsky@gmail.com

Dmitrii A. Ptashnikov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5765-3158>

eLibrary SPIN:7678-6542

e-mail: drptashnikov@yandex.ru