

ISSN 1028-4427 (Print)
ISSN 2542-131X (Online)

2026

№1 **Том**
32

ГЕНИЙ ОРТОПЕДИИ

Научно-теоретический
и практический журнал



Гений Ортопедии

Orthopaedic Genius

Том 32
№ 1
2026

Научно-теоретический и практический журнал
Основан в память академика Г.А. Илизарова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Бурцев А.В. (Россия, Курган) – **главный редактор**
 Аранович А.М. (Россия, Курган) – **заместитель главного редактора**
 Samchukov M.L. (США) – **заместитель главного редактора**
 Баиндурашвили А.Г. (Россия, Санкт-Петербург)
 Борзунов Д.Ю. (Россия, Екатеринбург)
 Волокитина Е.А. (Россия, Екатеринбург)
 Губин А.В. (Россия, Санкт-Петербург)
 Дьячкова Г.В. (Россия, Курган)
 Коновалов Н.А. (Россия, Москва)
 Котельников Г.П. (Россия, Самара)
 Кутепов С.М. (Россия, Екатеринбург)
 Линник С.А. (Россия, Санкт-Петербург)
 Миromanов А.М. (Россия, Чита)
 Попков А.В. (Россия, Курган)
 Попков Д.А. (Россия, Курган)
 Рябых С.О. (Россия, Москва)
 Скрябин Е.Г. (Россия, Тюмень)
 Суфианов А.А. (Россия, Тюмень)
 Тихилов Р.М. (Россия, Санкт-Петербург)
 Birch J.G. (США)
 Catagni M.A. (Италия)
 Chaudhary M.M. (Индия)
 Dubousset J.F. (Франция)
 Glatt V. (США)
 Hosny G.A. (Египет)
 Kirienko A. (Италия)
 Lascombes P. (Швейцария)
 Madan S. (Великобритания)
 Monsell F. (Великобритания)
 Paley D. (США)
 Pinzur M.S. (США)
 Podeszwa D.A. (США)
 Weiss H.-R. (Германия)

Борзунова О.Б. – ответственный секретарь
 Беляева М.А. – технический секретарь

THE EDITORS

A.V. Burtsev (Russia, Kurgan) – **Editor in Chief**
 A.M. Aranovich (Russia, Kurgan) – **Deputy Editor**
 M.L. Samchukov (USA) – **Deputy Editor**
 A.G. Baindurashvili (Russia, St. Petersburg)
 D.Yu. Borzunov (Russia, Ekaterinburg)
 E.A. Volokitina (Russia, Ekaterinburg)
 A.V. Gubin (Russia, St. Petersburg)
 G.V. Diachkova (Russia, Kurgan)
 N.A. Konovalov (Russia, Moscow)
 G.P. Kotel'nikov (Russia, Samara)
 S.M. Kutepov (Russia, Ekaterinburg)
 S.A. Linnik (Russia, St. Petersburg)
 A.M. Miromanov (Russia, Chita)
 A.V. Popkov (Russia, Kurgan)
 D.A. Popkov (Russia, Kurgan)
 S.O. Ryabykh (Russia, Moscow)
 E.G. Skryabin (Russia, Tyumen)
 A.A. Sufianov (Russia, Tyumen)
 R.M. Tikhilov (Russia, St. Petersburg)
 J.G. Birch (USA)
 M.A. Catagni (Italy)
 M.M. Chaudhary (India)
 J.F. Dubousset (France)
 V. Glatt (USA)
 G.A. Hosny (Egypt)
 A. Kirienko (Italy)
 P. Lascombes (Switzerland)
 S. Madan (UK)
 F. Monsell (UK)
 D. Paley (USA)
 M.S. Pinzur (USA)
 D.A. Podeszwa (USA)
 H.-R. Weiss (Germany)

O.B. Borzunova – Executive Secretary
 M.A. Beliaeva – Technical Secretary



Учредитель и издатель журнала:

**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**



**Издание журнала осуществляется при поддержке
Ассоциации по изучению и применению метода Илизарова России (А.С.А.М.И. Россия)**

Журнал включен в перечень научных специализированных изданий ВАК, в которых могут публиковаться основные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук (3.1.8 – травматология и ортопедия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Журнал включен в библиографические и реферативные базы данных РИНЦ и SCOPUS

Журнал включен в электронные информационные ресурсы базы данных EBSCO

Электронная версия журнала размещена на сайтах

<https://ilizarov-journal.com>

<https://elibrary.ru>

<https://cyberleninka.ru>



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

Адрес: 640021, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

Телефоны: (3522) 43-06-94 – редакция
(3522) 23-42-60 – реклама

Интернет: <https://ilizarov-journal.com/>

Email: genius@ilizarov.ru

Оригинал-макет изготовлен ОИАиВР ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Язык: русский, английский

Издается 6 раз в год

Цена свободная

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2026

Оригинальные статьи

Особенности микробного пейзажа при разных типах перипротезной инфекции тазобедренного сустава	5
<i>Д.С. Прокопьев, П.Г. Аминев, Г.А. Бугаев, А.Е. Виноградский, Д.Ю. Борзунов</i>	
МСКТ-семиотика спицевого остеомиелита	14
<i>Г.В. Дьячкова, К.А. Дьячков, А.С. Судницын, Н.М. Ключин</i>	
Влияние полиморфизма генов <i>IL-17A</i> и <i>PPARG</i> на течение гнойных осложнений после лечения пострадавших с травмами костей нижних конечностей	23
<i>В.В. Савгачев, Л.Б. Шубин</i>	
Перспективы применения ацетилсалициловой кислоты в комбинации с антибактериальными препаратами против ведущих возбудителей остеомиелита	31
<i>И.В. Шипицына, Е.В. Осипова, А.Л. Шастов</i>	
Особенности баланса вертикальной стойки при оценке эффективности двигательной реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренных суставов	38
<i>С.В. Королева, П.В. Королёв, А.С. Мулык, А.В. Губин</i>	
Влияние бариатрических операций на результаты тотального эндопротезирования при коксартрозе	48
<i>А.О. Ахов, А.В. Лычагин, А.А. Грицюк, Р.Х. Явдиева</i>	
Влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе	57
<i>А.К. Мурсалов, А.М. Дзюба, А.С. Шипилов, М.С. Рогова, Е.А. Федотов</i>	
Функциональный результат чрескожной подошвенной фасциотомии по сравнению с открытой подошвенной фасциотомией при лечении пациентов с рефрактерным подошвенным фасциитом	65
<i>S.A. Kassab Bashi, Y. Isam</i>	
Влияние обуви с перекатной подошвой на распределение подошвенного давления у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава	74
<i>А.В. Скребцов, В.Г. Процко, В.В. Скребцов, Н.В. Загородний, С.К. Тамоев, В.К. Никитина</i>	

Пилотное исследование

Хирургическое лечение пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt с применением индивидуально изготовленных резекционных шаблонов	82
<i>В.В. Кузнецов, И.А. Пахомов, В.В. Платонов, В.Г. Процко, В.В. Скребцов, С.К. Тамоев, С.А. Оснач, Н.В. Загородний, А.Г. Самохин</i>	

Теоретические и экспериментальные исследования

Гистоморфометрическая оценка синовиальной оболочки при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома титановыми винтами у ягнят (экспериментально-морфологическое исследование)	97
<i>Т.А. Ступина, О.В. Дюрягина, А.А. Коробейников, М.А. Степанов, Н.И. Антонов</i>	

Новые технологии

Выбор хирургического доступа при остеосинтезе переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости	107
<i>А.Б. Кошкин, М.В. Паршиков, Н.В. Ярыгин, М.В. Говоров</i>	

Клинические случаи

Хирургическое лечение хронической продольной лучелоктевой диссоциации предплечья (повреждение Эссекс-Лопрести)	116
<i>К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, С.Н. Бирюков, В.В. Баранов, Н.С. Ершов, Д.С. Власов, К.К. Батчаев</i>	
Полисегментарный дистракционный остеосинтез в комбинации с телескопическим трансфизарным стержнем при болезни Олье	124
<i>Н.С. Гвоздев, А.М. Аранович, А.М. Абдуллоев, Д.А. Попков</i>	

Обзорные статьи

Сравнительный анализ эффективности применения обогащенной тромбоцитами плазмы и гиалуронатов при лечении остеоартрита коленного сустава: метаанализ исследований с шестимесячным наблюдением	132
<i>Е.С. Приезжева, Н.И. Сивкова, А.В. Жияков, Е.А. Волокитина</i>	

Original Articles

Microbial landscape in different types of periprosthetic hip joint infection	5
<i>D.S. Prokopyev, P.G. Amineva, G.A. Bugaev, A.E. Vinogradskiy, D.Yu. Borzunov</i>	
MSCT-semiotics of pin tract osteomyelitis	14
<i>G.V. Diachkova, K.A. Dyachkov, A.S. Sudnitsyn, N.M. Kliushin</i>	
Effect of <i>IL-17A</i> and <i>PPARG</i> gene polymorphism on the course of purulent complications after treatment of patients with lower limb bone injuries	23
<i>V.V. Savgachev, L.B. Shubin</i>	
Prospects for using acetylsalicylic acid in combination with antibacterial drugs against the leading pathogens of osteomyelitis	31
<i>I.V. Shipitsyna, E.V. Osipova, A. L. Shastov</i>	
Postural control in assessing the effectiveness of motor recovery following total hip arthroplasty	38
<i>S.V. Koroleva, P.V. Korolev, A.S. Mulyk, A.V. Gubin</i>	
Effect of bariatric surgery on postoperative outcomes of total hip replacement in patients with hip osteoarthritis	48
<i>A.O. Akhov, A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk, R.K. Yavlieva</i>	
Metabolic bone abnormalities underlying nonunion in revision foot surgeries	57
<i>A.K. Mursalov, A.M. Dzyuba, A.S. Shipilov, M.S. Rogova, E.A. Fedotov</i>	
Functional outcome of mid-sole percutaneous plantar fasciotomy versus open plantar fasciotomy in treatment of refractory plantar fasciitis	65
<i>S.A. Kassab Bashi, Y. Isam</i>	
Effect of rocker bottom shoes on plantar pressure distribution in patients with osteoarthritis of first metatarsophalangeal joint	74
<i>A.V. Skrebtsov, V.G. Protsko, V.V. Skrebtsov, N.V. Zagorodniy, S.K. Tamoev, V.K. Nikitina</i>	

Pilot study

Surgical treatment of type IV Zwipp – Rammelt calcaneal fractures using customized resection templates	82
<i>V.V. Kuznetsov, I.A. Pakhomov, V.V. Platonov, V.G. Protsko, V.V. Skrebtsov, S.K. Tamoev, S.A. Osnach, N.V. Zagorodniy, A.G. Samokhin</i>	

Theoretical and experimental research

Histomorphometric evaluation of the synovial membrane during osteosynthesis of intra-articular metaepiphyseal fractures with titanium screws in lambs (an experimental morphological study)	97
<i>T.A. Stupina, O.V. Dyuryagina, A.A. Korobeynikov, M.A. Stepanov, N.I. Antonov</i>	

New technologies

The surgical approach for osteosynthesis of metaepiphyseal fractures of the distal tibia	107
<i>A.B. Koshkin, M.V. Parshikov, N.V. Yargin, M.V. Govorov</i>	

Clinical Cases

Surgical treatment of chronic longitudinal radioulnar dissociation (Essex-Lopresti injury)	116
<i>K.A. Egiazaryan, A.P. Ratyev, S.N. Biriukov, V.V. Baranov, N.S. Ershov, D.S. Vlasov, K.K. Batchaev</i>	
Polysegmental distraction osteosynthesis in combination with a telescopic transphyseal rod for Ollier's disease	124
<i>N.S. Gvozdev, A.M. Aranovich, A.M. Abdulloev, D.A. Popkov</i>	

Review Articles

Efficacy of platelet-rich plasma in the treatment of pain syndrome in knee osteoarthritis: a meta-analysis of the studies with a 6-month follow-up	132
<i>E.S. Priezzheva, N.I. Sivkova, A.V. Zhilyakov, E.A. Volokitina</i>	

Научная статья

УДК 616.728.2-022.1-089.843-77-089.193.4:579.8

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-5-13>

Особенности микробного пейзажа при разных типах перипротезной инфекции тазобедренного сустава

Д.С. Прокопьев^{1,2✉}, П.Г. Аминев¹, Г.А. Бугаев², А.Е. Виноградский^{1,2}, Д.Ю. Борзунов^{1,2}

¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

² Свердловский областной клинический психоневрологический госпиталь для ветеранов войн, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Сергеевич Прокопьев, d_prok@list.ru

Аннотация

Введение. При стабильном росте количества выполняемых операций первичного тотального эндопротезирования крупных суставов актуальной становится проблема ликвидации перипротезной инфекции (ППИ). Рост возбудителей ППИ, устойчивых к антимикробным препаратам, значительно усложняет и затягивает процесс лечения, способствуют формированию хронической инфекции, в ряде случаев со стертыми клиническими проявлениями.

Цель работы — выявить особенности микробного пейзажа при разных типах ППИ тазобедренного сустава (ТБС).

Материалы и методы. Проведен анализ микробиологических исследований 96 пациентов с ППИ ТБС: группа 1 ($n = 16$) — I тип ППИ; группа 2 ($n = 80$) — II и III типы ППИ. Пациентам группы 1 выполняли процедуру DAIR, группы 2 — двухэтапное ревизионное эндопротезирование.

Результаты. У 96 пациентов получено 103 микробных изолята: Гр(–) — 16 (15,5 %), Гр(+) — 87 (84,5 %). Среди Гр(+) MRSA, MRSE, MRSH встречали в 18 изолятах, у Гр(–) БЛРС+ — в 16 исследованиях. В структуре ППИ преобладали *S. aureus* (52,9 %), *S. epidermidis* (19,5 %), *E. cloacae* (37,5 %), *P. aeruginosa* (18,6 %) и *E. Coli* (18,6 %). Ассоциации при I типе ППИ (25 %) встречались чаще, чем при хронических формах (18,4 %). В 20 (19,4 %) случаях обнаружены микробные ассоциации. У 16 (16,7 %) пациентов обеих групп выявлена культурально-негативная инфекция (КНИ). Рецидив ППИ у пациентов с микробными ассоциациями произошел в трех (15 %) случаях. У пациентов с КНИ рецидив — в четырех (25 %) случаях.

Обсуждение. Рост Гр(–) флоры при ранних формах ППИ превышал показатели хронических форм, — 31,3 % и 9,2 % соответственно. DAIR в таких условиях малоэффективен. *S. aureus* как возбудитель инфекций костей и суставов существует в квазидремлющем состоянии, что способствует хронизации.

Заключение. В структуре этиологии ранней ППИ (I тип) преобладали грамотрицательные микроорганизмы и их ассоциации, при хронических формах (II и III тип) — грамположительные патогены. Культурально-негативная инфекция являлась причиной развития ранних форм ППИ чаще, чем хронических (25,0 % и 16,1 % соответственно). Статистически значимых различий между группами по выделению метициллинрезистентного стафилококка, а также грамотрицательных бактерий БЛРС+ не выявлено.

Ключевые слова: тазобедренный сустав, перипротезная инфекция, ревизионное эндопротезирование, культурально-негативная инфекция, микробный пейзаж

Для цитирования: Прокопьев Д.С., Аминев П.Г., Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю. Особенности микробного пейзажа при разных типах перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):5-13. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-5-13.



Microbial landscape in different types of periprosthetic hip joint infection

D.S. Prokopyev^{1,2✉}, P.G. Amineva¹, G.A. Bugaev², A.E. Vinogradskiy^{1,2}, D.Yu. Borzunov^{1,2}

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

² Sverdlovsk Regional Clinical Psychoneurological Hospital for War Veterans, Ekaterinburg, Russian Federation

Corresponding author: Dmitry S. Prokopyev, d_prok@list.ru

Abstract

Introduction Due to the steady increase in the number of primary total hip arthroplasties, the problem of eliminating periprosthetic joint infection (PJI) has become pressing. The rise of antimicrobial-resistant PJI pathogens significantly complicates and prolongs treatment, contributing to the development of chronic infection, sometimes with latent clinical manifestations.

The **aim** of this study was to identify the microbial landscape characteristics in different types of hip joint PJI.

Materials and Methods Microbiological studies of 96 patients with hip joint PJI were analyzed: Group 1 ($n = 16$) with type I PJI; Group 2 ($n = 80$) with type II and type III PJI. Patients in Group 1 underwent the DAIR procedure and those in Group 2 underwent two-stage revision hip replacement.

Results A total of 103 microbial isolates were obtained from 96 patients: 16 (15.5 %) Gr(–) and 87 (84.5 %) Gr(+). Among Gr(+), MRSA, MRSE, and MRSB were detected in 18 isolates, and among Gr(–), ESBL+ was detected in 16 isolates. The predominant pathogens in the PJI structure were *S. aureus* (52.9 %), *S. epidermidis* (19.5 %), *E. cloacae* (37.5 %), *P. aeruginosa* (18.6 %), and *E. coli* (18.6 %). Associations were more common in type I PJI (25 %) than in chronic forms (18.4 %). Microbial associations were detected in 20 cases (19.4 %). Culture-negative infection (CNI) was detected in 16 patients (16.7 %) in both groups. Relapse of PJI in patients with microbial associations occurred in three cases (15 %). In CNI cases, recurrence developed in four cases (25 %).

Discussion The growth of Gr(–) flora in early PJI exceeded that in the chronic one: 31.3 % and 9.2 %, respectively. DAIR is ineffective in such conditions. *S. aureus*, as a causative agent of bone and joint infections, exists in a quasi-dormant state which contributes to chronicity.

Conclusion Gram-negative microorganisms and their associations dominate in the etiology of early PJI (type I), while gram-positive pathogens predominated in chronic types (types II and III). Culture-negative infection was a more common cause of early PJI than of chronic types (25.0 % and 16.1 %, respectively). No statistically significant differences were found between the groups in the detection of methicillin-resistant staphylococci or gram-negative bacteria ESBL+.

Keywords: hip joint, periprosthetic joint infection, revision arthroplasty, culture-negative infection, microbial landscape

For citation: Prokopyev DS, Amineva PG, Bugaev GA, Vinogradskiy AE, Borzunov DYU. Microbial landscape in different types of periprosthetic hip joint infection. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):5-13. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-5-13.

ВВЕДЕНИЕ

При стабильном росте количества выполняемых в мире операций первичного тотального эндопротезирования крупных суставов актуальной становится проблема ликвидации осложнений, в первую очередь перипротезной инфекции (ППИ) [1, 2, 3]. Диагностика ППИ является сложной задачей. Идентификация соответствующих патогенов важна и является основой для целевого применения антибактериальных препаратов [4]. Традиционно возбудителей инфекции идентифицируют путем микробиологического исследования (МБИ) синовиальной жидкости и тканевых интраоперационных биоптатов. Тем не менее, отсутствие роста микроорганизмов при культивировании достигает 40 % по разным причинам:

- формирование биопленок;
- образование инертных патогенов;
- идентификация возбудителей в неподходящей питательной среде;
- применение до верификации возбудителя антибиотиков;
- колонизация остеоцитарно-лакунарно-канальцевой сети кортикальной кости [5];

Рост возбудителей ППИ, устойчивых к антимикробным препаратам, значительно усложняет и затягивает процесс лечения. К таким патогенам относятся штаммы стафилококков, резистентные к препаратам трех и более классов, фторхинолон-резистентные и карбапенем-резистентные грамотрицательные микроорганизмы, грибковая микрофлора [6, 7, 8].

Всё вышеуказанное способствует формированию хронической инфекции, в ряде случаев со стертыми клиническими проявлениями. Это затрудняет диагностику и определяет значительную долю неудач при лечении пациентов с ортопедической инфекцией [6, 9].

Цель работы — выявить особенности микробного пейзажа при разных типах перипротезной инфекции тазобедренного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования. Проведен ретроспективный анализ результатов МБИ пунктатов и тканевых интраоперационных биоптатов от 96 пациентов с ППИ тазобедренного сустава (МКБ-10: Z96.6), проходивших лечение с 2015 по 2020 гг. в гнойном хирургическом отделении Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя для ветеранов войн.

Критерии включения: пациенты с клинико-лабораторными признаками ППИ, которым в условиях стационара выполнено оперативное лечение.

Критерии не включения: пациенты без признаков ППИ.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом Госпиталя ветеранов войн (Екатеринбург, протокол от 09.11.2015 г., No 9.2/2015) и проведено в соответствии с Хельсинской декларацией 1975 г. (пересмотр в 2008 г.). Все пациенты подписали информированное согласие на исследование. Детализирующая информация, способствующая персонификации включенных в исследование пациентов, отсутствует.

В соответствии с классификацией глубокой инфекции после полной артропластики тазобедренного сустава (Coventry – Fitzgerald – Tsukayama, [10]) исследуемые разделены на две группы. В группу 1 вошли 16 пациентов с ранней формой ППИ, соответствующей I типу по классификации Tsukayama. В группу 2 включено 80 (83,3 %) пациентов с хронической ППИ, среди которых 39 случаев (48,75 %) составили тип II и 41 случай (51,25 %) — тип III. В наше исследование не вошли пациенты с IV типом ППИ.

В большинстве случаев пациентам группы 1 выполняли процедуру DAIR (*англ.*: Debridement, Antibiotics, and Implant Retention). В группу 1 также включены больные с обширными костно-мышечными дефектами после предшествующих оперативных вмешательств и тяжелым соматическим состоянием, выполнение ревизионного эндопротезирования у которых не представлялось возможным. Таким больным выполняли резекционную артропластику тазобедренного сустава и удаление компонентов эндопротеза.

Пациентам группы 2 выполняли двухэтапное ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава.

Исследуемые группы были сопоставимы по поло-возрастным характеристикам ($p > 0,05$) (табл. 1). Анализ показал отсутствие статистически значимых различий между группами ранней ($n = 16$) и хронической ППИ ($n = 80$). При стратификации по возрасту < 65 лет и ≥ 65 лет также не выявлено статистически значимых различий ($p = 0,059$).

Таблица 1

Поло-возрастные характеристики пациентов

Параметры сравнения		Группа 1	Группа 2	P-value
		Ранняя ППИ (n = 16)	Хроническая ППИ (n = 80)	
Мужчины	абс.	10	42	0,464
	%	62,5	52,5	
Женщины	абс.	6	38	
	%	37,5	47,5	
Возраст, лет (M ± SD)		63,7 ± 11,1	57,9 ± 12,2	0,656
< 65 лет	абс.	8	59	0,059
	%	50,0	73,8	
≥ 65 лет	абс.	8	21	
	%	50,0	26,2	

Гнойно-воспалительные осложнения после предшествующих ревизионных вмешательств возникли у восьми (50 %) пациентов группы 1 и у 41 (51,3 %) пациента группы 2.

В 41 (83,7 %) случае из 49 ревизионных вмешательств на предыдущих этапах лечения во время МБИ в тканевых биоптатах был обнаружен патоген.

После первого этапа двухэтапного ревизионного эндопротезирования у пациентов группы 2 рецидив инфекции возник в семи (8,8 %) случаях. Рецидив инфекции после выполнения процедуры DAIR отмечен у одного (6,25 %) пациента группы 1.

У 15 (18,75 %) пациентов группы 2 на I этапе ревизионного эндопротезирования использовали метод NPWT (*англ.*: negative-pressure wound therapy), что связано с выраженным гнойным расплавлением мягких тканей, некрозами и склеротическими изменениями костной ткани [11–14]. В данной группе пациентов выявили один (6,7 %) случай рецидива ППИ.

При поступлении в стационар у всех больных собирали жалобы и анамнестические данные, выполняли общий и местный осмотр, выявляли местные признаки воспаления. Для выявления нестабильности имплантов и патологических изменений прилежащих костных структур всем пациентам выполнены рентгенологические исследования пораженных суставов, а при наличии наружных свищей, — рентгенофистулография [1, 5].

Лабораторные исследования включали определение количества лейкоцитов, показателей СОЭ и С-реактивного белка крови и ее сыворотки [15, 16]. Для бактериологического и цитологического исследования пунктата выполняли диагностическую пункцию перипротезной полости вне зависимости от наличия свищевого хода [17, 18].

Микробиологическое (культуральное) исследование

Исследовали биоматериал, полученный при помощи диагностической пункции перипротезной полости, и интраоперационные тканевые биоптаты. Биоптаты перед посевом гомогенизировали. Биоматериал собирали в стерильный контейнер в соответствии с рекомендациями по забору проб и в течение двух часов доставляли в лабораторию.

После вортексирования 10 мкл пункционной жидкости с помощью стерильной калиброванной петли высевали на питательные среды методом истощающего посева.

Посев производили на питательные среды:

- 5 % агар с кровью барана (основа Колумбийский агар, Bio-Rad, Франция; кровь барана дефибринированная, E&O Laboratories, Шотландия),
- шоколадный агар (основа Колумбийский агар, Bio-Rad, Франция; кровь барана дефибринированная, E&O Laboratories, Шотландия),
- желточно-солевой агар (питательный агар для культивирования микроорганизмов ГРМ-агар, ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия),
- агар Сабуро с 2 % глюкозы и хлорамфениколом (SIFIN diagnostics, Германия).

Для обогащения и выделения анаэробов 100 мкл пункционной жидкости засеивали в тиогликолевую среду в пробирках с высоким столбиком (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия). Затем засеянные чашки Петри помещали в термостат с аэробными условиями при температуре (37 ± 1) °С, чашки с кровяным и шоколадным агаром инкубировали в атмосфере, содержащей 5 % CO₂. Посевы инкубировали до 72 часов, с оценкой роста через 24, 48, 72 часа.

Идентификацию выросших колоний производили фенотипическими методами (окраска по Граму, тесты на оксидазу, каталазу и др.) и с помощью бактериологического анализатора WalkAway 40 Plus (Beckman Coulter, США).

Чувствительность к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом по стандартной методике, описанной EUCAST, а также с использованием бактериологического анализатора WalkAway 40 Plus (Beckman Coulter, США).

Интерпретацию категорий чувствительности осуществляли по актуальным критериям EUCAST: Clinical breakpoints — bacteria (<https://www.eucast.org/>).

Статистический анализ проводили с применением программного обеспечения Jamovi (версия 2.6.17, Австралия) и Microsoft Excel (версия 16.75.2, США). Для описания количественных данных с нормальным распределением использовали среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm SD$), для отличных от нормального — медиану и межквартильный интервал (МКИ), соответствующий нижнему (Q1) и верхнему (Q3) квартилям. Проверку нормальности распределения данных проводили с помощью критерия Шапиро – Уилка. Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей (n , %). Сравнение групп по количественному показателю с нормальным распределением данных выполняли с помощью t-тест Стьюдента или критерия Манна – Уитни U при распределении, отличном от нормального. Для оценки различий между группами по категориальным признакам составляли таблицы сопряженности 2×2 . В случаях, когда ожидаемая частота в ячейках превышала 5, использовался критерий χ^2 Пирсона. При наличии малых ожидаемых частот (< 5) применяли точный критерий Фишера. Статистическую значимость различий между группами принимали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ клинических проявлений перипротезной инфекции при поступлении в стационар (табл. 2) показал высокую частоту свищей и ран, которые выявляли у 93,8 % пациентов группы 1 с ранней ППИ и у 80,0 % пациентов группы 2 с хронической ППИ. Гиперемия кожных покровов в области поражённого сустава зарегистрирована в 87,5 % случаев в группе 1 и в 67,5 % случаев в группе 2. Болевой синдром в оперированном суставе отмечен у большинства пациентов обеих групп. Повышение температуры тела до фебрильных значений встречалось относительно редко. Статистически значимых различий по данным клиническим проявлениям между группами не выявлено ($p > 0,05$).

Таблица 2

Частота выявления диагностически значимых клинических проявлений ППИ при поступлении в стационар

Клинические проявления	Группа 1		Группа 2		P-value Точный тест Фишера
	Ранняя ППИ (n = 16)		Хроническая ППИ (n = 80)		
	абс.	%	абс.	%	
Свищи/раны	15	93,8	64	80,0	0,289
Гиперемия кожных покровов в области пораженного сустава	14	87,5	54	67,5	0,139
Болевой синдром в оперированном суставе	13	81,3	71	88,8	0,415
Повышение температуры тела до фебрильных значений	2	12,5	18	22,5	0,510

Рецидив ППИ после I этапа отмечен у семи (8,8 %) пациентов группы 2. II этап ревизионного эндопротезирования ТБС выполнен 64 (80 %) пациентам.

Одному пациенту с I типом ППИ в группе 1 после DAIR выполнили двухэтапное ревизионное эндопротезирование, давшее положительный результат.

Два и более сопутствующих заболевания (сахарный диабет, системные заболевания, ожирение, ВИЧ-инфекция, гепатиты В и С, инъекционная наркомания и др.), являющихся факторами риска развития ППИ [1], отмечали в девяти (56,3 %) случаях в группе 1 и в 58 (72,5 %) наблюдениях в группе 2.

Анализ лабораторных показателей воспалительной активности при поступлении (табл. 3) выявил отсутствие статистически значимых различий между группами ($p > 0,05$). Среднее количество лейкоцитов было выше в группе ранней ППИ ($p = 0,298$). Уровень СОЭ также был выше в группе 1, но различия не достигли статистической значимости ($p = 0,130$). Концентрация С-реактивного белка имела тенденцию к более высоким значениям при ранней ППИ ($p = 0,055$).

В МБИ 96 пациентов с ППИ получено 103 микробных изолята, из них 16 (15,5 %) — грамотрицательные микроорганизмы и 87 (84,5 %) — грамположительные (табл. 4, рис. 1, 2).

Таблица 3

Лабораторные показатели воспалительной активности
у пациентов с ранней и хронической перипротезной инфекцией

Показатели	Группа 1	Группа 2	P-value
	Ранняя ППИ (n = 16)	Хроническая ППИ (n = 80)	
Количество лейкоцитов, 10 ⁹ /л	7,85 ± 1,97	7,30 ± 2,60	0,298
СОЭ, мм/час	41,25 ± 20,20	30,68 ± 18,65	0,130
С-реактивный белок, мг/л	115,63 ± 44,73	74,97 ± 55,94	0,055

Таблица 4

Структура микробного пейзажа в изолятах исследуемых групп

Возбудитель/группа	Группа 1		Группа 2		Всего (n = 103)	
	Ранняя ППИ (n = 17)		Хроническая ППИ (n = 86)			
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Грамположительные микроорганизмы	11	64,7	76	88,4	87	84,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	7	41,2	39	45,3	46	44,7
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1	5,9	16	18,6	17	16,5
<i>Enterococcus faecalis</i>	1	5,9	7	8,1	8	7,8
Другие КНС**	2	11,8	12	13,9	14	13,6
Грамотрицательные микроорганизмы	6*	35,3*	10*	11,6*	16	15,5
<i>Enterobacter cloacae</i>	4	23,5	2	2,3	6	5,8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	5,9	2	2,3	3	2,9
Другие Грам– возбудители***	1	5,9	6	7,0	7	6,8

Примечание: * — различия между группами статистически значимы ($\chi^2 = 6,06$; Критерий Пирсона $p = 0,014$); ** — в категорию «Другие коагулазонегативные стафилококки (КНС)» включены: *Staphylococcus hominis*, *S. capitis*, *S. warneri*, *S. intermedius*; *** — в категорию «Другие Грам- возбудители» включены: *Escherichia coli*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*.

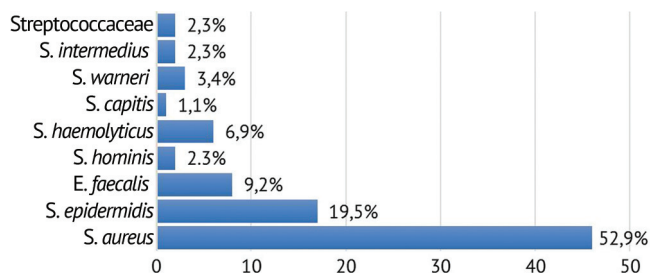


Рис. 1. Видовая структура грамположительных бактерий (%)

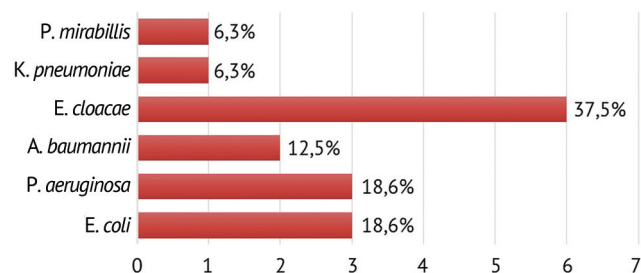


Рис. 2. Видовая структура грамотрицательных бактерий (%)

Анализ микробного пейзажа по изолятам (табл. 4) выявил статистически значимые различия между ранней и хронической перипротезной инфекцией тазобедренного сустава ($\chi^2 = 6,06$; $p = 0,014$). В группе ранней ППИ ($n = 17$ изолятов) грамотрицательные микроорганизмы были выделены в 35,3 % случаях, тогда как при хронической форме ($n = 86$ изолятов) — лишь в 11,6 % случаях. Напротив, грамположительная флора преобладала при хронической ГППИ.

Среди грамположительных бактерий MRSA (англ.: methicillin-resistant staphylococcus aureus), MRSE (англ.: methicillin-resistant staphylococcus epidermidis), MRSH (англ.: methicillin-resistant staphylococcus hominis) встречали в 18 (20,7 %) изолятах (два изолята (11,1 %) — в группе 1, 16 (88,9 %) — в группе 2). В структуре грамотрицательных бактерий БЛРС+ встречали в 16 (25 %) исследованиях (два (12,5 %) — в группе 1, 14 (87,5 %) — в группе 2 соответственно).

Микробные ассоциации обнаружены в 20 (19,4 %) случаях из общего числа микроорганизмов ($n = 103$): ассоциации из бактерий Гр(+) и Гр(–) встречали в семи (35 %) случаях; Гр(+) ассоциации — в 10 (50 %); Гр(–) — в трех (15 %) случаях. Обнаружены четыре (20 %) ассоциации, имеющие в составе три и более возбудителя.

У 16 (16,7 %) пациентов обеих групп, несмотря на клинико-лабораторную картину ППИ, результаты МБИ дали отрицательный результат.

Рецидивы ППИ у пациентов с микробными ассоциациями отмечали в трех (15 %) случаях из 20. Рецидив зарегистрирован у четырех (25 %) пациентов с культурально-негативной инфекцией (КНИ).

На рис 3. показана сравнительная оценка микробного пейзажа возбудителей 1 и 2 групп.

Анализ микробного пейзажа среди пациентов также показал достоверные различия в распределении возбудителей ранней и хронической перипротезной инфекции ($\chi^2 = 8,94$, $p = 0,003$). В группе ранней ППИ ($n = 16$) грамотрицательную флору выявили в 31,3 % случаев ($n = 5$), что существенно чаще по сравнению с хронической ГППИ ($n = 80$), где грамотрицательные микроорганизмы встречали лишь в 9,2 % случаев ($n = 7$). Напротив, грамположительная флора преобладала при хронической инфекции — 92 % ($n = 74$) против 50 % ($n = 8$) случаев при ранней форме.

Полученные данные подтверждают, что грамотрицательные микроорганизмы оказывают значимое влияние на развитие ранних форм перипротезной инфекции, в то время как хронический вариант заболевания преимущественно ассоциирован с грамположительной флорой.

Среди пациентов группы 2, которым на I этапе ревизионного эндопротезирования применяли NPWT ($n = 15$), в интраоперационных МБИ встречали только грамположительную флору. Всего в этой группе получено 12 микробных изолятов, в трех случаях (20 %) — КНИ. Ассоциации получены в одном (6,7 %) случае, MRSA/MRSE — в трех (20 %) случаях.

Среди пациентов с ревизионными вмешательствами на предшествующих этапах лечения ($n = 49$) у 12 (24,5 %) обнаружены микробные ассоциации (четыре (33,3 %) — в группе 1, восемь (66,7 %) — в группе 2). У трех (25 %) из них отмечали рецидив ППИ, в дальнейшем двоим повторно выполнили дебридмент с заменой цементного спейсера. Рецидив инфекции отмечали у четырех (25 %) пациентов с КНИ в группе 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя микробный пейзаж, можно отметить лидирующую долю грамположительной флоры в причинах развития ППИ (в группе 1 — 50 %, в группе 2 — 92 %) [6, 19–22]. Рост грамотрицательной флоры при ранних формах ППИ значительно превышал аналогичные показатели хронических форм инфекции: 31,3 % и 9,2 % соответственно. Данные микроорганизмы представляют серьезную проблему для всех ортопедов, занимающихся первичным и ревизионным эндопротезированием, ввиду неуклонно возрастающей резистентности микрофлоры ко многим антибактериальным препаратам [23]. Вовлечение грамотрицательных бактерий в этиологию ППИ усложняет и пролонгирует процесс лечения [24]. Эффективность применения методики DAIR в таких условиях может значительно снижаться.

Частота встречаемости *P. aeruginosa* при ранней форме ППИ — 6,3 %, при хронической форме — 2,3 %. *P. aeruginosa* может являться причиной развития ранней/послеоперационной внутрибольничной инфекции [25]. По данным различных авторов, *P. aeruginosa* является причиной внутрибольничной инфекции более чем в 15 % случаев [26–28].

Проблемой в лечении пациентов с ППИ являются микробные ассоциации. В нашем исследовании частота встречаемости полимикробных инфекций при I типе ППИ составила 25 %, при II–III типах ППИ — 18,4 %. Микробные ассоциации усложняют выбор этиотропной антибиотикотерапии, что часто приводит к худшим исходам лечения в сравнении с мономикробной микрофлорой [29, 30].

При хронических формах ППИ в 52,9 % случаях выделяется золотистый стафилококк, характеризующийся ростом резистентных штаммов [6, 19–22]. Количества штаммов MRSA/MRSE/MRSH в нашем исследовании были сопоставимы.

Устойчивость к метициллину не является решающим фактором вирулентности, однако метициллин-резистентные штаммы *S. aureus* (MRSA) часто экспрессируют более высокий уровень факторов вирулентности, которые способствуют их выживанию и распространению [31].

В клинически сложных случаях с выраженной деструкцией мягких тканей мы применяли NPWT на первом этапе ревизионного эндопротезирования [11]. В 83,3 % изолятов данной группы пациентов выделен *S. aureus*. Поражению тканей способствует несколько существенных особенностей *S. aureus*, в частности при ППИ. *S. aureus* способен продуцировать ряд токсинов, включая альфа-токсин, эксфолиативные токсины (ETA, ETB, ETC), энтеротоксины и лейкоцидин Пантона – Валентина. Кроме того, у *S. aureus* существует множество секретируемых ферментов и белков клеточной стенки, опосредующих инвазию тканей, таких как коагулаза, ДНКаза, гиалуронидаза, коллагеназа и фибронектинсвязыва-

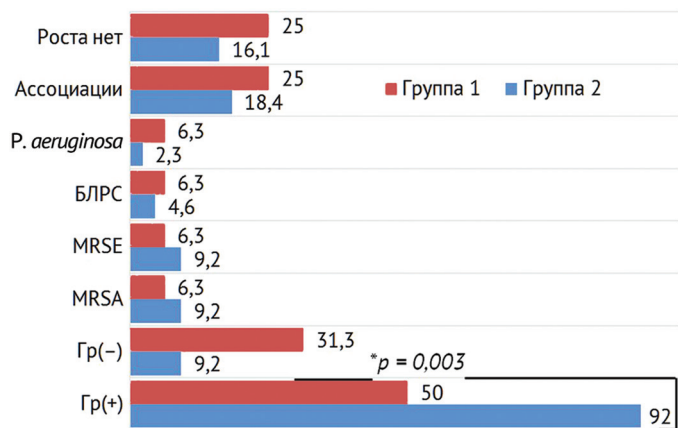


Рис. 3. Микробный пейзаж возбудителей ранней (I тип) и хронической (II–III тип) форм ППИ, %

вающие белки. Большинство факторов вирулентности кодируются дополнительными генами, которые могут присутствовать или отсутствовать у отдельного штамма *S. aureus*. Также исследования *in vitro* показывают, что штаммы *S. aureus* быстро агрегируют в присутствии синовиальной жидкости человека и в течение 24 часов развиваются в макроскопические колонии, которые в конечном итоге преобразовываются в биопленку, устойчивую к антибиотикам [32]. Компоненты синовиальной жидкости, такие как фибриноген, фибронектин и свободная ДНК, могут вызывать агрегацию бактерий, которая, как предполагается, играет роль в патогенезе ППИ.

R. Proctor et al. изучали *S. aureus* в связи с его частой ассоциацией с инфекциями костей и суставов и хорошо охарактеризованной способностью существовать в квазидремлющем состоянии (так называемый фенотип малых колоний SCV), что потенциально способствует хронизации заболевания [33].

КНИ в нашем исследовании встречали в 25 % случаев в группе 1 и в 16,1 % в группе 2. Это согласуется с мировыми данными, по которым культурально-негативная ППИ встречается от 5 % до 42 % случаев [21, 34–38]. Этот факт часто осложняет выбор антимикробного препарата. В настоящее время рекомендуется при диагностике использовать молекулярные методы, включающие полимеразную цепную реакцию (ПЦР) и секвенирование. Эти методы продемонстрировали улучшение микробной идентификации при культурально-отрицательной ППИ [37, 38]. Кроме того, часто не выявленные, но присутствующие культуры при традиционном посеве являются результатом нахождения микроорганизмов в состоянии биопленки. Обнаружено, что культивирование пункционной жидкости и удаленных имплантов, обработанных ультразвуком, увеличивает выход микробов за счет разрушения бактериальной биопленки и чувствительность ПЦР [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В структуре этиологии ранней ППИ (I тип) преобладали грамотрицательные микроорганизмы и их ассоциации, при хронических формах (II и III тип) — грамположительные патогены. Культурально-негативная инфекция являлась причиной развития ранних форм ППИ чаще, чем хронических (25,0 % и 16,1 % соответственно). Статистически значимых различий между группами по выделению метициллинрезистентного стафилококка, а также грамотрицательных бактерий БЛРС+ не выявлено.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Wildeman P, Rolfson O, Söderquist B, et al. What Are the Long-term Outcomes of Mortality, Quality of Life, and Hip Function after Prosthetic Joint Infection of the Hip? A 10-year Follow-up from Sweden. *Clin Orthop Relat Res*. 2021;479(10):2203–2213. doi: 10.1097/CORR.0000000000001838.
- Premkumar A, Kolin DA, Farley KX, et al. Projected Economic Burden of Periprosthetic Joint Infection of the Hip and Knee in the United States. *J Arthroplasty*. 2021;36(5):1484–1489.e3. doi: 10.1016/j.arth.2020.12.005.
- Божкова С.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А. Перипротезная инфекция суставов как социально-экономическая проблема современной ортопедии. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2023;78(6):601–608. doi:10.15690/vramn8370.
- Kalbani I, Park JW, Goswami K, et al. Culture-negative periprosthetic joint infection: prevalence, aetiology, evaluation, recommendations, and treatment. *Int Orthop*. 2020;44(7):1255–1261. doi: 10.1007/s00264-020-04627-5.
- Божкова С.А., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др. Роль рутинного дооперационного обследования в выявлении перипротезной инфекции и ее рецидива при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022;(5):68–74. doi: 10.17116/hirurgia202205168.
- Ермаков А.М., Богданова Н.А., Матвеева Е.Л., Гасанова А.Г. Анализ микробного пейзажа у пациентов с перипротезной инфекцией тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2025;31(3):307–313. doi: 1028-4427-2025-31-3-307-313.
- Ливенцов В.Н., Божкова, А.Ю., Кочиш В.Н. и др. Трудноизлечимая перипротезная инфекция тазобедренного сустава: результаты санитизирующих операций. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(4):88–97. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-88-97.
- Шералиев Т.У., Федоров Е.А., Гольник В.Н., Павлов В.В. Перипротезная инфекция при эндопротезировании тазобедренного сустава: особенности современной этиологии, проблемы и перспективы диагностики: монография. Красноярск: Научно-инновационный центр; 2021:230. doi: 10.12731/978-5-907208-50-6.
- Li H, Fu J, Erlong N, et al. Characterization of periprosthetic environment microbiome in patients after total joint arthroplasty and its potential correlation with inflammation. *BMC Infect Dis*. 2023;23(1):423. doi: 10.1186/s12879-023-08390-x.
- Tsukayama DT, Estrada R, Gustilo RB. Infection after total hip arthroplasty. A study of the treatment of one hundred and six infections. *J Bone Joint Surg Am*. 1996;78(4):512–523. doi: 10.2106/00004623-199604000-00005.
- Прокопьев Д.С., Левчик Е.Ю., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю. Хирургическая обработка ран с применением локального отрицательного давления в лечении пациентов с перипротезной инфекцией тазобедренного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2024;31(4):507–516. doi: 10.17816/vto625672.
- Chau WW, Lo KC, Lau LC, et al. Single use Negative Pressure Wound Therapy (NPWT) system in the management of knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):351. doi: 10.1186/s12891-023-06470-2.
- Крук А.Н., Ситник А.А., Линов А.Л. и др. Применение терапии ран отрицательным давлением в травматологии и ортопедии. Часть 1. Обоснование методики, технические особенности, общие рекомендации по применению. *Военная медицина*. 2024;(4):82–88. doi: 10.51922/2074-5044.2024.4.82.
- Ailaney N, Johns WL, Golladay GJ, et al. Closed Incision Negative Pressure Wound Therapy for Elective Hip and Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Arthroplasty*. 2021;36(7):2402–2411. doi: 10.1016/j.arth.2020.11.039.
- Dugdale EM, Uvodich ME, Osmon DR, et al. Laboratory Value Effectiveness in Predicting Early Postoperative Periprosthetic Joint Infection After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2022;37(3):574–580. doi: 10.1016/j.arth.2021.11.007.
- De Maio F, Fidone G, Caterini A, et al. Monitoring of C-reactive protein level (CRP) and Erythrocyte sedimentation rate (ESR) after total hip and knee arthroplasty. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2020;34(5 Suppl. 1):63–68. IORS Special Issue on Orthopedics.

17. Карбышева С., Ренц Н., Ермак К. И др. Новые методы диагностики перипротезной инфекции. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(4):56-63. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-56-63.
18. Signore A, Sconfienza LM, Borens O, et al. Consensus document for the diagnosis of prosthetic joint infections: a joint paper by the EANM, EBJS, and ESR (with ESCMID endorsement). *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(4):971-988. doi: 10.1007/s00259-019-4263-9.
19. Tsai Y, Chang CH, Lin YC, et al. Different microbiological profiles between hip and knee prosthetic joint infections. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2019;27(2):2309499019847768. doi: 10.1177/2309499019847768.
20. Van Erp JHJ, Heineken AC, Van Wensen RJA, et al. Optimization of the empirical antibiotic choice during the treatment of acute prosthetic joint infections: a retrospective analysis of 91 patients. *Acta Orthop*. 2019;90(5):455-459. doi: 10.1080/17453674.2019.1621595.
21. Цискарашвили А.В., Меликова Р.Э., Новожилова Е.А. Анализ шестилетнего мониторинга основных возбудителей перипротезной инфекции крупных суставов и их тенденция к резистентности. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):179-188. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-18.
22. Crowe B, Payne A, Evangelista PJ, et al. Risk Factors for Infection Following Total Knee Arthroplasty: A Series of 3836 Cases from One Institution. *J Arthroplasty*. 2015;30(12):2275-8. doi: 10.1016/j.arth.2015.06.058.
23. Божкова С.А., Гордина Е.М., Шнейдер О.В. и др. Резистентность продуцирующих карбапенмазы штаммов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2020;22(1):47-52. doi: 10.36488/cmasc.2020.1.47-52.
24. Wang FD, Wang YP, Chen CF, Chen HP. The incidence rate, trend and microbiological aetiology of prosthetic joint infection after total knee arthroplasty: A 13 years' experience from a tertiary medical center in Taiwan. *J Microbiol Immunol Infect*. 2018;51(6):717-722. doi: 10.1016/j.jmii.2018.08.011.
25. Бурцев А.В., Тряпичников А.С., Ермаков А.М. и др. Первичные данные локального регистра по перипротезной инфекции тазобедренного сустава Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. академика Г.И. Илизарова. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):16-28. doi: 10.17816/2311-2905-17431.
26. Плиски Н.Н., Мусина Г.А. Осложнение после эндопротезирования, вызванное бактерией *Pseudomonas aeruginosa*, и динамика нарастания ее резистентности. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2025;(2):34-39. doi: 10.17513/mjprf.13694.
27. Усманова Г.М., Давлатов Х.С., Рафиев Х.К., Абдуазизов А.А. Микробный пейзаж травматологического и хирургического отделений в условиях многопрофильного стационара г. Душанбе. *Вестник Педагогического университета*. 2014;(2):265-369.
28. Слётов А.М., Сиваконь С.В. Особенности возбудителей раневой инфекции в травматологическом стационаре. *Вестник ПензГУ*. 2013;(2):65-70.
29. Marculescu CE, Cantey JR. Polymicrobial prosthetic joint infections: risk factors and outcome. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(6):1397-1404. doi: 10.1007/s11999-008-0230-7.
30. Tsaras G, Maduka-Ezeh A, Inwards CY, et al. Utility of intraoperative frozen section histopathology in the diagnosis of periprosthetic joint infection: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(18):1700-1711. doi: 10.2106/JBJS.J.00756.
31. Hischebeth GT, Randau TM, Ploeger MM, et al. Staphylococcus aureus versus Staphylococcus epidermidis in periprosthetic joint infection-Outcome analysis of methicillin-resistant versus methicillin-susceptible strains. *Diagn Microbiol Infect Dis*. 2019;93(2):125-130. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2018.08.012.
32. Tsikopoulos K, Meroni G. Periprosthetic Joint Infection Diagnosis: A Narrative Review. *Antibiotics (Basel)*. 2023;12(10):1485. doi: 10.3390/antibiotics12101485.
33. Proctor RA, von Eiff C, Kahl BC, et al. Small colony variants: a pathogenic form of bacteria that facilitates persistent and recurrent infections. *Nat Rev Microbiol*. 2006;4(4):295-305. doi: 10.1038/nrmicro1384.
34. Abdel Karim M, Andrawis J, Bengoa F, et al. Hip and Knee Section, Diagnosis, Algorithm: Proceedings of International Consensus on Orthopedic Infections. *J Arthroplasty*. 2019;34(2S):S339-S350. doi: 10.1016/j.arth.2018.09.018.
35. Tai DBG, Patel R, Abdel MP, et al. Microbiology of hip and knee periprosthetic joint infections: a database study. *Clin Microbiol Infect*. 2022;28(2):255-259. doi: 10.1016/j.cmi.2021.06.006.
36. Любимова Л.В., Божкова С.А., Пчелова Н.Н. и др. Роль культуронегативной инфекции в структуре инфекционных осложнений после эндопротезирования коленных суставов. *Гений ортопедии*. 2023;29(4):402-409. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-402-409.
37. Portillo ME, Salvadó M, Sorli L, et al. Multiplex PCR of sonication fluid accurately differentiates between prosthetic joint infection and aseptic failure. *J Infect*. 2012;65(6):541-548. doi: 10.1016/j.jinf.2012.08.018.
38. Kullar R, Chisari E, Snyder J, et al. Next-Generation Sequencing Supports Targeted Antibiotic Treatment for Culture Negative Orthopedic Infections. *Clin Infect Dis*. 2023;76(2):359-364. doi: 10.1093/cid/ciac733.

Статья поступила 13.10.2025; одобрена после рецензирования 21.10.2025; принята к публикации 21.10.2025.

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 21.10.2025; accepted for publication 21.10.2025.

Информация об авторах

Дмитрий Сергеевич Прокопьев — ассистент кафедры, врач — травматолог-ортопед, d_prok@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6058-0647>;

Полина Геннадьевна Аминева — ассистент кафедры, врач-бактериолог, pga@qualitymed.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-5054>;

Глеб Александрович Бугаев — врач — травматолог-ортопед, glebbugaev97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>;

Александр Евгеньевич Виноградский — кандидат медицинских наук, заместитель начальника госпиталя, врач — травматолог-ортопед, vinalexc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>;

Дмитрий Юрьевич Борзунов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, врач — травматолог-ортопед, borzunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>.

Information about the authors:

Dmitriy S. Prokopyev — Assistant of the Department, orthopaedic surgeon, d_prok@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6058-0647>;

Polina G. Amineva — Assistant of the Department, bacteriologist, pga@qualitymed.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-5054>;

Gleb A. Bugaev — orthopaedic surgeon, glebbugaev97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>;

Aleksandr E. Vinogradskiy — Candidate of Medical Sciences, Deputy head of the hospital, orthopaedic surgeon, vinalexc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>;

Dmitry Yu. Borzunov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, orthopaedic surgeon, borzunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>.



МСКТ-семиотика спицевого остеомиелита

Г.В. Дьячкова✉, К.А. Дьячков, А.С. Судницын, Н.М. Ключин

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Викторовна Дьячкова, dgv2003@list.ru

Аннотация

Введение. Воспаление в местах проведения спиц у пациентов, лечившихся методом чрескостного остеосинтеза, относится к наиболее частым осложнениям. Костные проявления воспаления достаточно часто имеют место в клинической практике, а характерные рентгеноморфологические симптомы при этом практически не описаны.

Цель работы — выявить характер рентгеноморфологических изменений кости у пациентов со спицевым остеомиелитом при различной локализации воспалительного процесса.

Материалы и методы. В исследование включены 22 пациента с хроническим спицевым остеомиелитом (СО), развившемся на фоне чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова. Для оценки структурных изменений костной ткани выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с анализом аксиальных срезов и мультипланарных реконструкций (MPR) в сагиттальной и коронарной проекциях бедренной и большеберцовой костей. Количественно оценена плотность кости (в единицах Хаунсфилда, HU) в зоне воспаления, проанализирована морфология спицевых каналов (ширина, контуры стенок, наличие секвестров) для выявления паттернов, значимых для выбора тактики лечения.

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о наличии специфических рентгеновских проявлениях СО, характерных для хронического остеомиелита любого происхождения, особенно на поздних стадиях воспаления. К наиболее ярким симптомам СО на ранних стадиях относятся характерные изменения спицевых каналов: расширение и нечеткость контуров, повышение их плотности, появление периостита вокруг спицевого хода. Спицевые каналы в метафизарных отделах характеризуются повышенной плотностью стенок, низкой плотностью содержимого канала. В области диафиза спицевые каналы имеют стенки с неровными контурами без плотностных различий с корковой пластинкой. Внутри канала часто визуализируются мелкие секвестры с плотностью 650–700HU. Для СО в области диафиза также характерны «замурованные» секвестры.

Обсуждение. В литературе уделено значительное внимание воспалению мягких тканей, методам их профилактики и лечения при чрескостном остеосинтезе, тогда как рентгенологическая семиотика СО описана ограниченно, преимущественно в виде клинических случаев без подробного анализа изменений кости. Для СО характерны общие проявления остеолиза, повышение плотности контуров спицевого канала. При этом особенностью СО в диафизе являются «пуговчатые» секвестры, подтвержденные МСКТ. Информация о локализации и характере изменений позволяет клиницистам более обоснованно подходить к планированию объема хирургического вмешательства и выбору оптимальной тактики лечения с учетом особенностей поражения и состояния кости.

Заключение. Спицевые каналы в метафизарных отделах характеризуются повышенной плотностью стенок, в области диафиза спицевые каналы имеют большую, чем в метафизе, ширину, стенки с неровными контурами без плотностных различий с корковой пластинкой. Секвестры в области метафиза имеют плотность в два раза меньшую, чем в области диафиза, отличаются по форме и размерам.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, большеберцовая кость, спицевой остеомиелит, спицевые каналы, МСКТ, рентгеноморфологические изменения

Для цитирования: Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Судницын А.С., Ключин Н.М. МСКТ-семиотика спицевого остеомиелита. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):14–22. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-14-22.

Original article



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-14-22>

MSCT-semiotics of pin tract osteomyelitis

G.V. Diachkova✉, K.A. Dyachkov, A.S. Sudnitsyn, N.M. Kliushin

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Galina V. Diachkova, dgv2003@list.ru

Abstract

Introduction Inflammation at the wire tract sites in patients treated with transosseous osteosynthesis is one of the most common complications. Bone manifestations of inflammation are quite common in clinical practice, yet characteristic radiographic findings have not been well described.

The **aim** of this study was to identify the nature of radiographic bone changes in patients with pin tract osteomyelitis at various inflammatory sites.

Materials and Methods The study included 22 patients with chronic pin tract osteomyelitis (PTO) that developed following transosseous osteosynthesis with the Ilizarov fixator. To assess structural bone changes, multislice computed tomography (MSCT) was used, including analysis of axial sections and multiplanar reconstructions (MPR) in the sagittal and coronal planes of the femur and tibia. Bone density (Hounsfield units, HU) in the inflammation area was quantitatively assessed, and the morphology of the wire tract canals (width, wall contours, and the presence of sequestrs) was analyzed to identify patterns relevant for treatment decisions.

Results The data obtained indicate the presence of specific radiographic manifestations of osteomyelitis, characteristic of chronic osteomyelitis of any origin, especially in the late stages of inflammation. The most prominent symptoms of osteomyelitis in the early stages include characteristic changes in the wire tract canals: widening and blurring of the contours, increased density, and the appearance of periostitis around the wire tract. Wire canals in the metaphyseal regions are characterized by increased wall density and low density of the canal contents. In the diaphysis, the wire canals have walls with irregular contours and no density differences from the cortical plate. Small sequestrs featuring the density of 650–700 HU are often visualized within the canal. "Walled-in" sequestrs are also characteristic of pin tract osteomyelitis in the diaphysis.

Discussion The literature has devoted considerable attention to soft tissue inflammation, its prevention, and treatment methods during transosseous osteosynthesis. However, the radiographic semiotics of pin tract osteomyelitis have been limited, primarily presenting clinical cases without detailed analysis of bone changes. Pin tract osteomyelitis is characterized by general manifestations of osteolysis and increased density of the wire canal contours. A distinctive feature of pin tract osteomyelitis in the diaphysis is the presence of "button-shaped" sequestrs, confirmed by MSCT. Information on the location and nature of the changes allows clinicians to more effectively plan the extent of surgical intervention and select the optimal treatment strategy, taking into account the characteristics of the lesion and bone condition.

Conclusion Wire tract canals in the metaphyseal regions are characterized by increased wall density. In the diaphysis, the wire tracts are wider than in the metaphysis, with walls of irregular contours and no density differences with the cortical plate. Sequestra in the metaphysis have half the density of those in the diaphysis and vary in shape and size.

Keywords: transosseous osteosynthesis, tibia, pin tract osteomyelitis, wire tract, MSCT, radiomorphological changes

For citation: Diachkova GV, Dyachkov KA, Sudnitsyn AS, Kliushin NM. MSCT-semiotics of pin tract osteomyelitis. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):14–22. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-14-22.

ВВЕДЕНИЕ

Внешняя фиксация стала ключевым инструментом в арсенале современного хирурга-ортопеда, используемым как в травматологии, так и в реконструктивной хирургии. Клинические и биологические преимущества метода чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова хорошо изучены. Однако, по мнению некоторых авторов, ключевым недостатком подобной фиксации является воспаление и инфицирование мест выхода чрескостных элементов, обозначаемые в иностранной литературе как pin track / tract / site infection (частота варьирует от 9 до 100 %) [1–4]. Как отмечают D.W. Shields et al., при высокой частоте возникновения воспаления вокруг спиц или стержней «появление осложнений следует рассматривать не столько как неблагоприятное событие, сколько как ожидаемый аспект чрескостных методов лечения» [5]. В таких условиях минимизация воспалительных реакций становится критически важной для предотвращения прогрессирования инфекции, развития спинового остеомиелита (СО) и костных дефектов [6].

Классификации воспалительных изменений, связанных с проведением спиц и стержней, представлены в ряде исследований и основаны на субъективных симптомах, рентгенологических признаках или данных микробиологического анализа [2, 7, 8]. Так, например, R.G.M.A. Checketts et al. [9] описали систему классификации воспаления в области спиц, состоящую из трёх степеней поверхностного воспаления и трёх степеней выраженного воспаления [9]. Шкала Gordon — это шестибальная система классификации, основанная на наличии боли, результатах рентгенографии и появлении эритемы, серозных или гнойных выделений [10]. O. Rahbek et al. модифицировали эту систему классификации, исключив субъективный симптом боли и включив отдельную оценку за наличие серозных выделений [11]. Предложен алгоритм распознавания воспаления вокруг спиц только по изображениям, который не зависит от субъективных жалоб на боль, результатов рентгенографии или микробиологических исследований, упрощает наблюдение в домашних условиях и раннее выявление воспаления вокруг спиц с использованием набора высококачественных цифровых изображений «очагов Гордона» [12].

Однако костные проявления воспаления вокруг спиц достаточно часто встречаются в клинической практике, а рентгеноморфологические проявления при этом практически не описаны, хотя они крайне необходимы для оценки качества кости в зоне воспалительного процесса для решения вопроса об объеме хирургического вмешательства. В небольшом количестве зарубежных и отечественных публикаций по СО, в основном клинических случаев, представлены один–два рентгенологических симптома СО, что недостаточно для определения его семиотики и степени тяжести [1, 13, 14, 15, 16].

Цель работы — выявить характер рентгеноморфологических изменений кости у пациентов со спицевым остеомиелитом при различной локализации воспалительного процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Критерии включения: возраст 18–60 лет; наличие полного рентгенологического архива и архива МСКТ (мультиспиральная компьютерная томография) с возможностью постпроцессорной обработки данных.

Методом МСКТ обследованы пациенты, получившие лечение методом чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза (ЧКДО) со спицевым остеомиелитом и без осложнений.

Основная группа включает 22 пациента с СО большеберцовой и бедренной костей.

Контрольная группа представлена семью пациентами с переломом костей голени, пролеченными методом чрескостного остеосинтеза без спинового остеомиелита.

Средний возраст пациентов основной группы — $(46,3 \pm 9,9)$ года, преобладали мужчины (78,2 %). Из 22 пациентов, вошедших в исследование, 19 ранее получали лечение по поводу перелома костей голени, троим пациентам выполняли артродез голеностопного сустава. У одного пациента при переломе костей голени была фиксирована бедренная кость. Признаки манифестации СО выявлены у 14 пациентов спустя три–шесть месяцев после начала лечения по методу ЧКДО, в шести случаях — спустя один год, у двух больных гнойно-воспалительный процесс, начавшийся в области спицевых ходов, продолжался как хронический остеомиелит более 10 лет.

В контрольной группе из семи пациентов пять были мужского пола. Средний возраст — $(44,7 \pm 7,2)$ года. Все пациенты контрольной группы лечились по поводу перелома голени методом ЧКДО.

Исследования выполняли на компьютерных томографах Toshiba Aquilion-64, GE Light Speed VCT. Измеряли общую и локальную плотность кости (НУ) в различных отделах. Изучали строение кости в зоне воспаления, характер спинового канала с анализом аксиальных срезов и мультипланарных реконструкций (MPR) в сагиттальной и коронарной проекциях бедренной и большеберцовой костей (855 изобра-

жений). Количественно оценивали плотность кости (в единицах Хаунсфилда, HU) в зоне воспаления, анализировали морфологию спицевых каналов (ширина, контуры стенок, наличие секвестров). В контрольной группе, где не было осложнений, определяли ширину спицевого канала после удаления спиц.

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава РФ, одобрено этическим комитетом НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова. Все больные подписали информированное согласие на публикацию данных без идентификации личности.

Статистическую обработку параметров плотности проводили с помощью программы Attestat, встроенной в Microsoft Excel. Тип распределения определяли с помощью критериев Шапиро – Уилка для выборок с числом наблюдений 50 и менее. При оценке нормальности распределения выборки по большинству критериев отмечали ненормальное распределение данных, в связи с чем для анализа использовали методы непараметрической статистики. Для описания качественных данных использовали частоты и доли (в %). Для сравнения независимых данных применяли критерий Манна – Уитни. Сравнение средних значений двух парных (зависимых) групп проводили с помощью одновыборочного критерия Вилкоксона, описывали их медианой (Me) и процентилями. Сравнение двух качественных независимых групп номинальных данных проводили с использованием критерия хи-квадрат (χ^2) Пирсона. Статистически значимыми считали различия при значениях $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Плотность кости в проксимальном отделе метафиза большеберцовой кости на уровне спицевого канала колебалась в различных пределах: от $(223,4 \pm 25,8)$ HU до отрицательных значений шкалы Хаунсфилда, преимущественно в центральных отделах метафиза. Плотность стенок спицевого канала в метафизарных отделах всегда превышала плотность кости, — $(376,7 \pm 85,4)$ HU, достигая в некоторых участках $(792,8 \pm 69,7)$ HU ($p < 0,02$). Содержимое спицевого канала имело меньшую плотность, не превышая $(179,4 \pm 65,7)$ HU. В ряде случаев плотность содержимого спицевого канала была значительно меньше, — $(12,5 \pm 3,8)$ HU (рис. 1).

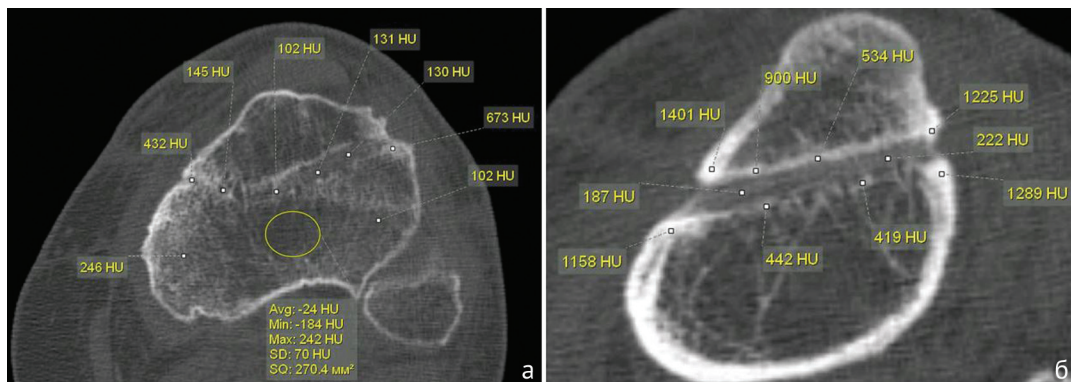


Рис. 1. МСКТ голени пациентки 50 лет со СО, аксиальные срезы: а — определение плотности кости и содержимого спицевого канала; б — определение плотности стенок спицевого канала

Прогрессирование СО приводило к формированию дефекта кости различной формы и протяженности в области спицевого канала, имеющего четкие контуры со значительным увеличением плотности его стенок. При транскортикальном проведении спицы через проксимальный эпифиз большеберцовой кости плотность фрагмента, расположенного снаружки от спицевого канала, у 52 % больных была меньше, чем плотность кортикальной пластинки основной части кости. Для каналов от спиц в области проксимального или дистального метафиза или эпифиза большеберцовой кости и дистального метаэпифиза бедренной кости было характерно повышение плотности для стенок канала в виде четкой разграничительной линии с прилежащими участками губчатой кости со снижением ее плотности. Плотность корковой пластинки отличалась в различных отделах на $(189,7 \pm 96,5)$ HU. Плотность секвестров в метаэпифизе в 89,5 % случаев была меньше плотности корковой пластинки, — $(675,5 \pm 93,9)$ HU (рис. 2).

Картина СО в проксимальном отделе большеберцовой кости зависела от давности заболевания и уровня проведения спиц. Характерно снижение плотности, зоны резорбции в области эпифиза, значительная деструкция кости в области метафиза с более плотными участками по краям разрушения. Воспалительный процесс всегда сопровождался значительными изменениями архитектоники, формированием зон резорбции, участков разрежения. Каналы от спиц имели характерный для данного отдела кости вид: четкие границы с более высокой плотностью, чем у прилежащих участков кости (рис. 3).

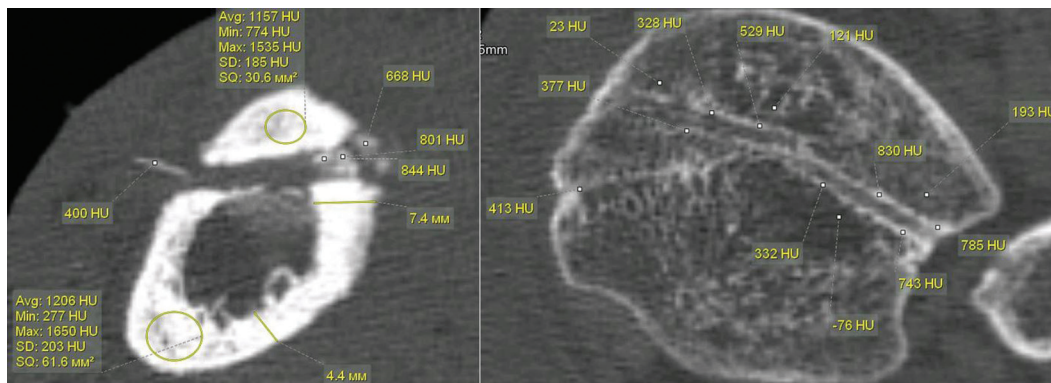


Рис. 2. МСКТ голени пациента 55 лет со СО, аксиальные срезы

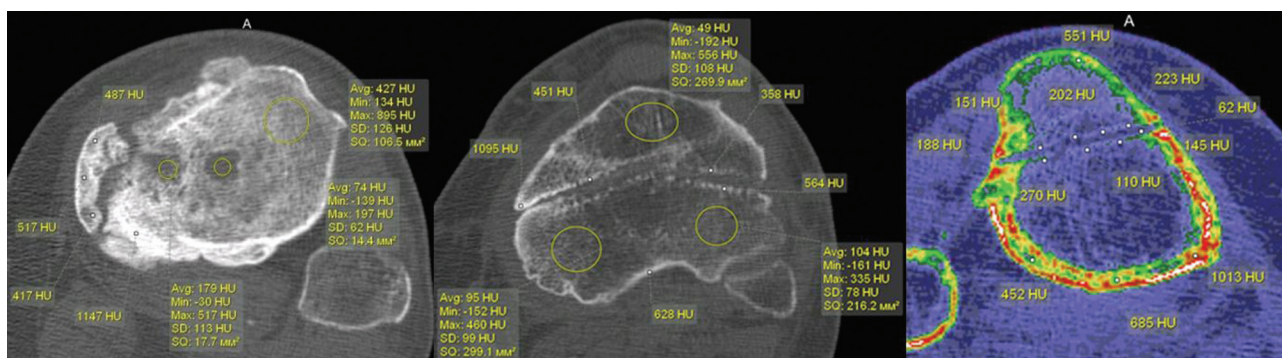


Рис. 3. МСКТ голени пациентов со СО, аксиальные срезы на уровне проксимального отдела большеберцовой кости

Спицевой канал был шире в области кортикальной пластинки. Плотность стенок спицевого канала увеличивалась до 480 [420;620] HU (медиана) (рис. 4, а). При локализации СО в дистальной трети большеберцовой кости и длительном течении заболевания (больше года) изменения в данной области проявлялись участками деструкции, нарушением структуры кости, появлением зон разрежения и склероза. Во всех случаях воспалительный и деструктивный процесс распространялся на кости стопы, сопровождаясь дефектами, изменением структуры с нарушением органотипического строения костей, зонами резорбции (рис. 4, б, в).

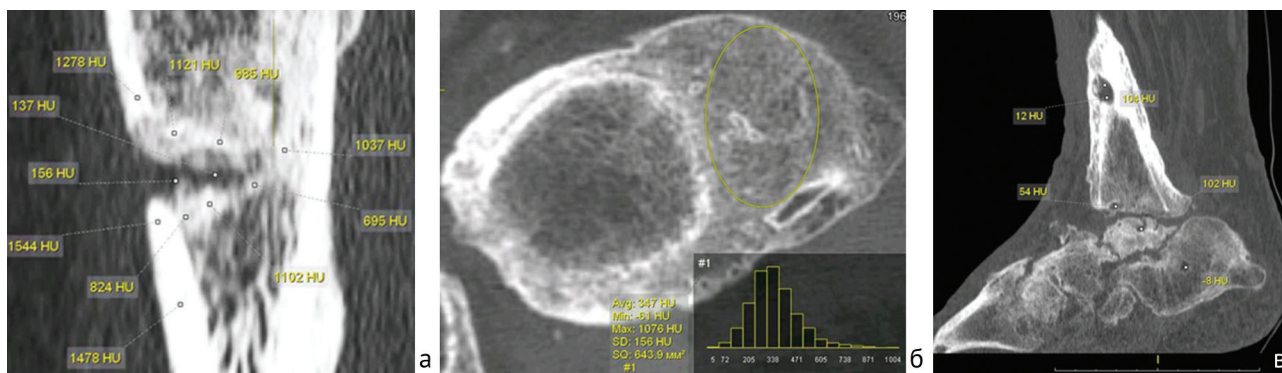


Рис. 4. МСКТ голени пациентов со СО: а — пациентки 34 лет, МРР в сагитальной плоскости; б — больного 56 лет, аксиальный срез, массивные периостальные наслоения, ассимилированные с корковой пластинкой; в — МРР этого же больного в сагитальной плоскости

В области диафиза воспалительные изменения — более ограниченные, особенно в тех случаях, когда были приняты своевременные меры для ликвидации очага инфекции (раннее хирургическое дренирование и адекватная антибактериальная терапия). Эти данные получены при анализе историй болезни пациентов, в которых отмечено быстрое купирование воспалительного процесса при применении комплексного лечения в первые одну–две недели от начала заболевания. В случаях длительного течения заболевания (обычно более трех–четырех недель) формировались широкие спицевые каналы и секвестры.

Увеличение ширины и нечеткие контуры спицевого канала наряду с увеличением плотности его стенок зарегистрированы на ранних стадиях СО. Ширину канала сравнивали с его размерами после удаления спицы у пациентов без воспалительного процесса (контрольная группа). Медиана ширины спицевого канала в области диафиза в этих случаях составляла 1,6 [1,4;1,7]. Ширина спицевого канала после удаления спицы при септическом остеомиелите в области диафиза колебалась в значительных пределах, — от 3,5 мм до 7,0 мм. Медиана ширины спицевого канала в диафизе у пациентов со СО составила 4,1 мм [межквартильный размах 3,8;5,1 мм]. Для сравнения, — в области эпифиза ширина спицевого канала была меньше и составляла 2,6 мм [2,8;3,1 мм], что связано с анатомическими особенностями строения проксимального отдела большеберцовой кости в этой зоне (рис. 5).

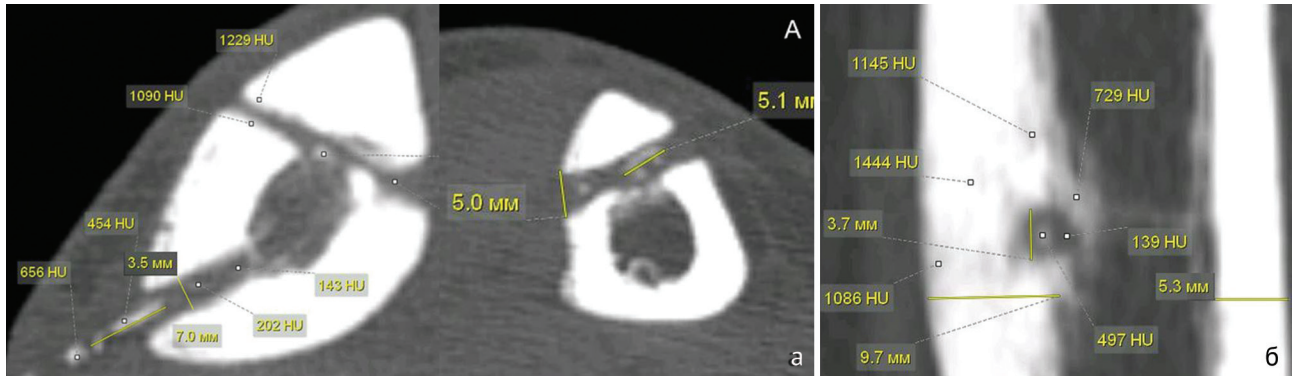


Рис. 5. МСКТ голени пациентов 36 лет (а) и 42 лет (б) со СО. Ширина спицевого канала: а — аксиальный срез; б — МРР в сагиттальной плоскости

Характерное расположение «замурованного» секвестра в корковой пластинке при локализации воспаления на уровне средней трети диафиза, выявленное при МСКТ, наблюдали у пяти пациентов из основной группы. Данный тип секвестра представляет собой узкий кольцевидный участок омертвевшей кости, окружённый рентгенопрозрачным ореолом, что является характерным признаком активного инфекционного процесса и реактивного воспаления в окружающих тканях. Мы пришли к такому заключению на основании сопоставления МСКТ-изображений с клиническими данными и результатами микробиологического исследования, подтверждающими наличие инфекции в очаге. В литературе подобные секвестры описываются как «пуговчатые» из-за их формы и ограниченного размера [17, 18, 19] (рис. 6).

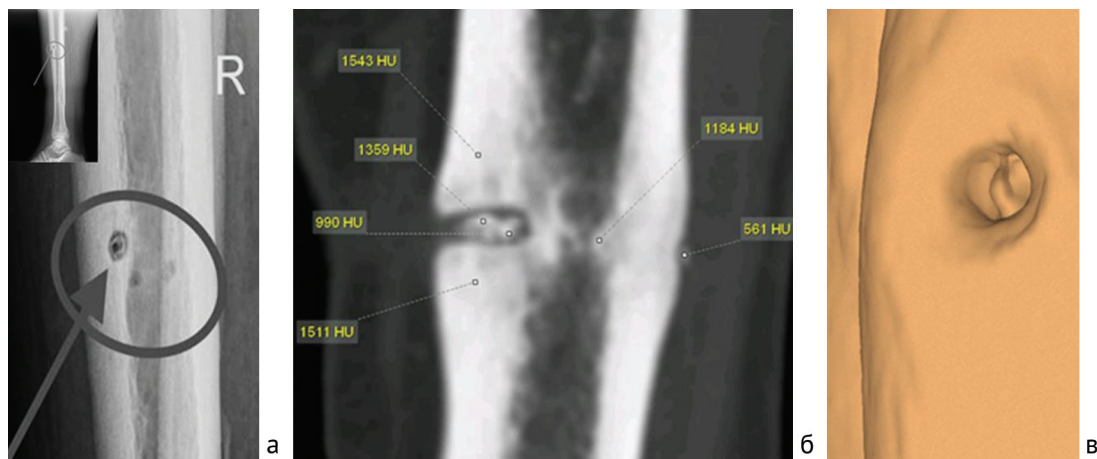


Рис. 6. Рентгенограмма голени пациента 46 лет со СО в боковой проекции, кольцевидный, «пуговчатый» секвестр (а); МСКТ голени пациентки 52 лет со СО, замурованный секвестр, МРР во фронтальной плоскости (б); 3D-реконструкция, наглядное представление о кольцевидном «пуговчатом» секвестре (в)

Частота выявления таких «пуговчатых» секвестров в нашей выборке составила около 15 %. Размеры и форма секвестров в области метафиза и диафиза значительно отличались. В области диафиза секвестры чаще имели форму, приближенную к прямоугольнику, горизонтальная сторона которого была в два–три раза длиннее. В области метафиза секвестры в 85,6 % случаев имели неопределенную форму различного размера, но не больше 5 мм в 80,5 % случаев. Секвестры в различных участках кости отличались по плотности. В метафизарном отделе плотность составляла $(652,4 \pm 45,8)$ HU, в области диафиза — $(1388,6 \pm 92,7)$ HU ($p < 0,01$).

На рис. 7 представлена плотность некротизированных и неизмененных участков кости. Медиана для некротизированной кости — 1388 [1315;1430], для неизмененной кости — 1248 [1198;1302] ($p < 0,05$).

В таблице 1 представлены данные о плотности стенок спицевого канала при транскортикальном проведении спицы в различных участках большеберцовой кости.

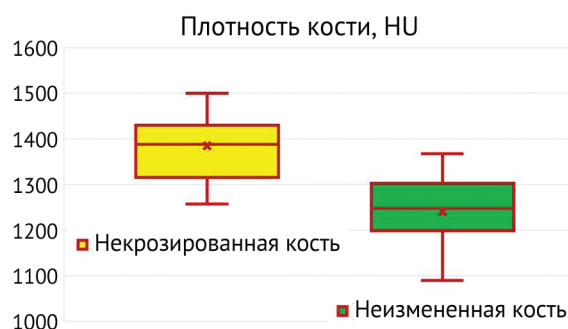


Рис. 7. Плотность в области некротизированной и неизменной кости

Таблица 1

Плотность стенок спицевого канала при транскортикальном проведении спицы через бугристость большеберцовой кости и диафизарный отдел

Зона интереса	Плотность стенок спицевого канала, НУ	
	М	σ
Плотность стенок спицевого канала в метафизарном отделе	798,5	69,4*
Плотность стенок спицевого канала в диафизе	1289,6	74,8

Примечание: * — $p < 0,035$ — достоверное отличие плотности стенок спицевого канала в области метафиза и диафиза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Применение метода чрескостного остеосинтеза по Илизарову сопровождается, по данным ряда авторов, достаточно частым осложнением в виде воспаления в месте проведения спиц или стержней [20, 21]. Характер и степень тяжести воспалительного процесса обусловлены многими факторами и либо ограничиваются устранимым воспалением мягких тканей, либо приводят к СО с различными последствиями в виде выраженных деструкций и дефектов кости. В литературе достаточно много внимания уделено воспалению мягких тканей, способам их профилактики и лечения, тогда как рентгенологическая семиотика СО представлена небольшим количеством работ, в основном в виде клинических случаев без детального описания характера изменений кости [22, 23, 24, 25].

Полученные нами данные свидетельствуют как о наличии специфических рентгенологических проявлений СО, так и о признаках, характерных для хронического остеомиелита любой этиологии, особенно на поздних стадиях воспалительного процесса. К наиболее характерным рентгенологическим изменениям кости при СО, появляющимся на ранних стадиях в течение одной–трех недель от начала заболевания, относятся: появление остеолитического валика вокруг спицы или стержня; повышение плотности контуров кости; а также появление линейного или гребневидного периостита вокруг спицевого хода. Для объективной оценки этих изменений мы сравнивали рентгенологические данные с ходами от спиц у пациентов без остеомиелита, а также с противоположной конечностью, где воспаления не было выявлено. Это позволило выделить именно патологические изменения, отличающиеся от анатомической нормы.

Спицевые каналы в метафизарных отделах характеризуются повышенной плотностью стенок и низкой плотностью содержимого канала с участками, имеющими отрицательные значения по шкале Хаунсфилда, что указывает на наличие воспалительного или некротического материала. В области диафиза спицевые каналы имели большую ширину по сравнению с метафизом; стенки каналов отличались неровными контурами и не имели плотностных различий с кортикальной пластинкой. Внутри канала часто визуализировались мелкие секвестры с плотностью 650–700 НУ.

Для СО в области диафиза характерны также так называемые «замурованные» секвестры в кортикальной пластинке, которые повторяют контуры спицевого канала и напоминают при исследовании методом МСКТ (3D) «пуговчатый секвестр». Этот феномен подтверждается и данными других исследований, где подобные формы секвестров описаны при локализации воспаления в кортикальном слое кости на ранних стадиях хронического остеомиелита [13, 14].

У больных с длительно текущим СО (более трех–четырех недель) или при рецидивах заболевания, рентгеноморфологическая картина деструктивных изменений кости в метафизарных отделах практически не отличалась от типичной для хронического остеомиелита. В частности, при локализации хронического остеомиелита в метафизарном отделе большеберцовой кости воспалительный и деструктивный процессы распространялись и на кости стопы. При этом мы отмечали изменения анатомии (дефекты, неровные контуры), снижение плотности костной ткани, а также зоны склероза и резорбции. Эти данные подтверждаются результатами ряда клинических и рентгенологических исследований [26, 27], что позволяет считать их достоверными и воспроизводимыми. При наличии хронической инфекции секвестр является основным диагностическим признаком хронического остеомиелита. Однако секвестры могут наблюдаться и при других заболеваниях, таких как эозинофильная гранулема, остеид-остеома,

где также описан так называемый «пуговчатый» секвестр [17, 18, 19]. Эти работы подробно описывают особенности «пуговчатого» секвестра и его клиническое значение, что важно учитывать при дифференциальной диагностике.

Учитывая выявленные в проведенном исследовании особенности изменения кости при СО в зависимости от локализации воспалительного процесса, данная работа может быть полезна клиницистам при планировании объема хирургического вмешательства. Основная идея заключается в том, что протяженность и характер патологических изменений в области диафиза и метафизарных отделов при СО существенно различаются. При планировании операции эти данные позволяют предположить необходимый объем вмешательства, что важно для выбора методики операции (учитывая локализацию воспаления в диафизе или метафизе), а также для подготовки пациентов с учетом их клинико-лабораторного и МСКТ-статуса. Таким образом, информация о рентгенологических и МСКТ-признаках, а также о сроках манифестации заболевания, способствует более точному и индивидуализированному подходу к лечению пациентов со СО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ранние рентгенологические признаки спинового остеомиелита включают расширение границ спинового канала, усиление плотности его стенок, нечеткость контуров и формирование линейного или гребневидного периостита вокруг спицы. В метафизарных отделах спицевые каналы характеризуются повышенной плотностью стенок (200–400 HU), низкой плотностью содержимого, включая участки с отрицательными значениями по шкале Хаунсфилда (HU), а также четкими демаркационными зонами, что отражает наличие воспалительного процесса с формированием границ между пораженной и здоровой тканью. В диафизарных отделах каналы шире, стенки имеют неровные контуры и плотность, сопоставимую с кортикальной пластинкой (500–700 HU), что требует дифференциальной диагностики с другими заболеваниями, такими как опухолевые процессы или доброкачественные опухоли кости.

Секвестры при СО демонстрируют выраженную вариабельность в зависимости от локализации: в метафизарных отделах секвестры обладают плотностью вдвое меньшей, чем в диафизе (250–350 HU против 600–700 HU), меньшими размерами и неправильной формой. В диафизе типичны «замурованные» секвестры в кортикальном слое, а также фрагменты с плотностью до 800 HU, окруженные демаркационной зоной с плотностью 100–150 HU. Патогномоничным признаком длительно текущего (более трех–четырех недель) СО в области диафиза является секвестр, повторяющий контур спинового канала, так называемый «кольцевидный» или «пуговчатый» секвестр, что подтверждает связь формирования секвестра с зоной проведенной спицы.

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

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Госзадания «Изучение кинетики высвобождения антибиотиков из различных материалов, используемых для замещения дефектов костной ткани, а также оценка их переносимости *in vivo*».

Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на опубликование информации о них в научной статье без идентификации личности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гаюк В.Д., Ключин Н.М., Бурнашов С.И. Воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов и спицевой остеомиелит: литературный обзор. *Гений ортопедии*. 2019;25(3):407–412. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-407-412.
2. Kazmers NH, Fragomen AT, Rozbruch SR. Prevention of pin site infection in external fixation: a review of the literature. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2016;11(2):75–85. doi: 10.1007/s11751-016-0256-4.
3. Lethaby A, Temple J, Santy-Tomlinson J. Pin site care for preventing infections associated with external bone fixators and pins. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013;2013(12):CD004551. doi: 10.1002/14651858.CD004551.pub3.
4. Timms A, Pugh H. Pin site care: guidance and key recommendations. *Nurs Stand*. 2012;27(1):50–55; quiz 56. doi: 10.7748/ns2012.09.27.1.50.c9271.
5. Shields DW, Iliadis AD, Kelly E, et al. Pin-site Infection: A Systematic Review of Prevention Strategies. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2022;17(2):93–104. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1562.
6. Guerado E, Cano JR, Fernandez-Sanchez F. Pin tract infection prophylaxis and treatment. *Injury*. 2019;50 Suppl 1:S45–S49. doi: 10.1016/j.injury.2019.03.044.
7. Clint SA, Eastwood DM, Chasseaud M, et al. The "Good, Bad and Ugly" pin site grading system: A reliable and memorable method for documenting and monitoring ring fixator pin sites. *Injury*. 2010;41(2):147–150. doi: 10.1016/j.injury.2009.07.001.
8. Ward P. Care of skeletal pins: a literature review. *Nurs Stand*. 1998;12(39):34–38. doi: 10.7748/ns1998.06.12.39.34.c2514.
9. Checketts RG, Otterburn M, Graham AA. Pin track infection and the principles of pin site care. In: DeBastiani AGAA, Goldberg DE (eds.) *Orthofix external fixation in trauma and orthopedics*. London: Springer London; 2000:97–103. doi: 10.1007/978-1-4471-0691-3_11.
10. Ceroni D, Grumetz C, Desvachez O, et al. From prevention of pin-tract infection to treatment of osteomyelitis during paediatric external fixation. *J Child Orthop*. 2016;10(6):605–612. doi: 10.1007/s11832-016-0787-8.
11. Rahbek O, Husum HC, Fridberg M, et al. Intrarater Reliability of Digital Thermography in Detecting Pin Site Infection: A Proof of Concept Study. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2021;16(1):1–7. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1522.

12. Bafor A, Skals RG, Shen M, et al. An assessment of the inter-rater and intra-rater reliability of the modified Gordon pin infection classification system. *Digit Health*. 2024;10:20552076241277672. doi: 10.1177/20552076241277672.
13. Nguyen VD, London J, Cone RO 3rd. Ring sequestrum: radiographic characteristics of skeletal fixation pin-tract osteomyelitis. *Radiology*. 1986;158(1):129-131. doi: 10.1148/radiology.158.1.3940369.
14. Vaishya R, Vaish A. Ring sequestrum of the tibia. *BMJ Case Rep*. 2014;2014:bcr2013201837. doi: 10.1136/bcr-2013-201837.
15. Timmer IR, Emmink BL, Leenen LPH, Govaert GAM. Complete ejection of a ring sequestrum 8 years after external fixation of the tibia. *BMJ Case Rep*. 2020;13(3):e233196. doi: 10.1136/bcr-2019-233196.
16. Jardaly AH, LaCoste K, Gilbert SR, Conklin MJ. Late Deep Infections Complicating Percutaneous Pinning of Supracondylar Humerus Fractures. *Case Rep Orthop*. 2021;2021:7915516. doi: 10.1155/2021/7915516.
17. Mehri A, SeilanianToosi F, Samini F, et al. Parietal bone osteoid osteoma: A rare cause of button sequestrum sign in pediatrics. Case report and review of literature. *Clin Case Rep*. 2022;10(10):e6416. doi: 10.1002/ccr3.6416.
18. Christodoulou EF, Nistikoulis G, Deftereos SP. Button Sequestrum Sign Due to Osteomyelitis of the Mandible Secondary to Malignant Infantile Osteopetrosis. *Maedica (Bucur)*. 2021;16(3):531-533. doi: 10.26574/maedica.2020.16.3.531.
19. Krasnokutsky MV. The button sequestrum sign. *Radiology*. 2005;236(3):1026-1027. doi: 10.1148/radiol.2363031294.
20. Крючков Р.А., Кунафин М.С., Хунафин С.Н. Остеомиелит после остеосинтеза с применением металлоконструкций у больных с закрытыми переломами трубчатых костей. *Креативная хирургия и онкология*. 2013;(4):62-64. doi: 10.24060/2076-3093-2013-0-4-62-64.
21. Lethaby A, Temple J, Santy-Tomlinson J. Pin site care for preventing infections associated with external bone fixators and pins. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013;2013(12):CD004551. doi: 10.1002/14651858.CD004551.pub3.
22. Chan CK, Saw A, Kwan MK, Karina R. Diluted povidone-iodine versus saline for dressing metal-skin interfaces in external fixation. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2009;17(1):19-22. doi: 10.1177/230949900901700105.
23. Ferreira N, Marais LC. Prevention and management of external fixator pin track sepsis. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2012;7(2):67-72. doi: 10.1007/s11751-012-0139-2.
24. Frank FA, Stubbs D, Ferguson JY, McNally M. A practical definition of pin site infection. *Injury*. 2024;55(2):111230. doi: 10.1016/j.injury.2023.111230.
25. Hamahashi K, Uchiyama Y, Kobayashi Y, Watanabe M. Delayed methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*-induced osteomyelitis of the tibia after pin tract infection: two case reports. *J Med Case Rep*. 2017;11(1):23. doi: 10.1186/s13256-016-1187-x.
26. Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Ларионова Т.А. и др. «Многоликий» хронический остеомиелит: лучевая диагностика. *Гений ортопедии*. 2020;26(3):385-391. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-385-391.
27. Дьячкова Г.В., Митина Ю.Л., Ключин Н.М. и др. Качество кости у больных хроническим остеомиелитом костей стопы по данным компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016;97(4):206-214. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-4-206-214.

Статья поступила 25.04.2025; одобрена после рецензирования 29.10.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 25.04.2025; approved after reviewing 29.10.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Галина Викторовна Дьячкова — доктор медицинских наук, профессор, dgv2003@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1973-4680>;

Константин Александрович Дьячков — доктор медицинских наук, заведующий отделением, dka_doc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8490-3025>;

Анатолий Сергеевич Судницын — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, заведующий лабораторией, доцент кафедры, anatol_anatol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2602-2457>;

Николай Михайлович Ключин — доктор медицинских наук, главный специалист, врач — травматолог-ортопед, klyushin_nikolay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1601-9713>.

Information about the authors:

Galina V. Diachkova — Doctor of Medical Sciences, Professor, dgv2003@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1973-4680>;

Konstantin A. Dyachkov — Doctor of Medical Sciences, Head of Department, dka_doc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8490-3025>;

Anatolii S. Sudnitsyn — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Laboratory, Associate Professor, anatol_anatol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2602-2457>;

Nikolay M. Klyushin — Doctor of Medical Sciences, Chief Specialist, orthopaedic surgeon, klyushin_nikolay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1601-9713>.

Вклад авторов:

Дьячкова Г.В. — идея; формулировка цели, разработка методологии; подготовка и написание первоначального проекта работы; внесение корректировки в первоначальный вариант и редактирование.

Дьячков К.А. — создание метаданных; проверка воспроизводимости результатов исследований; применение статистических методов, подготовка иллюстративного материала

Судницын А.С. — создание метаданных; анализ клинического материала, подготовка разделов статьи.

Ключин Н.М. — анализ клинического материала, подготовка разделов статьи.

Научная статья

УДК 616.71-018.46-002:(615.276+615.281):615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-23-30>

Влияние полиморфизма генов *IL-17A* и *PPARG* на течение гнойных осложнений после лечения пострадавших с травмами костей нижних конечностей

В.В. Савгачев✉, Л.Б. Шубин

Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виталий Владимирович Савгачев, hirurg2288@mail.ru

Аннотация

Введение. Эпидемиологические исследования показали связь генетических факторов с возникновением гнойных осложнений после лечения у пациентов с травмами и ортопедическими заболеваниями. Изучение генов кандидатов помогают выявить мутации, связанные с заболеваниями, что является важным фактором диагностики и профилактики. Немалый интерес вызывает полиморфизм генов *IL-17A* и *PPARG*: полиморфизм *G197A* в гене *IL-17A* может повысить риск аутоиммунных и инфекционных заболеваний, полиморфизм *C1431T* в гене *PPARG* часто ассоциируется с метаболическими нарушениями, включая ожирение и диабет 2 типа. Оба полиморфизма имеют значение для разработки методов прогнозирования и купирования гнойных осложнений, влияние которых на здоровье пациента может быть существенным.

Цель работы — определить влияние полиморфизма генов *IL-17A* и *PPARG* на течение гнойных осложнений после лечения пострадавших с травмами костей нижних конечностей.

Материалы и методы. Исследование генов кандидатов: выявление полиморфизма гена *PPARG C1431T* и полиморфизма гена *IL-17A G197A* в геноме 114 пациентов. Пациенты получали лечение на базе больницы имени Н.В. Соловьева (Ярославль) по поводу гнойных осложнений после травм нижних конечностей в различные периоды с 2018 по 2024 гг.

Результаты. Анализ показал, что базовая линия для гена *PPARG* (rs3856806) находится на уровне аллеля С (82 % и 89 %), преимущественно в генотипе С/С (70 % и 80 %). Для *IL-17A* (rs2275913) базовая линия соответствует аллелю G, причем генотип А/А встречается у 46 % и 42 % групп. Установлено соблюдение равновесия Харди – Вайнберга для *PPARG*, но несоответствие для *IL-17A*, что указывает на влияние этого полиморфизма на рецидивы осложнений. Выявлены ассоциации между SNP и коморбидными заболеваниями, такими как диабет и гипертония, подтверждающие связь генных полиморфизмов с риском гнойных осложнений.

Обсуждение. Исследование выявило связь мутантного аллеля Т с повышенным риском метаболических нарушений и осложнений, что подтверждается как собственными наблюдениями, так и данными других авторов. В группе без рецидива гомозиготы С/С встречались в 70 % случаев, а в группе с рецидивом — в 80 %, что частично согласуется с предыдущими работами, отмечающими влияние данного полиморфизма на метаболический профиль.

Заключение. Исследование полиморфизмов *PPARG* и *IL-17A* показало важность учета мутаций при прогнозировании рецидивов инфекционных осложнений у пациентов с травмами нижних конечностей. Исследование полиморфизмов *PPARG* и *IL-17A* можно использовать в построении прогнозов течения осложнений и их рецидивов, учитывая такие ковариаты, как ИМТ, гипертония, ишемическая болезнь сердца и сахарный диабет. Установлена связь между мутацией этих генов и рецидивами осложнений у пациентов с травмами нижних конечностей.

Ключевые слова: осложнения, травма костей нижних конечностей, гены, полиморфизм, *PPARG*, *IL-17A*

Благодарность. Авторы выражают благодарность за помощь в организации проведения лабораторного генетического этапа исследования ректору Ярославского государственного медицинского университета академику РАН Александру Леонидовичу Хохлову.

Для цитирования: Савгачев В.В., Шубин Л.Б. Влияние полиморфизма генов *IL-17A* и *PPARG* на течение гнойных осложнений после лечения пострадавших с травмами костей нижних конечностей. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):23-30. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-23-30.



Effect of *IL-17A* and *PPARG* gene polymorphism on the course of purulent complications after treatment of patients with lower limb bone injuries

V.V. Savgachev✉, L.B. Shubin

Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

Corresponding author: Vitaly V, Savgachev, hirurg2288@mail.ru

Abstract

Introduction Epidemiological studies have shown a link between genetic factors and the development of purulent complications after treatment in traumatology and orthopedics. Studies on candidate genes help identify mutations associated with diseases, which is important for diagnosis and prevention. The polymorphisms of the *IL-17A* and *PPARG* genes are of particular interest. The *G197A* polymorphism in the *IL-17A* gene may increase the risk of autoimmune and infectious diseases. The *C1431T* polymorphism in the *PPARG* gene is often associated with metabolic disorders, including obesity and diabetes type 2. Both polymorphisms are significant for developing methods to predict and treat purulent complications, as their impact on patient health can be substantial.

Purpose To study the influence of *IL-17A* and *PPARG* gene polymorphisms on the course of purulent complications after treatment of patients with lower limb bone injuries.

Materials and methods Candidate genetic study: identification of the *PPARG C1431T* gene polymorphism and the *IL-17A G197A* gene polymorphism in the genome of 114 patients treated at Solovyev Hospital in Yaroslavl for purulent complications after treatment of lower limb injuries during various periods from 2018 to 2024.

Results Analysis showed that the baseline for the *PPARG* gene (rs3856806) is at the level of allele C (82 % and 89 %), predominantly in the C/C genotype (70 % and 80 %). For *IL-17A* (rs2275913), the baseline corresponds to allele G, with the A/A genotype occurring in 46 % and 42 % of groups. Hardy – Weinberg equilibrium was found for *PPARG* but not for *IL-17A*, indicating the influence of this polymorphism on complication recurrences. Associations were identified between SNPs and comorbidities such as diabetes and hypertension, confirming the relationship between gene polymorphisms and the risk of purulent complications.

Discussion The study revealed that the mutant T allele is associated with an increased risk of metabolic disorders and complications, as confirmed by both our own observations and data from other authors. In the non-recurrence group, C/C homozygotes were found in 70 % of cases, while in the recurrence group this number reached 80 %, which partially agrees with previous studies that noted the impact of this polymorphism on the metabolic profile.

Conclusion The study of *PPARG* and *IL-17A* polymorphisms highlighted the importance of considering mutations when predicting recurrence of infectious complications in patients with lower limb injuries. The study of *PPARG* and *IL-17A* polymorphisms can be used to build predictions about the progression of complications and their recurrences, taking into account covariates such as BMI, hypertension, coronary heart disease, and diabetes. A connection has been established between these gene mutations and the recurrence of complications in patients with lower limb injuries.

Keywords: complication, lower limb bone injury, genes, polymorphism, *PPARG*, *IL-17A*

Acknowledgments The authors express their gratitude to the rector of the Yaroslavl State Medical University, Academician of the Russian Academy of Sciences Alexander Leonidovich Khokhlov for assistance in organizing the laboratory genetic stage of the study.

For citation: Savgachev VV, Shubin LB. Effect of *IL-17A* and *PPARG* gene polymorphism on the course of purulent complications after treatment of patients with lower limb bone injuries. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):23-30. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-23-30.

ВВЕДЕНИЕ

Эпидемиологические исследования гнойных осложнений после проведенного лечения в травматологии и ортопедии показывают ассоциацию развития заболевания с фактором наследственности, что свидетельствует о значительном влиянии генетических событий на развитие и прогрессирование подобных осложнений. Для изучения генетических факторов, вовлеченных в патогенез заболевания, применяют различные подходы, включая анализ наследственности в семейных исследованиях, изучение дифференциальной экспрессии генов и анализ геномных вариаций [1]. P. Visscher et al. утверждают, что анализ геномных вариаций может быть реализован путем сравнения отдельных генов-кандидатов или проведения полногеномных исследований ассоциаций [2]. Кандидатное генетическое исследование играет ключевую роль в медицине, способствуя улучшению понимания и лечения заболеваний, в том числе гнойных осложнений в травматологии и ортопедии [3].

Патогенез гнойных осложнений, полученных после лечения, является сложным многофакторным процессом, механизм развития которого в настоящее время до конца не изучен [4]. Влияние отдельных генов в целом на возникновение гнойных осложнений в популяции может быть малоэффективным. Воздействие конкретных генетических полиморфизмов зависит от взаимодействия генотипа и факторов окружающей среды, а также от эпигенетических механизмов, которые могут быть специфичными для патофизиологии каждого отдельного пациента [5, 6].

Для изучения этиопатогенеза рецидива гнойного осложнения после проведенного лечения пациентов с травмами нижней конечности выбран ген, кодирующий интерлейкин 17А (*IL-17A*), — цитокин, который играет важную роль в регуляции иммунного ответа. Он участвует в воспалительных процессах и может быть связан с различными заболеваниями (аутоиммунными и инфекционными). Полиморфизмы в гене *IL-17A* могут влиять на уровень экспрессии этого цитокина и его функцию. Одним из таких полиморфизмов является *G197A* (rs2275913), представляющий собой замену гуанина на аденин в позиции 197 гена *IL-17A*. Ранее проведены исследования, показывающие ассоциации полиморфизма *G197A* с повышенным риском аутоиммунных заболеваний и инфекционных состояний, однако мы не встретили работ по изучению его влияния на риск осложнений именно в травматологии и ортопедии [7]. В целом, полиморфизм *G197A* является важным генетическим фактором, который может влиять на риск развития различных заболеваний. Например, некоторые исследования замечают, что минорный аллель А может быть связан с повышенным риском развития аутоиммунных заболеваний и апластической анемии [8, 9]. Также было определено, что полиморфизм *G197A* может влиять на риск развития инфекционных заболеваний: люди с минорным аллелем А могут иметь повышенный риск развития инфекций, вызванных некоторыми вирусами и бактериями [10]. Именно поэтому изучение прогностической роли SNP генов, кодирующих цитокин *IL-17A*, в развитии гнойных осложнений мы считаем перспективным направлением поиска генетических маркеров неблагоприятного течения заболеваний. Дальнейшие исследования необходимы для более полного понимания роли этого полиморфизма *G197A* в развитии гнойных осложнений.

Ген *PPARG* кодирует рецептор, активируемый пролифераторами пероксисом, играющий ключевую роль в регуляции метаболизма и чувствительности к инсулину. Полиморфизм *C1431T* (rs3856806) может оказывать влияние на функцию белка и метаболизм глюкозы. Некоторые исследования связывают полиморфизм *C1431T* с повышенным риском ожирения, сахарным диабетом 2 типа и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Y. Song et al. считают, что полиморфизм *C1431T* может влиять на риск развития различных заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ [11]. Полиморфизмы в гене *PPARG* могут влиять на функцию белка и его способность регулировать обмен веществ. Один из таких полиморфизмов — *C1431T* (rs3856806), который представляет собой замену цитозина на тимин в позиции 1431 гена *PPARG*. В целом, полиморфизм *C1431T* является важным генетическим фактором, воздействующим на риск развития различных заболеваний, которые могут привести к формированию и рецидивирующему течению гнойных осложнений. Это особенно важно, если у пациента есть нарушение толерантности к углеводам или предиабет, отсутствующий в анамнезе [13], которые могут запустить целый каскад патологических реакций, что без должного внимания и коррекции сопутствующей терапии приведет к стойкому формированию гнойного осложнения и/или его обострению.

Описанные выше генные полиморфизмы соответствуют взглядам на наличие минимального риска угрозы нагноения у пациентов как основы и/или промежуточного звена в развитии и рецидиве гнойного осложнения. T. Lamagni и W. Gu указывают на значимость комплексного учета факторов риска и подборе индивидуальной стратегии лечения [14–16]. Не исключена важная роль каждого гена, но в рамках данной работы мы хотели несколько сузить зону исследования и попытаться определить потенциальную возможность практического применения знаний генетического полиморфизма конкретного пациента в аспекте прогнозирования гнойных осложнений после проведенного лечения.

Цель работы — определить влияние полиморфизма генов *IL-17A* и *PPARG* на течение гнойных осложнений после лечения пострадавших с травмами костей нижних конечностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кандидатное генетическое исследование по выявлению полиморфизма генов *PPARG C1431T* и *IL-17A G-197A* в геноме пациентов выполнено на базе Ярославского государственного медицинского университета. Пациенты получали лечение по поводу гнойных осложнений, полученных в результате травм нижних конечностей. Использован метод аллель специфичной полимеразной цепной реакцией (АС-ПЦР) с флуоресцентной схемой детекции продуктов в режиме реального времени SNP-ЭКСПРЕСС-PV.

Исследование проведено в рамках выполнения докторской диссертации на тему «Лечение гнойных осложнений и прогнозирование их исходов у пациентов с травмой среднестистального отдела нижней конечности». Работа одобрена этическим комитетом ЯГМУ (выписка из протокола заседания от 14 июня 2024 года № 68).

Критерии включения пациентов в исследование:

- 1) острые травматические повреждения коленного сустава, голени, голеностопного сустава и стопы (переломы, вывихи, разрывы связок) в анамнезе;
- 2) наличие гнойно-воспалительных осложнений (остеомиелит, гнойный артрит, флегмона, абсцесс), развившихся в процессе лечения и в течение первого года после лечения;
- 3) возраст — от 18 до 75 лет;
- 4) информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения:

- 1) наличие хронических заболеваний, которые могли повлиять на развитие гнойных осложнений (онкологические заболевания, ВИЧ-инфекция);
- 2) проведение иммуносупрессивной терапии;
- 3) частота рецидивов гнойно-воспалительных осложнений — меньше одного года;
- 4) наличие в анамнезе генетических заболеваний, связанных с нарушением иммунитета.

Таким образом, отобрано 114 пациентов, пролеченных на базе больницы имени Н.В. Соловьева (Ярославль) в различные периоды с 2018 по 2024 гг. Коморбидные патологии выявлены у 93 (81,6 %) пациентов (табл. 1).

Таблица 1

Распределение обследованных пациентов по видам коморбидной патологии (*n* = 114)

Название патологии	Количество случаев	
	абс.	%
Ожирение (предиабет)	9	7,9
Сахарный диабет	21	18,4
Гипертоническая болезнь	25	21,8
Ишемическая болезнь сердца	10	8,7
Болезни сосудов нижних конечностей (венозные тромбозы и тромбофлебиты), атеросклероз)	17	14,8
Различные комбинации	11	9,6
Итого	93	81,6

Сформированы две группы исследования:

- группа 1 (*n* = 50) — пациенты, имеющие в анамнезе гнойное осложнение и не имеющие последующих рецидивов в течение одного года;
- группа 2 (*n* = 64) — пациенты, имеющие в анамнезе сформировавшееся гнойное осложнение и его рецидив один и более раз в течение одного года.

Формирование осложнения или его рецидива (табл. 2) определяли при госпитализации пациента в профильный стационар с выполнением всех необходимых клинико-диагностических мероприятий и алгоритмов в рамках действующих протоколов и клинических рекомендаций.

Таблица 2

Тип осложнений и частота встречаемости в группах

Вид осложнения	Две группы (n = 114)		1 группа (n = 50)		2 группа (n = 64)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Посттравматический остеомиелит	49	42,9	17	34,0	32	50
Гнойный артрит	19	16,7	11	22,0	8	12,5
Флегмона	9	7,9	6	12,0	3	4,7
Нагноение (абсцесс) зоны послеоперационной раны (рубца)	37	32,5	16	32,0	21	32,8

Исследуемым материалом для анализа была цельная венозная кровь пациентов, при этом забор крови у пациентов группы 2 (с установленным рецидивом осложнений) проводили непосредственно на этапе госпитализации, а забор крови группы 1 (без рецидива после проведенного лечения) выполняли индивидуально.

Используемые реагенты:

- набор реагентов для анализа однонуклеотидного полиморфизма методом АС-ПЦР *C1431T* в гене *PPARG* Мутация-2 *PPARG* SNP-экспресс РВ нераскапанный — 100 (Литех, Россия);
- набор реагентов для анализа однонуклеотидного полиморфизма методом АС-ПЦР *G-197A* в гене *IL-17A* Мутация интерлейкина 17A SNP-экспресс РВ нераскапанный — 100 (Литех, Россия);
- SYBR Green (Thermo Fisher Scientific, США).

Реакцию амплификации проводили с использованием амплификаторов детектирующих «ДТлайт» (ТУ 9443-003-96301278-2010, модификация 4S1) и «ДТпрайм» (ТУ 9443-004-96301278-2010, модификация 5M3) фирмы ООО «НПО ДНК-Технология» (Протвино). Используемые приборы обеспечивали реализацию качественных и количественных исследований методом аллель специфичной полимеразной цепной реакции (АСПЦР) без стадии электрофореза продуктов ПЦР в агарозном геле при использовании наборов реагентов, основанных на принципах флуоресцентной детекции.

Детекцию результатов ПЦР выполняли с помощью интеркалирующих агентов (SYBR Green I с длиной волны испускания 520 нм). Оценка количества накопленного продукта амплификации ПЦР происходила непосредственно во время температурных циклов. Количественный анализ основан на исследовании стандартной кривой ПЦР с анализом накопления флуоресцентного сигнала по FAM каналу с помощью соответствующего математического аппарата.

Результаты интерпретировали на основании наличия (или отсутствия) пересечения кривой флуоресценции S-образной формы с установленной на соответствующем уровне пороговой линией, что определяет наличие (или отсутствие) для данной пробы ДНК значения порогового цикла (Ct) в сравнении со значениями конечного цикла.

Статистическую обработку результатов проводили в программе Haplostats Version 1.9.7 (2024 г.), предназначенной для статистического анализа гаплотипов с признаками и ковариатами, когда фаза сцепления неоднозначна (Daniel J. Schaid, Jason P. Sinnwell, USA). Для поиска компромисса между точностью и сложностью модели использовали информационные критерии, а именно: информационный критерий Акаике (англ.: Akaike information criterion, AIC) и Байесовский информационный критерий (англ.: Bayesian information criterion, BIC). Статистически достоверными считали различия при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведена процедура описательной статистики по распределению частоты аллелей и генотипов генов-кандидатов в выборке больных двух групп (табл. 3).

По данным таблицы можно сделать вывод, что базовая линия по *PPARG* (rs3856806) на обе группы находится на уровне С аллеля (82 % и 89 %) и проходит преимущественно по С/С (норма/гомозиготы) генотипу (70 % и 80 % соответственно). Базовая линия по *IL-17A* (rs2275913) находится на уровне G аллеля и преимущественно по генотипу А/А (мутация) (46 % и 42 % в обеих группах соответственно).

Вычисление равновесия Харди – Вайнберга ($p > 0,05$) по *PPARG* (rs3856806) оказалось соблюдено и составило 0,23, что говорит об отсутствии явного влияния данного SNP на возможные ковариаты в двух группах, однако есть смысл провести более детальное изучение его влияния. При вычислении равновесия Харди – Вайнберга по *IL-17A* (rs2275913) получено его явное несоблюдение как в обеих группах, так и в группе 2 (с рецидивом осложнения): 0,0026 и 0,022 соответственно. Это свидетельствует о влиянии данного полиморфизма на рецидив осложнения.

Таблица 3

Распределение частоты аллелей и генотипов генов-кандидатов в выборке больных двух групп

SNP	Аллели / Генотипы		Всего (n = 114)		Группа 1 (n = 50)		Группа 2 (n = 64)	
			абс.	доля	абс.	доля	абс.	доля
PPARG rs3856806	C	–	196	0,86	82	0,82	114	0,89
	T	–	32	0,14	18	0,18	14	0,11
	C/C	норма/гомозигота	86	0,75	35	0,7	51	0,8
	C/T	гетерозигота	24	0,21	12	0,24	12	0,19
	T/T	мутация	4	0,04	3	0,06	1	0,02
	равновесие Харди — Вайнберга, <i>p</i>		0,23		0,17		0,55	
IL-17A rs2275913	G	–	144	0,63	68	0,68	76	0,59
	A	–	84	0,37	32	0,32	52	0,41
	G/G	норма / гомозигота	23	0,2	8	0,16	15	0,23
	G/A	гетерозигота	38	0,33	16	0,32	22	0,34
	A/A	мутация	53	0,46	26	0,52	27	0,42
	равновесие Харди — Вайнберга, <i>p</i>		0,0026		0,099		0,022	

Далее проведен анализ данных сравнения статистических моделей с различным числом параметров (ковариат: пол, возраст, ИМТ, коморбидная патология). Полученные результаты представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Сравнение статистических моделей учета PPARG (rs3856806) с различным числом параметров (ковариаты: пол, возраст, ИМТ, наличие коморбидной фоновой патологии)

Модель	Генотип	Группа 1 (n = 50)		Группа 2 (n = 64)		OR (95 % CI)	AIC	BIC
		абс.	%	абс.	%			
Кодоминантная	C/C	35	70,0	51	79,7	1,00	152,7	185,5
	C/T	12	24,0	12	18,8	0,64 (0,22–1,81)		
	T/T	3	6,0	1	1,6	0,35 (0,03–4,65)		
Доминантная	C/C	35	70,0	51	79,7	1,00	150,9	181
	C/T–T/T	15	30,0	13	20,3	0,59 (0,22–1,60)		
Рецессивная	C/C–C/T	47	94,0	63	98,4	1,00	151,4	181,5
	T/T	3	6,0	1	1,6	0,39 (0,03–5,14)		
Сверхдоминантная	C/C–T/T	38	76,0	52	81,2	1,00	151,4	181,5
	C/T	12	24,0	12	18,8	0,67 (0,23–1,90)		

Выяснили, что наименьшие значения AIC и BIC критериев — в доминантной модели, которая включает в себя генотип C/C и C/T–T/T, что также может влиять на риск рецидива осложнения.

Таблица 5

Сравнения статистических моделей учета IL-17A (rs2275913) с различным числом параметров (ковариат: пол, возраст, ИМТ, коморбидная патология)

Модель	Генотип	Группа 1 (n = 50)		Группа 2 (n = 64)		OR (95 % CI)	AIC	BIC
		абс.	%	абс.	%			
Кодоминантная	G/G	26	52,0	27	42,2	1,00	153,5	186,3
	G/A	16	32,0	22	34,4	1,42 (0,51–4,01)		
	A/A	8	16,0	15	23,4	1,27 (0,38–4,23)		
Доминантная	G/G	26	52,0	27	42,2	1,00	151,5	181,6
	G/A–A/A	24	48,0	37	57,8	1,37 (0,55–3,41)		
Рецессивная	G/G–G/A	42	84,0	49	76,6	1,00	152	182,1
	A/A	8	16,0	15	23,4	1,09 (0,36–3,33)		
Сверхдоминантная	G/G–A/A	34	68,0	42	65,6	1,00	151,7	181,8
	G/A	16	32,0	22	34,4	1,32 (0,50–3,45)		

Анализ полиморфизма rs3856806 гена PPARG выявил значимые различия в распределении генотипов между группами пациентов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным Y. Song et al., мутантный аллель T ассоциирован с повышенным риском метаболических нарушений [11], что подтверждается нашими наблюдениями. В группе без рецидива гомозиготы C/C составили 70 %, тогда как в группе с рецидивом этот показатель достигал 80 %. Эти данные частич-

но согласуются с результатами R. Aisyah et al., которые также отмечали связь данного полиморфизма с изменениями метаболического профиля [13]. Анализ полученных данных показывает, что базовая линия для SNP PPARG (rs3856806) в обеих группах находится на уровне С аллеля (82 % и 89 %) и преобладает среди гомозигот С/С (70 % и 80 % соответственно). С одной стороны, это указывает на потенциальную стабильность данного полиморфизма в рассматриваемых популяциях, с другой, есть смысл задуматься о потенциальном наследовании состояния, приводящего к метаболическому синдрому даже у пациентов с нормальным весом.

При сравнительном анализе статистических моделей мы использовали информационные критерии Акаике (AIC) и Байесовский информационный критерий (BIC), модель с учетом всех параметров продемонстрировала наилучшее соответствие (AIC = 145,6; BIC = 158,3). По мнению T. Lamagni et al., комплексный подход к анализу факторов риска позволяет получить более точные предикторы развития осложнений [14], полученные значения критериев подтверждают важность учета как генетических, так и клинических факторов.

Распределение частот генотипов соответствовало закону Харди – Вайнберга ($p > 0,05$), что согласуется с рекомендациями по проведению подобных исследований [2]. Как отмечают R.J.F. Loos и G.S.H. Yeo, соблюдение этого принципа является важным условием достоверности результатов генетических исследований [1]. Несмотря на репрезентативность выборки (значения p для всех анализируемых полиморфизмов превышали пороговое значение), можно выделить непоступательное равновесие Харди – Вайнберга для *IL-17A*, полученное значениями 0,0026 и 0,022 как в общей выборке, так и в группе с рецидивом осложнения, что также может указывать на значимое влияние этого SNP на риск рецидивов. Подобные данные описывал A. Hijazi et al., изучая полиморфизм генов влияющих на развитие осложнений после артропластики [16].

Применение многомерного регрессионного анализа позволило выявить независимые предикторы развития осложнений с OR = 2,34 (95 % CI: 1,87–3,12, $p < 0,001$). В ряде работ, посвященных проблемам осложнений в травматологии, акцент сделан на необходимости использования современных статистических методов, значительно повышающих точность прогнозирования исходов заболевания в комбинации анализа взаимодействия генетических факторов с клиническими характеристиками пациентов [17, 18]. Наше исследование подтвердило важность учета как генетических маркеров, так и клинических параметров при прогнозировании исходов лечения.

Анализ динамики изменений показателей углеводного обмена выявил существенные различия между группами пациентов. L. Hashemian et al. считают, что варианты терапии оказывают различное влияние на метаболические показатели в зависимости от генетического профиля пациента [12], Эти данные подтверждаются нашими наблюдениями, демонстрирующими значимую корреляцию между генотипом и ответом на лечение.

Интересные параллели можно провести с исследованиями генетической предрасположенности к хроническим воспалительным процессам [5]. Как показано в работе О.Н. Новаковой с соавт., разные локусы могут играть различную роль в развитии воспалительных заболеваний [3]. Подобные механизмы, вероятно, задействованы и в развитии гнойных осложнений, таких как остеомиелит, при травмах костей [19].

Для проверки робастности полученных результатов был проведен дополнительный анализ с применением различных статистических методов [8]. Как отмечают M. Rushdy et al., использование нескольких методов анализа повышает надежность выводов [7]. Все примененные методы подтвердили значимость выявленных ассоциаций, что говорит о высокой достоверности полученных данных.

Проведенный анализ распределения частот аллелей и генотипов выявил важные закономерности в двух исследуемых группах пациентов. Как показано в работе A. Paradowska-Gorycka et al., эти различия могут служить потенциальными маркерами риска развития осложнений [8]. Особенно интересными представляются данные о распределении мутантного генотипа Т/Т, который наблюдался у 6 % пациентов без рецидива и лишь у 2 % с рецидивом. При этом информация о том или ином выявленном генетическом полиморфизме (мутации) была доведена до сведения каждого пациента согласно всем этическим рамкам с полным разъяснением, так как некорректно поданная информация может вызвать у пациента моральный и психологический дискомфорт и переживания относительно своего здоровья [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное генетическое кандидатное исследование полиморфизма гена *PPARG* (rs3856806) и гена *IL-17A* (rs2275913) у пациентов, имеющих инфекционные осложнения после проведенного лечения и их рецидивы, позволяет судить о значимости их учета для прогнозирования неблагоприятного течения осложнения и возможности его рецидива в течение года после проведенного лечения. Прогноз

возможен при комплексном учете ковариат: индекс массы тела, наличие коморбидной фоновой патологии, а именно гипертонической болезни, ишемической болезни сердца и сахарного диабета. Данное исследование позволило установить четкую связь наличия мутации как в гене *PPARG* (rs3856806), так и в гене *IL-17A* (rs2275913) в рамках формирования рецидива осложнения у пациентов с травмами нижней конечности.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Loos RJF, Yeo GSH. The genetics of obesity: from discovery to biology. *Nat Rev Genet.* 2022;23(2):120-133. doi: 10.1038/s41576-021-00414-z.
- Visscher PM, Brown MA, McCarthy MI, Yang J. Five years of GWAS discovery. *Am J Hum Genet.* 2012;90(1):7-24. doi: 10.1016/j.ajhg.2011.11.029.
- Новакова О.Н., Новаков В.Б., Чурносоев М.И. Связь полиморфизма генов *LYPLAL1* и *TGFA* с прогрессированием остеоартроза коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России. *Травматология и ортопедия России.* 2022;28(4):42-53. doi: 10.17816/2311-2905-1979.
- Zhou JQ, Liu ZX, Zhong HF, et al. Single nucleotide polymorphisms in the development of osteomyelitis and prosthetic joint infection: a narrative review. *Front Immunol.* 2024;15:1444469. doi: 10.3389/fimmu.2024.1444469.
- Каменский А.Д., Донькина А.И., Парахин Ю.В., и др. Роль генных полиморфизмов в развитии асептической нестабильности эндопротезов коленных и тазобедренных суставов: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2025;31(1):144-156. doi: 10.17816/2311-2905-17487.
- Савгачев В.В., Юрий А.В., Шубин Л.Б. и др. База данных алгоритмов прогностической эффективности диагностики, лечения и профилактики на основе генетического полиморфизма рисковой патологии развития осложнений при открытой травме костей голени. Свидетельство РФ о регистрации базы данных № 2022621249, 30.05.2022. Бюл. № 6. Доступно по: <https://www.fips.ru/registers-doc-view/fipsServlet?DB=DB&DocNumber=2022621249&TypeFile=html>. Ссылка активна на 19.08.2025.
- Rushdy M, Elsayed MS, Ahmed R, et al. IL-17A (rs2275913; G197A) gene polymorphism as predictor for disease severity and its correlation with IL-17 serum levels in COVID-19 patients. *Egypt J Immunol.* 2022;29(3):90-98.
- Paradowska-Gorycka A, Wojtecka-Lukasik E., Trefler J, et al. Association between IL-17F gene polymorphisms and susceptibility to and severity of rheumatoid arthritis (RA). *Scand J Immunol.* 2010;72(2):134-141. doi: 10.1111/j.1365-3083.2010.02411.x.
- Ахмедова З.Б., Маткаримова Д.С., Бобоев К.Т. Ассоциация цитокинового гена интерлейкина IL17A (G-197A) с формированием апластической анемии. *Журнал Гуманитарных и Естественных Наук.* 2023;1(5):126-129.
- Deng Z, Wang S, Wu C, Wang C. IL-17 inhibitor-associated inflammatory bowel disease: A study based on literature and database analysis. *Front Pharmacol.* 2023;14:1124628. doi: 10.3389/fphar.2023.1124628.
- Song Y., Raheel TM., Jia A., et al. rs10865710 polymorphism in *PPARG* promoter is associated with the severity of type 2 diabetes mellitus and coronary artery disease in a Chinese population. *Postgrad Med J.* 2022;98(1164):778-787. doi: 10.1136/postgradmedj-2021-140354.
- Hashemian L., Sarhangi N., Afshari M., et al. The role of the *PPARG* (Pro12Ala) common genetic variant on type 2 diabetes mellitus risk. *J Diabetes Metab Disord.* 2021;20(2):1385-1390. doi: 10.1007/s40200-021-00872-6.
- Aisyah R., Sadewa AH., Patria SY., et al. The *PPARGC1A* is the gene responsible for thrifty metabolism related metabolic diseases: A scoping review. *Genes (Basel).* 2022;13(10):1894. doi: 10.3390/genes13101894.
- Lamagni T, Elgohari S, Harrington P. Trends in surgical site infections following orthopaedic surgery. *Curr Opin Infect Dis.* 2015;28(2):125-132. doi: 10.1097/QCO.0000000000000143.
- Gu W, Jiang J. Genetic polymorphisms and posttraumatic complications. *Comp Funct Genomics.* 2010;2010:814086. doi: 10.1155/2010/814086.
- Hijazi A, Hasan A, Pearl A, et al. Genetic polymorphisms associated with perioperative joint infection following total joint arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Antibiotics (Basel).* 2022;11(9):1187. doi: 10.3390/antibiotics11091187.
- Xie X, Li J, Gu F, et al. Genetic determinants for bacterial osteomyelitis: A focused systematic review of published literature. *Front Genet.* 2021;12:654792. doi: 10.3389/fgene.2021.654792.
- Zhou JQ, Liu ZX, Zhong HF, et al. Single nucleotide polymorphisms in the development of osteomyelitis and prosthetic joint infection: a narrative review. *Front Immunol.* 2024;15:1444469. doi: 10.3389/fimmu.2024.1444469.
- Jiang N, Li SY, Ma YF, et al. Associations between Interleukin Gene Polymorphisms and Risks of Developing Extremity Posttraumatic Osteomyelitis in Chinese Han Population. *Mediators Inflamm.* 2020;2020:3278081. doi: 10.1155/2020/3278081.
- Savgachev VV. Ethical and legal implications of genetic testing in traumatology and orthopedics. *Medical Ethics.* 2025;(2). doi: 10.24075/medet.2025.003.

Статья поступила 07.07.2025; одобрена после рецензирования 25.07.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 07.07.2025; approved after reviewing 25.07.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Виталий Владимирович Савгачев — доцент кафедры, врач — травматолог-ортопед, hirurg2288@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7634-1280>;

Леонид Борисович Шубин — доцент кафедры, <https://orcid.org/0000-0003-4562-7731>.

Information about the authors:

Vitaly V. Savgachev — Associate Professor of the Department, orthopaedic surgeon, hirurg2288@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7634-1280>;

Leonid B. Shubin — Associate Professor of the Department, <https://orcid.org/0000-0003-4562-7731>.

Научная статья

УДК 616.71-018.46-002:(615.276+615.281):615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-31-37>

Перспективы применения ацетилсалициловой кислоты в комбинации с антибактериальными препаратами против ведущих возбудителей остеомиелита

И.В. Шипицына✉, Е.В. Осипова, А.Л. Шастов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Шипицына, ivschimik@mail.ru

Аннотация

Актуальность. Ацетилсалициловая кислота (АСК) — один из перспективных кандидатов для усиления действия антибактериальных препаратов.

Цель работы — оценить *in vitro* влияние аспирина в комбинации с антибактериальными препаратами на рост микробных культур клинически значимых штаммов бактерий при остеомиелите.

Материалы и методы. Объект исследования — клинически значимые штаммы бактерий *K. pneumoniae* ($n = 12$), *P. aeruginosa* ($n = 12$), *S. aureus* ($n = 12$), *S. epidermidis* ($n = 12$), выделенные из ран пациентов с хроническим остеомиелитом. Эксперимент разделен на четыре серии: контрольная группа, группы с АСК, антибиотиком, АСК и антибиотиком. Антибактериальное действие оценивали по отсутствию зоны роста бактерий вокруг дисков.

Результаты. При совместной инкубации АСК (0,05 %) с грамотрицательными бактериями (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*) на чашках Петри отсутствовал рост микроорганизмов. В случае с бактериями *S. aureus* количество КОЕ было снижено по сравнению с контрольной группой. На чашках с *S. epidermidis* отсутствовал рост. При совместной инкубации полимиксина с *P. aeruginosa* на чашках Петри регистрировали незначительный рост бактерий, в случае с *K. pneumoniae* наблюдали лишь отдельные колонии. При инкубации совместно с полимиксином и аспирином (0,03 %) на чашках с *K. pneumoniae* роста микроорганизмов не было, на чашках с *P. aeruginosa* отмечали незначительный рост. Гентамицин подавлял рост бактерий *S. aureus* (на чашках отмечали незначительное количество бактерий). АСК (0,03 %) усиливал бактерицидные свойства гентамицина (на чашках отсутствовал рост бактерий).

Обсуждение. Отсутствие под действием АСК роста на чашках с бактериями *S. epidermidis*, даже без антибиотиков, позволяет предположить, что одним из механизмов действия может быть подавление адгезии и формирование биоплёнки. Наличие выраженного эффекта АСК в отношении грамотрицательных бактерий (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*) может быть связано с воздействием на наружную мембрану микробных клеток, в то время как на грамположительные бактерии (*S. aureus*), аспирин оказывал меньшее влияние, лишь снижая метаболическую активность.

Заключение. Наше исследование продемонстрировало, что ацетилсалициловая кислота *in vitro* проявляет синергизм с рядом антибиотиков, значительно усиливая их бактерицидную активность в отношении клинических изолятов, ассоциированных с остеомиелитом.

Ключевые слова: ацетилсалициловая кислота, хронический остеомиелит, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*

Для цитирования: Шипицына И.В., Осипова Е.В., Шастов А.Л. Перспективы применения ацетилсалициловой кислоты в комбинации с антибактериальными препаратами против ведущих возбудителей остеомиелита. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):31-37. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-31-37.



Prospects for using acetylsalicylic acid in combination with antibacterial drugs against the leading pathogens of osteomyelitis

I.V. Shipitsyna , E.V. Osipova, A. L. Shastov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Irina V. Shipitsyna, ivschimik@mail.ru

Abstract

Introduction Acetylsalicylic acid (ASA) is one of the promising candidates for enhancing the action of antibacterial drugs.

Purpose To evaluate *in vitro* the effect of aspirin in combination with antibacterial drugs on the growth of microbial cultures of clinically significant bacterial strains in osteomyelitis.

Materials and methods The object of the study is clinically significant bacterial strains *K. pneumoniae* ($n = 12$), *P. aeruginosa* ($n = 12$), *S. aureus* ($n = 12$), *S. epidermidis* ($n = 12$), isolated from wounds of patients with chronic osteomyelitis. The experiment was divided into four series: control group; group of ASA administration; group of antibiotic administration; group of ASA + antibiotic administration. Antibacterial effect was assessed by the absence of a bacterial growth zone around the discs.

Results There was no growth of microorganisms on Petri dishes when ASA (0.05 %) was incubated with gram-negative bacteria (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*). In the case of *S. aureus* bacteria, the number of CFU was reduced compared to the control group. There was no growth on plates with *S. epidermidis*. When polymyxin was incubated with *P. aeruginosa*, slight bacterial growth was recorded on Petri dishes, while only individual colonies were observed with *K. pneumoniae*. When incubated together with polymyxin and aspirin (0.03 %), there was no growth of microorganisms on plates with *K. pneumoniae*, while slight growth was noted on plates with *P. aeruginosa*. Gentamicin suppressed the growth of *S. aureus* bacteria (an insignificant number of bacteria was noted on the plates). ASA (0.03 %) enhanced the bactericidal properties of gentamicin (there was no bacterial growth on the plates).

Discussion The absence of growth on plates with *S. epidermidis* bacteria under the influence of ASA, even without antibiotics, suggests that one of the mechanisms of its action may be the suppression of adhesion and biofilm formation. The presence of a pronounced effect of ASA on gram-negative bacteria (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*) may be associated with the effect on the outer membrane of microbial cells, while aspirin had a lesser effect on gram-positive bacteria (*S. aureus*) and only reduced metabolic activity.

Conclusion Our study demonstrated that acetylsalicylic acid exhibits synergism with a number of antibiotics *in vitro* and significantly enhances their bactericidal activity against clinical isolates associated with osteomyelitis.

Keywords: acetylsalicylic acid, chronic osteomyelitis, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*

For citation: Shipitsyna IV, Osipova EV, Shastov AL. Prospects for using acetylsalicylic acid in combination with antibacterial drugs against the leading pathogens of osteomyelitis. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):31-37. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-31-37.

ВВЕДЕНИЕ

Остеомиелит — тяжелое инфекционно-воспалительное заболевание костной ткани, вызываемое преимущественно бактериальными возбудителями, такими как *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, и другими патогенами [1–4]. Несмотря на достижения современной антимикробной терапии, лечение пациентов с остеомиелитом остается сложной задачей из-за формирования биоплёнок, устойчивости к антибиотикам и хронизации воспалительного процесса [5–7]. В связи с этим, актуальным направлением является поиск новых стратегий терапии, включающих комбинацию антибактериальных препаратов с адъювантными средствами, способными усиливать их эффективность.

Ацетилсалициловая кислота (АСК) — один из перспективных кандидатов для усиления действия антибактериальных препаратов. Помимо известного противовоспалительного и антиагрегантного действия, аспирин демонстрирует способность модулировать активность антибиотиков, подавлять образование бактериальных биопленок и влиять на иммунный ответ [8–11]. В последние годы появляются данные о его синергизме с некоторыми антибактериальными препаратами в отношении устойчивых штаммов микроорганизмов [12].

Цель работы — оценить *in vitro* влияние аспирина в комбинации с антибактериальными препаратами на рост микробных культур клинически значимых штаммов бактерий при остеомиелите.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — клинически значимые штаммы бактерий *K. pneumoniae* ($n = 12$), *P. aeruginosa* ($n = 12$), *S. aureus* ($n = 12$), *S. epidermidis* ($n = 12$), выделенные из ран пациентов с хроническим остеомиелитом.

Исследование биоматериалов, полученных от пациентов, выполняли в соответствии с принятыми международными стандартами (UK SMI). Видовую идентификацию микробных культур проводили методом MALDI-TOF масс-спектрометрии. Чувствительность бактерий к антимикробным препаратам (*K. pneumoniae* — к ципрофлоксацину, цефепиму, имипенему, меропенему; *P. aeruginosa* — к ципрофлоксацину, цефепиму, имипенему, меропенему, амикацину, пиперациллин/тазобактаму; *S. aureus* и *S. epidermidis* — к ванкомицину, гентамицину, ципрофлоксацину, эритромицину, цефокситину), включенным в формулярный перечень Центра, определяли согласно критериям EUCAST (англ.: European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, Version 9.0, valid from 2019-01-01).

Критерий включения: клинические штаммы в пределах одной таксономической группы, характеризовавшиеся сходной чувствительностью к тестируемым антибактериальным препаратам. В эксперимент вошли только метициллин-чувствительные штаммы стафилококков.

В качестве тест-культур использовали музейные штаммы бактерий, принадлежащих к четырем таксономическим группам: *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 14990.

Эксперимент разделен на четыре серии:

- контрольная серия — готовили суспензии исследуемых культур, содержащие 5×10^6 КОЕ/мл (колониеобразующие единицы) бактерий;
- вторая серия (0,03 % АСК, 300 мкг/мл) — во второй части эксперимента по 1 мл АСК вносили в пробирки с культурами, содержащими 5×10^6 КОЕ/мл бактерий, инкубировали при комнатной температуре в течение 30 мин;
- третья серия — полимиксин (5 мг/мл) в случае с грамотрицательными бактериями и гентамицин (40 мг/мл) в случае с грамположительными бактериями инкубировали при комнатной температуре в течение 30 мин совместно с суспензиями, содержащими 5×10^6 КОЕ/мл микробных клеток;
- четвертая серия — суспензии бактерий (5×10^6 КОЕ/мл) инкубировали с комбинацией АСК (0,05 %) с антибиотиками (полимиксином или гентамицином) в течение 30 мин.

Полимиксин обладает активностью против устойчивых грамотрицательных бактерий (*P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *E. coli*), является препаратом выбора для лечения инфекций, вызванных бактериями с резистентностью к карбапенемам. Полимиксины действуют путем разрушения внешней мембраны грамотрицательных бактерий (выступая в роли детергента). Гентамицин обладает высокой бактерицидной активностью в отношении стафилококков.

Для получения газона микробные взвеси в каждой серии эксперимента с помощью ватного тампона наносили на поверхность агар Мюллера – Хинтона, на поверхность которого помещали диски с ан-

тибиотиками и инкубировали в течение суток в термостате при 37°. Одновременно делали высевы на агар Шедлера с бараньей кровью (с гемом и витамином K1) для учета роста микробных клеток. Результаты оценивали через сутки.

Антибактериальное действие оценивали по отсутствию зоны роста бактерий вокруг дисков.

Все эксперименты проводили в трёх повторах, данные представлены в виде среднего арифметического значения (М) и стандартного отклонения (SD). Статистические тесты выполнены в программе Gnumeric 1.12.17. Сравнение групп проводили с помощью критерия Стьюдента после предварительного определения типа распределения в выборках с помощью критерия Андерсона – Дарлинга. Порог значимости для всех тестов составлял $p < 0,05$.

Работа выполнена в формате *in vitro* исследования без участия животных или человека.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При совместной инкубации АСК (0,05 %) с грамотрицательными бактериями (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*) на чашках Петри отсутствовал рост микроорганизмов. В случае с бактериями *S. aureus* количество КОЕ было снижено в сравнении с контрольной группой. На чашках с *S. epidermidis* рост отсутствовал (рис. 1).

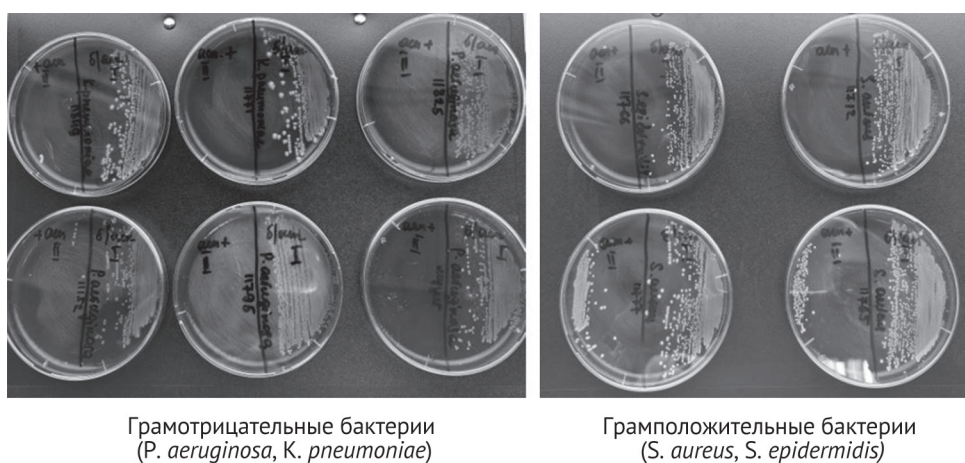


Рис. 1. Влияние АСК на рост бактерий *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *S. aureus*, *S. epidermidis*. На чашках справа — контрольная серия, слева — с АСК

При совместной инкубации полимиксина с *P. aeruginosa* на чашках Петри регистрировали незначительный рост бактерий, в случае с *K. pneumoniae* наблюдали лишь отдельные колонии. При инкубации совместно с полимиксином и АСК (0,03 %) на чашках с *K. pneumoniae* роста микроорганизмов не было, на чашках с *P. aeruginosa* отмечали незначительный рост. Гентамицин подавлял рост бактерий *S. aureus* (на чашках отмечали незначительное количество бактерий). АСК (0,03 %) усиливал бактерицидные свойства гентамицина (на чашках отсутствовал рост бактерий) (рис. 2).

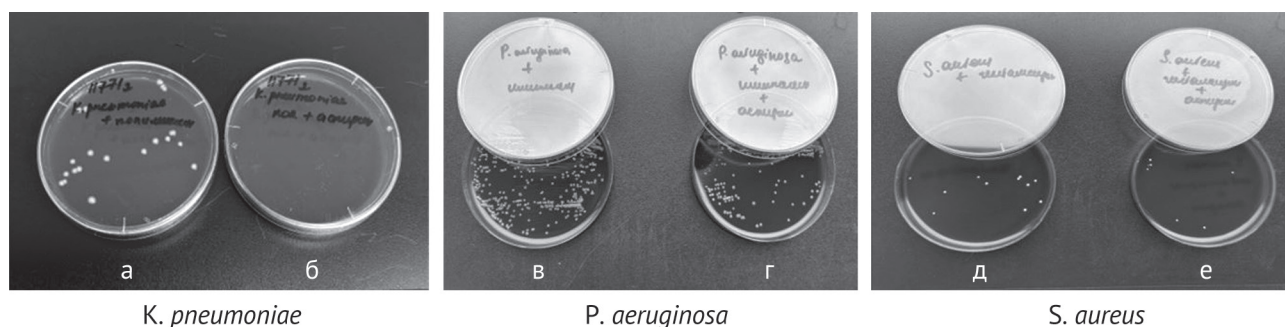


Рис. 2. Влияние АСК на рост микробных культур *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* на кровяном агаре после инкубации с антибиотиком и комбинации антибиотика с АСК: а, в — полимиксин (5 мг/мл); б, г — полимиксин (5 мг/мл) + АСК (0,03 %); д — гентамицин (40 мг/мл); е — гентамицин (40 мг/мл) + АСК (0,03 %)

Также наблюдали различия в зонах задержки роста бактерий при постановке антибиотикочувствительности в зависимости от концентрации АСК (рис. 3, б, в). Для штаммов *K. pneumoniae* при использовании АСК (0,03 %) зоны задержки роста бактерий не отличались от контрольной группы, однако число жизнеспособных клеток на поверхности агара было ниже (рис. 3, д).

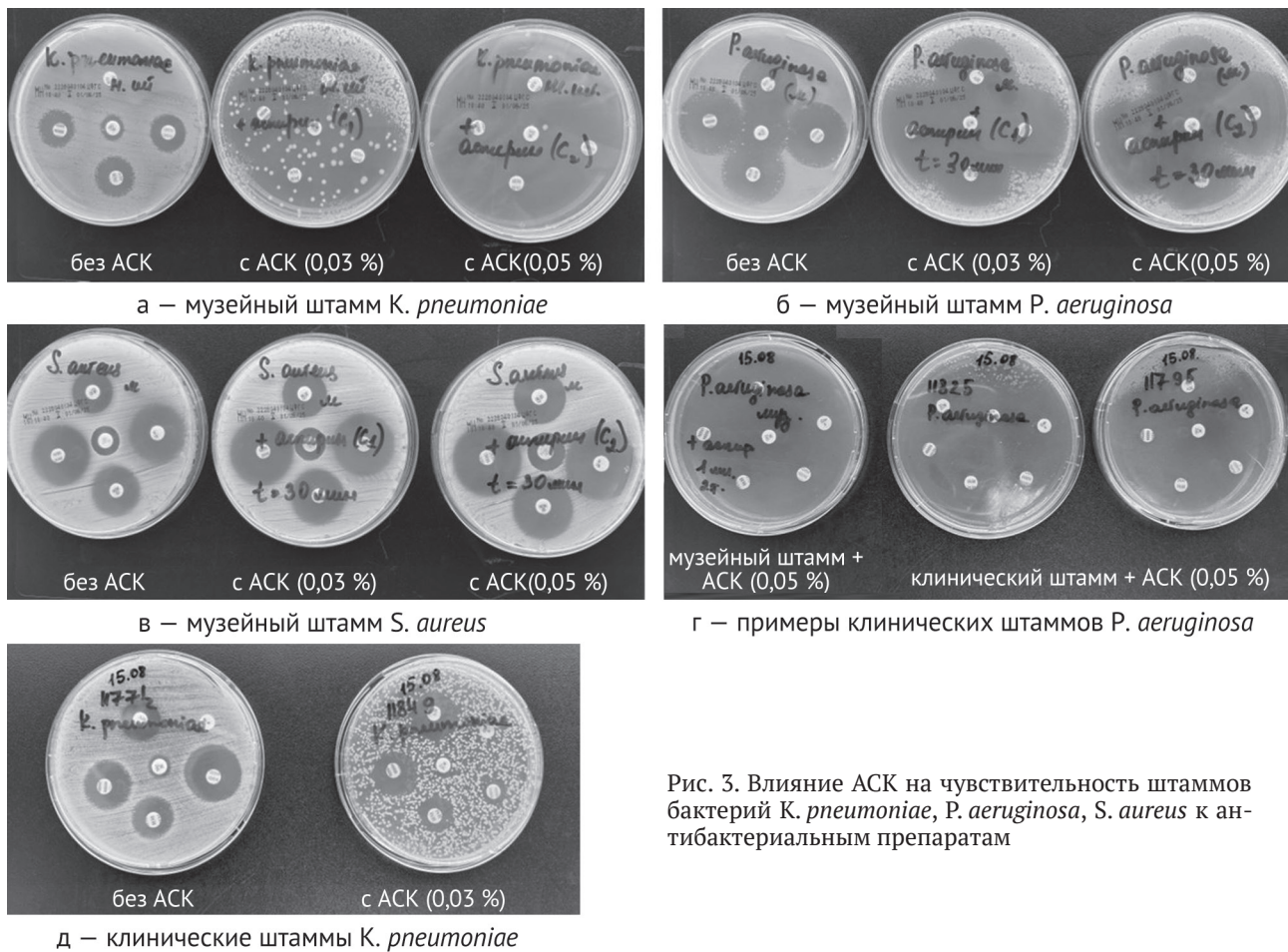


Рис. 3. Влияние ACK на чувствительность штаммов бактерий *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* к антибактериальным препаратам

В группе с ACK значимые различия в зонах задержки роста наблюдали для клиндамицина и цефокситина в сравнении с контрольной серией для клинических штаммов *S. aureus* (табл. 1). Для штаммов *S. epidermidis* отмечены отличия в зоне задержки роста бактерий для клиндамицина (табл. 2). На чашках с *P. aeruginosa* значимые изменения в зонах задержки роста наблюдали для имипенема, меропенема, цефепима и ципрофлоксацина (табл. 3).

Таблица 1

Диаметр зоны задержки роста бактерий *S. aureus*

Препарат (мкг)	Диаметр зоны задержки роста бактерий <i>S. aureus</i> , мм	
	контрольная серия, $n = 12$	ACK (0,05 %), $n = 12$
Клиндамицин (2)	25 ± 2	$32 \pm 2^*$
Цефокситин (30)	29 ± 3	$33 \pm 2^*$
Ванкомицин (5)	19 ± 1	19 ± 1
Гентамицин (30)	23 ± 2	24 ± 2
Ципрофлоксацин (5)	25 ± 3	25 ± 2
Эритромицин (15)	26 ± 2	28 ± 3

Примечание: n — число штаммов, * — уровень значимости различий между контрольной серией и опытной с ACK, $p < 0,05$.

Таблица 2

Диаметр зоны задержки роста бактерий *S. epidermidis*

Препарат (мкг)	Диаметр зоны задержки роста бактерий <i>S. epidermidis</i> , мм	
	контрольная серия, $n = 12$	ACK (0,05 %), $n = 12$
Клиндамицин (2)	24 ± 2	$29 \pm 2^*$
Цефокситин (30)	25 ± 2	26 ± 2
Ванкомицин (5)	19 ± 1	19 ± 1
Гентамицин (30)	25 ± 3	24 ± 2
Ципрофлоксацин (5)	26 ± 2	25 ± 2
Эритромицин (15)	25 ± 2	27 ± 2

Таблица 3

Зона задержки роста бактерий *P. aeruginosa*

Антибактериальный препарат (мкг)	Зона задержки роста бактерий <i>P. aeruginosa</i> , мм	
	контрольная серия, $n = 12$	ACK (0,05 %), $n = 12$
Имипенем (10)	24 ± 3	$30 \pm 2^*$
Меропенем (10)	29 ± 2	$33 \pm 1^*$
Цефепим (30)	28 ± 3	$32 \pm 2^*$
Пиперацillin/тазобактам (30/6)	26 ± 2	26 ± 3
Амикацин (30)	22 ± 2	25 ± 2
Ципрофлоксацин (5)	28 ± 2	$33 \pm 2^*$

Примечание: n — число штаммов, * — уровень значимости различий между контрольной серией и опытной с ACK, $p < 0,05$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нестероидные противовоспалительные средства (НПВС) традиционно применяют в качестве противовоспалительных, болеутоляющих и жаропонижающих препаратов. Вместе с тем, имеются данные о воздействии НПВС на бактерии и связанные с ними инфекции [13]. Данные об активности НПВП *in vitro* против планктонных бактерий и биоплёнок на сегодняшний день противоречивы [14–17].

Один из представителей НПВС — ацетилсалициловая кислота, являющаяся синтетическим производным салициловой кислоты. Действие АСК — комплексное, зависит от дозировки. Противовоспалительное, жаропонижающее и обезболивает (используются средние/высокие дозы ~ 500–1000 мг) действия реализуются через ингибирование ферментов циклооксигеназ (ЦОГ-1 и ЦОГ-2), которые участвуют в синтезе простагландинов, — веществ, вызывающих боль и отек при воспалении; антиагрегантное (используются низкие дозы ~ 75–100 мг.) действие реализуется через блокаду ЦОГ-1 в тромбоцитах.

В разных исследованиях приведены данные о влиянии АСК на тромбоциты после воздействия бактериями (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*) [18, 19]. Показано, что клинические штаммы *S. aureus* могут вызывать активацию тромбоцитов, экспрессию маркеров клеточной гибели и высвобождение факторов воспаления [18, 19]. Ацетилсалициловая кислота ограничивает воздействие *S. aureus* на тромбоциты, снижая темпы гибели клеток, восстанавливает их количество и уменьшая вклад тромбоцитов в воспаление, связанное с присутствием в крови бактериальных патогенов.

В настоящее время изучают способность аспирина оказывать влияние на образование биопленок микроорганизмами; проявлять синергизм с антибиотиками, повышая проницаемость клеточных стенок бактерий и делая их более уязвимыми; модулировать иммунный ответ организма [8–12]. L.I. Kupferwasser et al. сделали вывод об усилении чувствительности MRSA к β -лактамам антибиотикам в присутствии аспирина [9]. В другой работе показано усиление активности ванкомицина против устойчивых энтерококков в присутствии аспирина [20]. В ряде исследований приводятся данные о бактериостатическом действии АСК на грамположительные бактерии и отсутствие эффекта при воздействии на грамотрицательные бактерии [13]. S.A. El-Mowafy et al. при исследовании QS-ингибирующее действия АСК на *P. aeruginosa* наблюдали снижение подвижности бактерий [21]. В другом исследовании показали, что воздействие АСК в течение 1,5 часов приводило к удалению 30 % биоплёнок, образованных *S. Epidermidis* и *P. aeruginosa* на полистироле [22].

В литературе имеются данные, свидетельствующие о формировании устойчивых популяций бактерий после воздействия НПВП, в том числе и АСК [14, 23].

В нашем исследовании отсутствие роста на чашке с бактериями *S. epidermidis* в присутствии АСК, даже без антибиотиков, позволяет предположить, что одним из механизмов действия может быть подавление адгезии и формирования биоплёнки [24]. Наличие выраженного эффекта АСК в отношении грамотрицательных бактерий (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*) может быть связано с его воздействием на наружную мембрану микробных клеток, в то время как на грамположительные бактерии (*S. aureus*) препарат оказывал меньшее влияние, лишь снижая метаболическую активность. Аспирин, будучи слабой кислотой, также может нарушать целостность мембран и повышать их проницаемость [8].

Наши результаты позволяют предположить, что АСК усиливает действие полимиксина. Усиление бактерицидного действия гентамицина в присутствии АСК на *S. aureus* может быть связано со способностью салицилатов подавлять синтез белка и нарушать энергетический метаболизм бактерий, что повышает эффективность накопления аминокликозидов внутри клетки [13].

Данное исследование носит больше описательный характер. В перспективе планируется определение индексов МИК (минимальная ингибирующая концентрация) и FIC (фракционная ингибирующая концентрация) для подтверждения синергизма, изучение влияния АСК на зрелые биоплёнки и оценка эффективности комбинации на соответствующих *in vivo* моделях остеомиелита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование продемонстрировало, что ацетилсалициловая кислота *in vitro* проявляет синергизм с рядом антибиотиков, значительно усиливая их бактерицидную активность в отношении клинических изолятов, ассоциированных с остеомиелитом.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шипицына И.В., Осипова Е.В. Мониторинг ведущей грамположительной микрофлоры и ее антибиотикочувствительности у лиц с хроническим остеомиелитом за трехлетний период. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):189-193. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-189-193.
2. Zhang K, Bai YZ, Liu C, et al. Composition of pathogenic microorganism in chronic osteomyelitis based on metagenomic sequencing and its application value in etiological diagnosis. *BMC Microbiol*. 2023;23(1):313. doi: 10.1186/s12866-023-03046-x.
3. Миронов С.П., Цискарашвили А.В., Горбатюк Д.С. Хронический посттравматический остеомиелит как проблема современной травматологии и ортопедии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2019;25(4):610-621. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621.
4. Шипицына И.В., Осипова Е.В., Леончук Д.С., Судницын А.С. Мониторинг ведущей грамотрицательной микрофлоры и антибиотикорезистентности при остеомиелите. *Гений ортопедии*. 2020;26(4):544-547. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-544-547.
5. Савилов Е.Д., Анганова Е.В., Носкова О.А., Духанина А.В. Бактериальные биоплёнки при гнойно-септических инфекциях. *Acta biomedica scientific*. 2019;4(5):38-42. doi: 10.29413/ABS.2019-4.5.6.
6. Гордина Е.М., Божкова С.А. Бактериальные биопленки в ортопедии: проблема и возможные перспективы профилактики. *РМЖ*. 2021;(8):29-32.
7. Шипицына И.В., Осипова Е.В. Резистентность ведущих возбудителей хронического остеомиелита. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2022;67(12):723-728. doi: 10.51620/0869-2084-2022-67-12-723-728.
8. Roberge S, Bujold E, Nicolaides KH. Aspirin for the prevention of preterm and term preeclampsia: systematic review and metaanalysis. *Am J Obstet Gynecol*. 2018;218(3):287-293.e1. doi: 10.1016/j.ajog.2017.11.561.
9. Kupferwasser LI, Yeaman MR, Shapiro SM, et al. Acetylsalicylic acid reduces vegetation bacterial density, hematogenous bacterial dissemination, and frequency of embolic events in experimental Staphylococcus aureus endocarditis through antiplatelet and antibacterial effects. *Circulation*. 1999;99(21):2791-2797. doi: 10.1161/01.cir.99.21.2791.
10. Amin, Sawsan M.; Ahmed, Insan M.; and Abed, Ahmed N. Antibacterial effect of acetylsalicylic acid on the efficiency of azithromycin against resistant Salmonella enterica: an in vitro study. *Baghdad Sci J*. 2025;22(7): 2254-2263. doi: 10.21123/2411-7986.4992.
11. Sekar A, Gil D, Tierney P, et al. Synergistic use of anti-inflammatory ketorolac and gentamicin to target staphylococcal biofilms. *J Transl Med*. 2024;22(1):102. doi: 10.1186/s12967-024-04871-y.
12. Gil D, Daffinee K, Friedman R, et al. Synergistic antibacterial effects of analgesics and antibiotics against Staphylococcus aureus. *Diagn Microbiol Infect Dis*. 2020;96(4):114967. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2019.114967.
13. Di Bella S, Luzzati R, Principe L, et al. Aspirin and Infection: A Narrative Review. *Biomedicines*. 2022;10(2):263. doi: 10.3390/biomedicines10020263.
14. Belfield K, Bayston R, Hajduk N, et al. Evaluation of combinations of putative anti-biofilm agents and antibiotics to eradicate biofilms of Staphylococcus aureus and Pseudomonas aeruginosa. *J Antimicrob Chemother*. 2017;72(9):2531-2538. doi: 10.1093/jac/dkx192.
15. Abbas HA, Atallah H, El-Sayed MA, El-Ganiny AM. Diclofenac mitigates virulence of multidrug-resistant Staphylococcus aureus. *Arch Microbiol*. 2020;202(10):2751-2760. doi: 10.1007/s00203-020-01992-y.
16. Gerner E, Almqvist S, Werthén M, Trobos M. Sodium salicylate interferes with quorum-sensing-regulated virulence in chronic wound isolates of Pseudomonas aeruginosa in simulated wound fluid. *J Med Microbiol*. 2020;69(5):767-780. doi: 10.1099/jmm.0.001188.
17. Leão C, Borges A, Simões M. NSAIDs as a Drug Repurposing Strategy for Biofilm Control. *Antibiotics (Basel)*. 2020;9(9):591. doi: 10.3390/antibiotics9090591.
18. Hannachi N, Baudoin JP, Prasanth A, et al. The distinct effects of aspirin on platelet aggregation induced by infectious bacteria. *Platelets*. 2020;31(8):1028-1038. doi: 10.1080/09537104.2019.1704717.
19. Chabert A, Damien P, Verhoeven PO, et al. Acetylsalicylic acid differentially limits the activation and expression of cell death markers in human platelets exposed to Staphylococcus aureus strains. *Sci Rep*. 2017;7(1):5610. doi: 10.1038/s41598-017-06024-2.
20. Sieradzki K, Tomasz A. Inhibition of cell wall turnover and autolysis by vancomycin in a highly vancomycin-resistant mutant of Staphylococcus aureus. *J Bacteriol*. 1997;179(8):2557-2566. doi: 10.1128/jb.179.8.2557-2566.1997.
21. El-Mowafy SA, Abd El Galil KH, El-Messery SM, Shaaban MI. Aspirin is an efficient inhibitor of quorum sensing, virulence and toxins in Pseudomonas aeruginosa. *Microb Pathog*. 2014;74:25-32. doi: 10.1016/j.micpath.2014.07.008.
22. Abidi SH, Ahmed K, Kazmi SU. The antibiofilm activity of Acetylsalicylic acid, Mefenamic acid, Acetaminophen against biofilms formed by P. aeruginosa and S. epidermidis. *J Pak Med Assoc*. 2019;69(10):1493-1495.
23. Verma T, Bhaskarla C, Sadhir I, ye фд. Non-steroidal anti-inflammatory drugs, acetaminophen and ibuprofen, induce phenotypic antibiotic resistance in Escherichia coli: roles of marA and acrB. *FEMS Microbiol Lett*. 2018;365(22). doi: 10.1093/femsle/fny251.
24. Paes Leme RC, da Silva RB. Antimicrobial Activity of Non-steroidal Anti-inflammatory Drugs on Biofilm: Current Evidence and Potential for Drug Repurposing. *Front Microbiol*. 2021;12:707629. doi: 10.3389/fmicb.2021.707629.

Статья поступила 18.09.2025; одобрена после рецензирования 12.11.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 18.09.2025; approved after reviewing 12.11.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Ирина Владимировна Шипицына — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Елена Владимировна Осипова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, E-V-OsipovA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-4352>;

Шастов Александр Леонидович — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>.

Information about the authors:

Irina V. Shipitsyna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Elena V. Osipova — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, E-V-OsipovA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-4352>;

Alexander L. Shastov — Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>.



Особенности баланса вертикальной стойки при оценке эффективности двигательной реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренных суставов

С.В. Королева^{1✉}, П.В. Королёв², А.С. Мулык³, А.В. Губин³

¹ Ивановский государственный медицинский университет, Иваново, Россия

² Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, Иваново, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Светлана Валерьевна Королева, drqueen@mail.ru

Аннотация

Введение. Баланс вертикальной стойки (БВС) является предиктором восстановления ходьбы, при этом его выполнение возможно в раннем послеоперационном периоде после эндопротезирования (ЭП) тазобедренных суставов (ТБС) для объективной оценки результатов лечения и реабилитации ортопедических больных. Актуальным остается поиск маркеров БВС в оценке эффективности двигательной реабилитации, в том числе ЭП одного (контралатерального) ТБС или обоих суставов.

Цель работы — установить особенности БВС при оценке эффективности двигательной реабилитации у больных коксартрозом после одно- и двустороннего ЭП ТБС.

Материалы и методы. Обследовано 40 больных коксартрозом III–IV ст.: группа 1 ($n = 21$) — одно ЭП контралатерального ТБС; группа 2 ($n = 19$) — ЭП ТБС с обеих сторон. БВС оценивали с использованием инерциального сенсора, установленного в проекции L_{IV} – L_{V} , с регистрацией угловых и спектральных показателей постуральных колебаний от вертикали во фронтальной и сагиттальной осях. Обследования проводили при поступлении пациента и при выписке после курса двигательной реабилитации в отделении стационарной медицинской реабилитации.

Результаты. В динамике стационарного этапа реабилитации в группе одностороннего ЭП ТБС улучшение БВС сопровождалось увеличением колебаний во фронтальной плоскости с уменьшением в сагиттальной, как проявление фронтальной нестабильности, в группе двустороннего ЭП ТБС — без увеличения девиаций по фронтальной оси с сохранением по сагиттальной. Предложены модели прогнозирования эффективности двигательной реабилитации.

Обсуждение. Объективные показатели БВС у больных коксартрозом при ЭП одного или обоих ТБС, полученные с использованием технологии инерциальных сенсоров, корректны в отражении состояния компенсаторных механизмов опорно-двигательной системы и позволяют выделить маркеры эффективности реабилитации и корректировать программы восстановления.

Заключение. При проведении двигательной реабилитации пациентов после ЭП ТБС следует учитывать, что ЭП с обеих сторон в меньшей степени дестабилизирует биомеханику ТБС, ограничивая избыточные колебания во фронтальной плоскости, но замедляет восстановление статокINETической устойчивости за счет проприоцептивной недостаточности.

Ключевые слова: баланс вертикальной стойки, баланс равновесия, коксартроз, методология, реабилитация, эндопротез тазобедренного сустава, Стэдис

Для цитирования: Королева С.В., Королёв П.В., Мулык А.С., Губин А.В. Особенности баланса вертикальной стойки при оценке эффективности двигательной реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренных суставов. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):38-47. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-38-47.



Postural control in assessing the effectiveness of motor recovery following total hip arthroplasty

S.V. Koroleva¹✉, P.V. Korolev², A.S. Mulyk³, A.V. Gubin³

¹ Ivanovo State Medical University, Ivanovo, Russian Federation

² Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation

³ St. Petersburg State University, Pirogov Clinic of High Medical Technologies, St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Svetlana V. Koroleva, drqueen@mail.ru

Abstract

Introduction Postural control (PC) is a predictor of gait recovery and can be performed in the early postoperative period following total hip arthroplasty (THA) for adequate appraisal of the treatment and recovery of orthopedic patients. The search for PC markers is practical for relevant evaluation of the effectiveness of motor rehabilitation following THA of one (contralateral) hip or both joints.

The **objective** was to establish specific features of PC assessing effectiveness of motor rehabilitation in patients with hip osteoarthritis after unilateral and bilateral THA.

Material and methods A total of 40 patients with grade III–IV hip osteoarthritis were examined as Group 1 ($n = 21$) with unilateral THA of the contralateral hip joint and Group 2 ($n = 19$) with bilateral THA. The PC was assessed using an inertial sensor placed at the L4–L5 projection to record angular and spectral parameters of postural fluctuations from the vertical in the coronal and sagittal axes. Examinations were performed on admission and upon discharge after a course of motor rehabilitation in the inpatient medical rehabilitation department.

Results Improvements in the PC during the inpatient rehabilitation were accompanied by greater deviations in the coronal plane and less deviations in the sagittal plane in the unilateral THA group suggesting frontal instability. There was no increase in frontal axis deviations with sagittal deviations being maintained in the bilateral THA group. Models for predicting the effectiveness of motor recovery were offered.

Discussion Objective indicators of the PC in patients with hip osteoarthritis treated with unilateral or bilateral THA, were obtained with inertial sensor technology and could be used to identify compensatory musculoskeletal mechanisms, determine markers of the effectiveness of rehabilitation and adjust recovery programs.

Conclusion Motor rehabilitation of THA patients suggests that bilateral arthroplasty destabilizes the biomechanics of the hip joint to a lesser extent, limiting excessive deviations in the frontal plane and slows down restoration of statokinetic stability due to proprioceptive insufficiency.

Keywords: postural control, equilibrium balance, hip osteoarthritis, methodology, rehabilitation, hip replacement, Steadis

For citation: Koroleva SV, Korolev PV, Mulyk AS, Gubin AV. Postural control in assessing the effectiveness of motor recovery following total hip arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):38-47. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-38-47.

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит тазобедренных суставов (ТБС) является наиболее распространенной локализацией заболевания и поражает более 4,1 % взрослого населения.

Рост количества операций эндопротезирования (ЭП) ТБС при относительной безопасности, технологичности и доступности метода делает его вариантом выбора с частотой 3,3 на 10 000 обратившихся при неуклонном росте числа первичных и ревизионных операций [1, 2].

Отмечается устойчивый рост заболеваемости остеоартритом, что связано с увеличением продолжительности жизни и гиподинамией [3]. Особую востребованность и вместе с тем особую сложность в клинике представляет объективная оценка, визуализация функциональных нарушений у больных коксартритом, особенно при одно- или двустороннем ЭП ТБС. Для пожилых пациентов двухэтапное ЭП ТБС (6–8 мес. между операциями) в ряде случаев предпочтительнее, а ЭП ТБС с одной стороны (например, при асептическом некрозе головки бедра) может значительно изменить паттерны ходьбы и БВС, вызвав необходимость их коррекции. Общеизвестным методом оценки функционального восстановления является анализ походки, позволяющий одновременно оценить и функцию, и потенциальную активность пациента. Но в раннем послеоперационном периоде выполнение теста ходьбы проблематично из-за боли, функциональных ограничений, в ряде случаев — из-за необходимости использования дополнительных средств опоры, что влияет на корректность полученных результатов.

Признанным предиктором восстановления ходьбы является физиологичный баланс вертикальной стойки (БВС), визуализация которого уже в раннем послеоперационном периоде позволяет оценить стратегию удержания равновесия (физиологичная «А» или компенсаторно-приспособительная «Н»), проводить статокINETическую и проприоцептивную коррекцию в соответствии с клиническими рекомендациями на основе объективных критериев эффективности, подбирать технические средства реабилитации [4, 5]. Несмотря на разработанные алгоритмы и параметры, традиционная стабилометрия имеет ряд ограничений и недостатков. Так, корректировка и обнуление внешней системы координат происходят после установки стоп и располагаются строго по центру / в межлодыжечной точке, что часто не соответствует действительности (например, при декомпенсации и переносе общего центра масс тела в сторону контралатеральной конечности) [6]. С этой точки зрения технология инерциальных сенсоров, не требующая установки на платформу, представляется более привлекательной. Целый ряд исследований подтвердил валидность и правомерность информации с инерциальных сенсоров (в иностранной литературе обозначены IMU) в сравнении с показателями традиционных стабилометрических платформ [7, 8]. Установленный сенсор способен различить все три плоскости колебаний со специфичной частотой [9], а также классифицировать показатели БВС, например, под влиянием максимального анаэробного утомления [10], при ДЦП у детей [11], в динамике инсульта [12], в зависимости от места наложения/регистрации [13]. Нами предложена методика оценки БВС с использованием инерциальных сенсоров [14], нормативная база данных интегрирована в автоматический Протокол «Стэдис – Баланс», а подход к анализу амплитудно-частотных характеристик колебаний принят по аналогии с авторским способом оценки степени напряжения компенсаторных механизмов при нарушении функции коленного сустава [6].

Цель работы — установить особенности баланса вертикальной стойки при оценке эффективности двигательной реабилитации больных коксартрозом после одно- и двустороннего эндопротезирования тазобедренного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено с января по июнь 2025 г. в стационарном отделении медицинской реабилитации Ивановского областного госпиталя для ветеранов войн. Использована технология инерциальных сенсоров (сенсор «Нейросенс» ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия) с программным обеспечением «Стэдис – Баланс» (№ РЗН 2018/7458 от 11.07.2022). Сенсор устанавливали в область проекции L_{IV} – L_V (рис. 1), в реальный центр масс тела человека. Исследования проводили в лаборатории «Биомеханика» в одно и то же время при комфортной температуре при поступлении пациента в отделение и при выписке. Переходные процессы отслеживали предварительным мониторингом без регистрации в течение 1–2 мин, затем проводили регистрацию по 30 сек. с открытыми и закрытыми глазами (тест Ромберга). При необходимости опору осуществляли в виде разгрузки симметрично, центрально (ходунки с фиксацией тормоза потребовались двум пациентам).

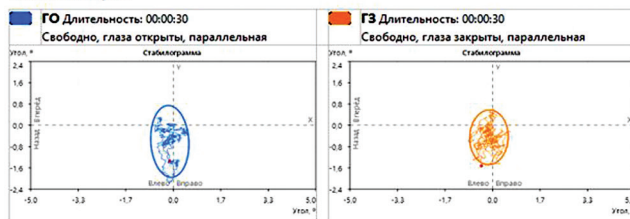
Автоматический протокол (рис. 2) формировался сразу после обследования, фиксировались угловые отклонения сенсора в пояснично-крестцовом отделе позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях (среднее отклонение и дисперсия в градусах от вертикали; скорость; площадь; длина колебаний и их отношение к площади эллипса; коэффициент Ромберга как отношение площади при за-

крытых и открытых глазах). Спектральные показатели представлялись как превалирующая частота и 60 % мощности частоты колебаний по осям. Дополнительно в режиме эмуляции у пациентов проведена оценка ускорений колебаний БВС, позволяющая дополнительно вычленить колебания вверх-вниз во фронтальной плоскости, и выделены критериальные для степени напряжения компенсации показатели. В дополнение к стандартной Индивидуальной программе реабилитации всем пациентам в соответствии с клиническими рекомендациями был добавлен стабилотренинг с использованием механизма биологической обратной связи в игровой среде (от 7 до 20 мин № 10 ежедневно).



Рис. 1. Пример установки инерциального сенсора при обследовании пациента с использованием биологической обратной связи

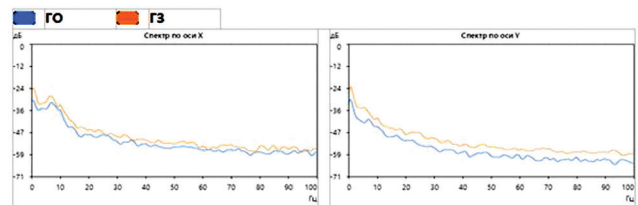
Тест Ромберга



Параметры углов

Название параметра		ГО	ГЗ
Среднее отклонение по оси X	~X, °	-0.12	-0.12
Среднее отклонение по оси Y	~Y, °	-0.60	-0.44
Дисперсия отклонения по оси X	D X, °	0.07 (< 0.04)	0.08 (< 0.09)
Дисперсия отклонения по оси Y	D Y, °	0.29 (< 0.24)	0.17 (< 0.31)
Скорость	V, ° / с	1.05 (< 1.89)	1.39 (< 2.38)
Площадь эллипса	S, °²	2.77 (< 1.70)	2.13 (< 2.78)
Отношение площади к длине траектории	LFS, °	0.088 (< 0.035)	0.051 (< 0.053)
Коэффициент Ромберга	RC	0.77	

ГО ГЗ



Спектральные параметры

Название параметра		ГО	ГЗ
Основная частота по оси X	F X, Гц	0.067 (< 4.902)	0.133 (< 4.792)
Основная частота по оси Y	F Y, Гц	0.100 (< 0.205)	0.133 (< 0.243)
60% частота по оси X	F60 X, Гц	0.167 (< 7.413)	0.233 (< 6.532)
60% частота по оси Y	F60 Y, Гц	0.100 (< 2.432)	0.300 (< 1.027)

Автоматическое заключение

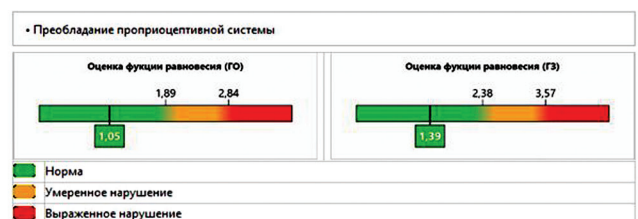


Рис. 2. Пример автоматического протокола анализа БВС

Обследовано 40 больных коксартрозом без сопутствующей патологии в стадии декомпенсации, когнитивных ограничений, заболеваний пояснично-крестцового отдела (ПКО) позвоночника и других суставов нижних конечностей.

Пациенты разделены на две группы: группа 1 ($n = 21$) — при ЭП одного ТБС (после 1 этапа эндопротезирования); группа 2 ($n = 19$) — при ЭП двух ТБС (табл. 1). Группы значительно не различались по полу и возрасту, что позволяет сравнивать полученные данные.

Обследования проводили при поступлении и при выписке после стационарного курса реабилитации, включившего тренинг БВС с использованием механизма биологической обратной связи.

Характеристика групп исследования

Показатели		Группа 1 (n = 21)	Группа 2 (n = 19)
Мужчины	абс.	10	10
	%	48	53
Средний возраст мужчин, лет		60,10 ± 3,23	53,20 ± 5,76
Женщины	абс.	11	9
	%	52	47
Средний возраст женщин, лет		63,18 ± 3,53	69,33 ± 1,86
Цель включения		Оценка влияния на БВС одностороннего ЭП ТБС в отсутствие других ЭП	Оценка влияния на БВС перехода от одностороннего к двустороннему ЭП ТБС

Статистическую обработку полученных данных выполняли в программе IBM SPSS Statistics v/23.0. Нормальность распределения полученных количественных данных подтверждали использованием теста Шапиро – Уилка. Достоверность различий оценивали с использованием критерия Стьюдента (для независимых и зависимых групп), корреляционных взаимосвязей между параметрами — ранговой корреляции Спирмена. Уровень достоверности принят за $\alpha = 0,05$. Результаты представлены в виде ($M \pm m$), где M — среднее арифметическое, m — стандартная ошибка среднего. В группе фронтальных девиаций для показателя X принято абсолютное значение, без учета стороны поражения.

Обследование проведено в соответствии с общепринятыми этическими принципами, нормами и правилами проведения научных исследований, регламентированных Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации 1964 г., Федеральным законом № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011, Федеральным законом N 152 «О персональных данных» от 27.07.2006.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С использованием программы Adams проведено моделирование колебаний при выключении отдельных узлов/суставов (по типу пассивного замыкания в сгибательной контрактуре) (рис. 3). Получено визуальное подтверждение высокой синхронизации колебаний ПКО позвоночника и ТБС как при одностороннем «замыкании»

с нарастанием мощности колебаний почти в два раза (рис. 3, б, в), так и при двустороннем «замыкании» с нарастанием колебаний в нижележащих уровнях баланса (рис. 3, в, г). Установлено значимое влияние на БВС (с усилением мощности колебаний во фронтальной плоскости) пери- и параартикулярных механизмов компенсации, — корреляционный анализ по критерию Спирмена показал значимую корреляцию средней заметной и сильной высокой степеней взаимосвязи положительной направленности (при $p \leq 0,05$) по показателям Jerk $r = 0,64$; PWR $r = 0,7$ и F50 $r = 0,70$.

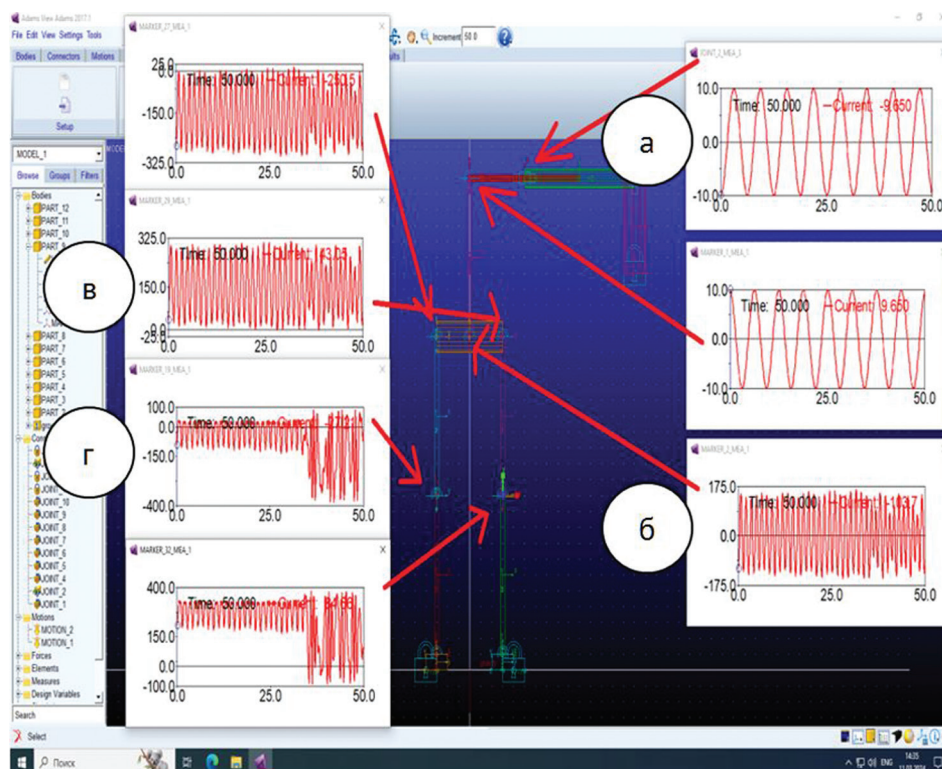


Рис. 3. Моделирование колебаний в программе Adams: а — узел отклонения / приложения силы; б — спектр колебаний центрального генеза пояснично-крестцовый отдел позвоночника; в — спектр колебаний ТБС; г — спектр колебаний коленного сустава

К анализу приняты все показатели автоматического протокола, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты баланса вертикальной стойки в тесте Ромберга при поступлении и после курса медицинской реабилитации (МР), $M \pm m$ ($n = 40$)

	Глаза открыты (ГО)				Глаза закрыты (ГЗ)				<i>p</i>
	Группа 1 (одностороннее ЭП ТБС), <i>n</i> = 21		Группа 2 (двустороннее ЭП ТБС), <i>n</i> = 19		Группа 1 (одностороннее ЭП ТБС), <i>n</i> = 21		Группа 2 (двустороннее ЭП ТБС), <i>n</i> = 19		
	при поступлении	после МР	при поступлении	после МР	при поступлении	после МР	при поступлении	после МР	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
RC					2,18 ± 0,62	1,69 ± 0,30	1,85 ± 0,34	1,73 ± 0,39	
~X, °	0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,2	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,04	
~Y, °	−0,02 ± 0,09	0,07 ± 0,08	−0,01 ± 0,11	0,001 ± 0,09	0,19 ± 0,12	0,18 ± 0,13	−0,18 ± 0,17	0,09 ± 0,16	<i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,001
D X, °	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,002	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,02 ± 0,002	0,06 ± 0,02	0,03 ± 0,006	<i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
D Y, °	0,13 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,18 ± 0,03	0,23 ± 0,09	0,21 ± 0,04	0,13 ± 0,01	0,27 ± 0,04	0,16 ± 0,02	<i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
L, °	35,02 ± 1,59	38,56 ± 1,17	43,40 ± 3,8	38,61 ± 2,99	45,86 ± 4,06	46,40 ± 3,25	59,94 ± 7,84	48,49 ± 5,09	<i>p</i> ₁₋₂ ≤ 0,05 <i>p</i> ₃₋₄ ≤ 0,1 <i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
V, °/с	1,17 ± 0,5	1,29 ± 0,4	1,45 ± 0,1	1,29 ± 0,10	1,53 ± 0,14	1,55 ± 0,11	2,00 ± 0,26	1,62 ± 0,17	<i>p</i> ₁₋₂ ≤ 0,05 <i>p</i> ₃₋₄ ≤ 0,1 <i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
S, °²	1,06 ± 0,45	0,63 ± 0,11	1,12 ± 0,19	0,90 ± 0,18	1,46 ± 0,47	0,75 ± 0,09	1,92 ± 0,45	1,02 ± 0,20	<i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
LFS, °	0,02 ± 0,008	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003	0,03 ± 0,007	0,02 ± 0,001	0,03 ± 0,003	0,02 ± 0,002	<i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,05
F X, Гц	0,56 ± 0,27	0,55 ± 0,27	0,20 ± 0,08	0,08 ± 0,02	1,04 ± 0,49	0,52 ± 0,26	0,17 ± 0,04	0,25 ± 0,11	
F Y, Гц	0,10 ± 0,007	0,12 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,08 ± 0,006	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02	
F60 X, Гц	4,05 ± 0,63	3,71 ± 0,41	2,90 ± 0,51	4,15 ± 0,63	3,42 ± 0,59	3,34 ± 0,39	2,70 ± 0,47	2,84 ± 0,59	<i>p</i> ₃₋₄ ≤ 0,05
F60 Y, Гц	0,25 ± 0,06	0,28 ± 0,05	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,24 ± 0,04	0,34 ± 0,04	0,23 ± 0,03	0,31 ± 0,03	<i>p</i> ₅₋₆ ≤ 0,1 <i>p</i> ₇₋₈ ≤ 0,1

Следует изначально отметить превалирование зрительной системы в удержании БВС в обеих группах. В динамике курса медицинской реабилитации улучшение клинического состояния и расширения двигательных возможностей в выделенных группах происходило по-разному, отражая восстановление центрального контроля баланса равновесия за счет различных стратегий и синергий.

Принимая во внимание все трансформации БВС под влиянием реабилитации, в большей степени выраженный центральный контроль БВС при поступлении уменьшает свой вклад в группе одностороннего ЭП ТБС за счет усиления вклада так называемой «тазобедренной стратегии» (достоверное уменьшение длины траектории колебаний угла от вертикали (L, °) с увеличением скорости колебаний до/после реабилитации с открытыми глазами, с увеличением 60 % мощности колебаний в сагиттальной плоскости при закрывании глаз и уменьшением девиаций по оси Y), в отличие от группы 2 без увеличения девиаций во фронтальной плоскости X с сохранением по сагиттальной оси Y.

Выявленные маркеры отражают увеличение проприоцептивного вклада в статокINETическую устойчивость в А-синергии в отсутствии значимой силы корреляций с основными механизмами компенсации, — не установлено признаков уменьшения фронтальной нестабильности (по показателю (~X, °), среднего отклонения по оси X). Кроме того, определена прямой направленности заметная корреляционная взаимосвязь изменения фронтального отклонения (~X, °) с показателем 60 % частоты по оси Y ($r = 0,52$; т.е. увеличение фронтального отклонения сопровождается увеличением мощности частоты в сагиттальной плоскости), что свидетельствует об увеличении вклада Н-синергии (тазобедренной стратегии) в статокINETическую устойчивость.

При схожих реакциях на мероприятия двигательной реабилитации в группе двустороннего ЭП ТБС установлены более стабильные и функционально значимые изменения с тенденцией улучшения статокINETической устойчивости по энергоэффективному «центральному» варианту с усилением вклада А-синергий в БВС. Наглядно показано, что в раннем реабилитационном периоде более устойчивые функциональные изменения с формированием физиологических колебаний преимущественно в сагиттальной плоскости (голеностопная, центральная А-стратегия) формируются в группе двустороннего ЭП ТБС за счет улучшения проприоцептивной чувствительности (проба Ромберга с закрытыми глазами до и после курса медицинской реабилитации, — табл. 2 столбцы 8 и 9). Определено напряжение ме-

ханизмов компенсации с активным замыканием ТБС (большей централизацией БВС при неизменном отклонении по оси X, достоверные уменьшения девиаций угла отклонения по обеим анализируемым осям, значимым уменьшениям длины колебаний, скорости, площади эллипса угла отклонения) при увеличении мощности колебаний по сагиттальной оси. Клинически значимым моментом стало выявление заметной силы корреляций отклонения по оси X (фронтальных колебаний) обратной направленности с показателем LFS, отношение площади колебаний к длине ($r = -0,53$) и прямой ($r = 0,52$) с 60 % мощностью колебаний по оси X, что является отражением конкордантных/декомпенсаторных изменений.

Все показатели протоколов проанализированы в классификационной дискриминантной модели принудительным включением, и при значимости меньше 0,05 предикторы включены в дискриминантную модель по установлению группы риска неудовлетворительного прогноза на успешность двигательной реабилитации:

- при одностороннем ЭП ТБС (1 группа) — развитию фронтальной нестабильности (отклонение по оси X);
- при двустороннем ЭП ТБС (2 группа) — развитию сагиттальной нестабильности (скорость колебаний).

Согласно модели, для одностороннего ЭП ТБС наиболее весомыми дискриминантами стали показатели с открытыми глазами и коэффициент Ромберга: смещение по оси X ($^{\circ}$) (Xго — значимость 0,009 при Лямбде Уилкса 0,695); 60 % мощности колебаний по оси Y ($^{\circ}$) (60Уго — значимость 0,015 при Лямбде Уилкса 0,725); коэффициент Ромберга (значимость 0,063 при Лямбде Уилкса 0,829), — включен в анализ при устойчивой тенденции со степенью точности 83,3 %:

$$F1 = -0,894 + 0,199 \times \text{КР} - 6,105 \times \text{Xго} + 2,619 \times 60\text{Уго}$$

(центроид для группы с неудовлетворительным реабилитационным прогнозом = 1,575, группы с удовлетворительным = -0,787).

Для двустороннего ЭП ТБС наиболее весомыми дискриминантами стали показатели с закрытыми глазами: дисперсия колебаний по оси Y ($^{\circ}$) (ДУгз — значимость 0,001 при Лямбде Уилкса 0,421); площади эллипса колебаний S ($^{\circ 2}$) (Sгз — значимость 0,047 при Лямбде Уилкса 0,748); отношение площади к длине колебаний LFS ($^{\circ}$) (LFSгз — значимость 0,027 при Лямбде Уилкса 0,698) со степенью точности 87,5 %:

$$F1 = -1,802 + 11,677 \times \text{ДУгз} - 0,104 \times \text{Sгз} - 32,378 \times \text{LFSгз}$$

(центроид для группы с неудовлетворительным реабилитационным прогнозом = -1,316, для группы с удовлетворительным = +1,24).

Таким образом, проведение одностороннего ЭП ТБС более значимо влияет на биомеханику БВС, что актуализирует включение в программу реабилитации объективные методы контроля функции БВС с прогнозированием эффективности восстановительных мероприятий и подбора наиболее эффективных из них. Наличие двустороннего ЭП ТБС в меньшей степени дестабилизирует биомеханику ТБС, ограничивая избыточные колебания во фронтальной плоскости, но ограничивает восстановление статокINETической устойчивости за счет проприоцептивной чувствительности (проприоцептивная недостаточность).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время мы наблюдаем активное развитие и внедрение в клиническую практику инновационных методов лечения, значимо опережающих средства и способы объективной оценки самих результатов [11–13, 15]. В большинстве случаев основным запросом пациента после ЭП ТБС является восстановление функции и активности ходьбы [16]. Учитывая длительный послеоперационный период, требуются не только восстановление ходьбы, но и перестройка, переучивание пациента с патологического паттерна на физиологический, не возвращение к норме, а компенсация возникших изменений [16–18]. Отдельной проблемой являются необратимые изменения, которые также нуждаются в объективизации и визуализации. Мультидисциплинарный характер ведения пациентов требует получения точных цифровых, а не только описательных результатов при использовании современных реабилитационных технологий и методик для выбора их оптимальных комбинаций. Традиционные клинко-лабораторные методы обследования, в полной мере отвечая на вопросы анатомо-функционального восстановления, не «визуализируют» способность к функционированию, активность человека — целевые в современном взгляде на медицинскую реабилитацию.

Функция равновесия и способность человека поддерживать баланс в процессе стояния и при ходьбе — значимые характеристики общего состояния человека и предиктор двигательной активности в целом, например, качества ходьбы. Для моделирования баланса равновесия чаще используют биомеханическую модель перевернутого маятника, при этом в зависимости от целей исследования авторы прибегают либо к однозвенной, либо к многозвенной модели [19–21]. Объективное исследование функции

БВС с использованием инструментальных методов известно с конца XX — начала XXI вв. Наиболее распространена методика применения платформы с датчиками силы, в разное время получившая названия «постурография», «стабилометрия», «стабилография» [7]. Несмотря на разработанные алгоритмы и параметры, традиционная 2D-стабилометрия имеет ряд ограничений и недостатков, критичных для ортопедических пациентов [6]. Предлагаемая к клиническому использованию технология 3D-стабилометрии с использованием инерциальных / сенсорных датчиков / акселерометров (в иностранной литературе обозначаемые как IMU) решает эти вопросы, в автоматическом режиме дополняя БВС значимым для интерпретации у больных травматолого-ортопедического профиля амплитудно-частотным спектром постуральных колебаний во всем многообразии включаемых компенсаторных механизмов, включая вышележащие уровни компенсации. С биомеханической точки зрения, вопросы иерархии центральных и периферических механизмов при осуществлении контроля БВС до настоящего времени носят дискуссионный характер, но большинство авторов склоняются к ведущему «центральному» механизму прямого управления при наличии «автоматической» генерации корректирующих мышечных усилий в ответ на возмущение равновесия, что также актуализирует интерпретацию частот равновесия [9, 19, 21–23]. Для здоровых людей тело человека моделируется в виде одномерного перевернутого маятника, который может вращаться в голеностопном суставе в сагиттальной плоскости как единое твердое. В этом случае коленный и ТБС находятся в замкнутом состоянии, появляется возможность непосредственного измерения контролируемой переменной (угловых ускорений в голеностопном суставе) при игнорировании движений в других суставах нижних конечностей. Такая стратегия носит название голеностопной (A(ankle)-стратегия), вовлеченные в нее механизмы – голеностопной синергией. Таким образом, А-стратегия характеризуется преобладающим вкладом в кинематику движения поворотом в голеностопном суставе, антигравитационное восстановление положения общего центра масс происходит при «медленных» возмущениях в сагиттальной плоскости. При замыкании ТБС интактного сустава вследствие болевого синдрома, либо после установки ЭП в положении сгибания происходит укорочение конечности, включающее целый каскад компенсаторных механизмов при ходьбе – разгибание в коленном суставе, тыльное сгибание в голеностопном, ограничение амплитуды сгибания/разгибания в интактном суставе, сагиттальную нестабильность в пояснично-крестцовом отделе позвоночника и т.д. Для БВС эти перестройки проявляются переносом основных балансирующих движений в так называемую Н(hip)-стратегию. В целом они становятся более энергозатратными с переносом основной нагрузки на ягодичные и четырехглавую мышцы бедра с вовлечением противоположного сустава и нижележащих отделов. Необходимость вырабатывать корректирующие силовые моменты в измененных суставах и изменения колебаний в каждом конкретном случае следует рассматривать с точки зрения ограничений «обратной» высокочастотной связи [20, 21]. Для ортопедических пациентов центральный механизм – вышележащий иерархический уровень ПКО позвоночника и А-стратегия БВС, периферический – дополнительные включения Н-стратегии, но их соотношения для различных заболеваний требуют дополнительных исследований.

В системах IMU акселерометрические, гироскопические, магнитометрические датчики позволяют регистрировать изменения одновременно в трех взаимноперпендикулярных плоскостях (фронтальной, горизонтальной и сагиттальной) с большей частотой, чем традиционные стабилометрические платформы, что расширяет их клиническое применение. Воспроизводимость и устойчивость параметров БВС при использовании технологии инерциальных датчиков неоднократно была показана и в других исследованиях как у здоровых людей с различными особенностями развития и возраста [23, 24], так и у пациентов с нарушениями мобильности [25, 26, 27], когнитивными ограничениями [28–30], вестибулярными и неврологическими заболеваниями [31, 32]. Определенным ограничением при использовании технологии инерциальных сенсоров является «накопление ошибки» при длительных по времени наблюдениях [7, 21], что следует учитывать, ограничивая анализ временем и маркером (БВС – две пробы по 30 секунд).

В работе V. Lugade et al. [33] была показана значимость выявления фронтальной и сагиттальной нестабильности в перспективе восстановления после ЭП ТБС. Дизайн предложенного исследования позволил показать, что как одностороннее, так и последующее контралатеральное ЭП ТБС, решая вопросы анатомического восстановления, ограничивает и делает «многослойной» функциональную биомеханику опорных моментов стояния. При этом одностороннее ЭП ТБС при сохранении центрального механизма баланса равновесия, высокой синхронизации колебаний в ТБС и ПКО позвоночника значительно усиливает нагрузку на вышележащий иерархический уровень компенсации и в большей степени способствует Н-стратегии и синергии, более ригиден в нормализации БВС, поскольку дополнительно ограничен измененным, больным суставом без ЭП. Двустороннее ЭП ТБС в меньшей степени асимметрично, но в большей сопровождается проприоцептивной недостаточностью, обусловленной последствиями ортопедической операции. Мы не обнаружили исследований, показывающих влияния одно- и двустороннего ЭП ТБС на БВС и его изменения в динамике двигательной реабилитации в раннем послеоперационном периоде. Целый ряд авторов предлагают собственные варианты проведения

теста вертикального баланса (стоя на вспененной резине, со скрещенными руками и т.д.), уточняя механизмы и степень проприоцептивной недостаточности в статокинетической устойчивости. Предложенное исследование приближает решение задачи унификации методики оценки БВС для интеграции в клиническую практику. Полученные данные и установленные тенденции могут помочь в объективном контроле и сопровождении реабилитационного процесса, способны улучшить междисциплинарное сопровождение пациентов с коксартрозом, особенно, в пред- и послеоперационном периоде при двухэтапном ЭП ТБС.

Очевидно, что данное исследование ограничено по объему выборки, что не позволяет сформировать окончательный алгоритм для популяции пациентов с коксартрозом. Но проведенный дискриминантный анализ выявил значимые дискриминанты, критериальные для одно- и двустороннего ЭП ТБС, что актуализирует дальнейшие исследования с увеличением выборки, учете сопутствующей патологии, валидации с использованием шкальных оценок для машинного обучения.

Основываясь на полученных результатах и учитывая имеющиеся работы по применению технологии инерциальных сенсоров, авторы статьи предлагают к клиническому использованию перспективный неинвазивный, безопасный и эффективный способ оценки баланса равновесия в вертикальной стойке для характеристики контроля позы в динамике эндопротезирования и реабилитации пациентов с коксартрозом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двустороннее ЭП ТБС в меньшей степени дестабилизирует биомеханику ТБС, ограничивая избыточные колебания во фронтальной плоскости, но замедляет восстановление статокинетической устойчивости за счет проприоцептивной недостаточности.

ЭП контралатерального ТБС более значимо влияет на биомеханику БВС из-за усиления фронтальной нестабильности в тазобедренной стратегии БВС.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Этические нормы. Обследование проведено в соответствии с общепринятыми этическими принципами, нормами и правилами проведения научных исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Boekesteijn RJ, Smolders JMH, Busch VJF, et al. Independent and sensitive gait parameters for objective evaluation in knee and hip osteoarthritis using wearable sensors. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):242. doi: 10.1186/s12891-021-04074-2.
- Costa D, Lopes DG, Cruz EB, et al. Trajectories of physical function and quality of life in people with osteoarthritis: results from a 10-year population-based cohort. *BMC Public Health*. 2023;23(1):1407. doi: 10.1186/s12889-023-16167-9.
- GBD 2021 Osteoarthritis Collaborators. Global, regional, and national burden of osteoarthritis, 1990–2020 and projections to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol*. 2023;5(9):e508–e522. doi: 10.1016/S2665-9913(23)00163-7.
- Кубряк О. *Стабилометрия, вертикальная поза человека в современных исследованиях*. Обзор. М.: Литрес; 2022:88.
- Pinto D, Pastene F, Godoy J, et al. Static Balance Characterization using a single IMU Located in the Lower Back: Preliminary Results. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2022;2022:1489–1492. doi: 10.1109/EMBC48229.2022.9870929.
- Королева С.В., Львов С.Е., Григорьев Э.В. и др. *Способ оценки степени напряжения компенсаторных механизмов при нарушении функции коленного сустава*. Патент РФ на изобретение № 2325839. 10.06.2008, Бюл. № 16. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2325839&TypeFile=html. Ссылка активна на 17.11.2025.
- Mancini M, Salarian A, Carlson-Kuhta P, et al. iSway: a sensitive, valid and reliable measure of postural control. *J Neuroeng Rehabil*. 2012;9:59. doi: 10.1186/1743-0003-9-59.
- Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human Postural Control. *Front Neurosci*. 2018;12:171. doi: 10.3389/fnins.2018.00171.
- McAuley JH, Marsden CD. Physiological and pathological tremors and rhythmic central motor control. *Brain*. 2000;123 (Pt 8):1545–1567. doi: 10.1093/brain/123.8.1545.
- Johnston W, O'Reilly M, Dolan K, et al. Objective Classification of Dynamic Balance Using a Single Wearable Sensor. In: *Proceedings of the 4th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2016)*. 2016:15–24. doi: 10.5220/0006079400150024.
- Valenciano PJ, Conceição NR, Marcori AJ, Teixeira LA. Use of accelerometry to investigate standing and dynamic body balance in people with cerebral palsy: A systematic review. *Gait Posture*. 2022;96:357–364. doi: 10.1016/j.gaitpost.2022.06.017.
- Pérez-López JF, Cano-de-la-Cuerda R, Ortiz-Gutiérrez RM. Accelerometry in the Functional Assessment of Balance in People with Stroke: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2023;12(24):7701. doi: 10.3390/jcm12247701.
- Abdollah V, Noamani A, Ralston J, et al. Effect of test duration and sensor location on the reliability of standing balance parameters derived using body-mounted accelerometers. *Biomed Eng Online*. 2024;23(1):2. doi: 10.1186/s12938-023-01196-7.
- Королева С.В., Михайлов Д.В., Королёв П.В. Баланс равновесия с использованием технологии инерциальных сенсоров – методология и нормы. *Современные проблемы науки и образования*. 2024;(3). doi: 10.17513/spno.33439.
- Волченко Д.В., Ахтямов И.Ф., Терсков А.Ю. и др. Краткосрочные результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с анкилозирующим спондилоартритом (первичное сообщение). *Гений ортопедии*. 2021;27(1):38–42. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-38-42.
- Сомов Д.А., Макарова М.Р., Майоров Е.А. и др. Особенности биомеханики ходьбы пациентов в раннем восстановительном периоде после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Вестник восстановительной медицины*. 2024;23(4):38–46. doi: 10.38025/2078-1962-2024-23-4-38-46.

17. Павлов В.В., Мушкатев Е.А., Тургунов Э.Н. и др. Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении сидя и стоя. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):362-371. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371.
18. Tasca P, Salis F, Rosati S, et al. Estimating Gait Speed in the Real World With a Head-Worn Inertial Sensor. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2025;33:858-867. doi: 10.1109/TNSRE.2025.3542568.
19. Bessone V, Höschel N, Schwirtz A, Seiberl W. Validation of a new inertial measurement unit system based on different dynamic movements for future in-field applications. *Sports Biomech*. 2022;21(6):685-700. doi: 10.1080/14763141.2019.1671486.
20. Bergamini E, Ligorio G, Summa A, et al. Estimating orientation using magnetic and inertial sensors and different sensor fusion approaches: accuracy assessment in manual and locomotion tasks. *Sensors (Basel)*. 2014;14(10):18625-18649. doi: 10.3390/s141018625.
21. Александров А.В., Фролов А.А., Хорак Ф.Б. и др. Биомеханический анализ стратегий поддержания равновесия при вертикальном стоянии у человека. *Российский журнал биомеханики*. 2004;8(3):30-47.
22. Winter DA Human balance and posture control during standing and walking. *Gait and posture*. 1995;3(4):193-214. doi: 10.1016/0966-6362(96)82849-9.
23. Noaman DS. The Relation between Different body weights and Center of Pressure Displacement in adolescents during quiet standing: a review. *Delta Univ Sci J*. 2025;8(1):160-179.
24. Eltoukhy MA, Kuenze C, Oh J, Signorile JF. Validation of Static and Dynamic Balance Assessment Using Microsoft Kinect for Young and Elderly Populations. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2018;22(1):147-153. doi: 10.1109/JBHI.2017.2686330.
25. Patel M, Pavic A, Goodwin VA. Wearable inertial sensors to measure gait and posture characteristic differences in older adult fallers and non-fallers: A scoping review. *Gait Posture*. 2020;76:110-121. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.10.039.
26. Li K J, Wong N LY, Law MC, et al. Reliability, Validity, and Identification Ability of a Commercialized Waist-Attached Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor-Based System in Fall Risk Assessment of Older People. *Biosensors (Basel)*. 2023;13(12):998. doi: 10.3390/bios13120998.
27. Yu X, Cai Y, Yang R et al. Revisiting sensor-based intelligent fall risk assessment for older people: A systematic review. *Eng Appl Artif Intell*. 2025;144:110176. doi: 10.1016/j.engappai.2025.110176.
28. Bayot M, Dujardin K, Tard C, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018;48(6):361-375. doi: 10.1016/j.neucli.2018.10.003.
29. Solomon AJ, Jacobs JV, Lomond KV, Henry SM. Detection of postural sway abnormalities by wireless inertial sensors in minimally disabled patients with multiple sclerosis: a case-control study. *J Neuroeng Rehabil*. 2015;12:74. doi: 10.1186/s12984-015-0066-9.
30. Mc Ardle R, Pratt S, Buckley C, et al. Balance Impairments as Differential Markers of Dementia Disease Subtype. *Front Bioeng Biotechnol*. 2021;9:639337. doi: 10.3389/fbioe.2021.639337.
31. Alessandrini M, Micarelli A, Vizziano A, et al. Body-worn triaxial accelerometer coherence and reliability related to static posturography in unilateral vestibular failure. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2017;37(3):231-236. doi: 10.14639/0392-100X-1334.
32. Hansen C, Beckbauer M, Romijnders R, et al. Reliability of IMU-Derived Static Balance Parameters in Neurological Diseases. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(7):3644. doi: 10.3390/ijerph18073644.
33. Lugade V, Klausmeier V, Jewett B, et al. Short-term recovery of balance control after total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(12):3051-3058. doi: 10.1007/s11999-008-0488-9.

Статья поступила 08.09.2025; одобрена после рецензирования 01.11.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 08.09.2025; approved after reviewing 01.11.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Светлана Валерьевна Королева — доктор медицинских наук, профессор кафедры, drqueen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7677-1077>;

Павел Владимирович Королёв — кандидат технических наук, доцент кафедры, vedunking@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2196-8136>;

Анжела Сергеевна Мулык — врач — травматолог-ортопед, md.amulyk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5041-1915>;

Александр Вадимович Губин — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, главный врач, врач — травматолог-ортопед, shugu19@gubin.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3234-8936>.

Information about the authors:

Svetlana V. Koroleva — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, drqueen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7677-1077>;

Pavel V. Korolev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department, vedunking@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2196-8136>;

Anzhela S. Mulyk — orthopaedic surgeon, md.amulyk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5041-1915>;

Alexander V. Gubin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, Deputy Chief Physician, orthopaedic surgeon, shugu19@gubin.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3234-8936>.

Вклад авторов:

Королева С.В. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, сбор данных, написание текста.

Королёв П.В. — анализ и интерпретация данных, написание текста.

Мулык А.С. — вклад в разработку концепции и дизайна исследования, написание текста.

Губин А.В. — редактирование, утверждение окончательного варианта рукописи для публикации.

Научная статья

УДК [613.25-089:616.728.2-77-089.843]-07

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-48-56>



Влияние бариатрических операций на результаты тотального эндопротезирования при коксартрозе

А.О. Ахов, А.В. Лычагин, А.А. Грицюк✉, Р.Х. Явлиева

Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Анатольевич Грицюк, drgaamma@gmail.com

Аннотация

Введение. Бариатрические операции позволяют эффективно лечить морбидное ожирение, которое часто бывает у пациентов с коксартрозом, однако насколько снижение веса после бариатрической хирургии влияет на результаты и частоту осложнений при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава (ТЭТС) изучено недостаточно.

Цель работы — определение влияния бариатрических операций на результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава и функционального восстановления нижних конечностей с точки зрения наименьшего риска послеоперационных осложнений.

Материалы и методы. Проведено ретроспективно-проспективное когортное одноцентровое контролируемое исследование пациентов с коксартрозом 3–4 ст. (по классификации I. Kellgren и I. Lawrence, 1957). Пациенты были направлены для тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, имели в анамнезе морбидное ожирение (индекс массы тела $> 40 \text{ кг/м}^2$) и выполненную бариатрическую операцию. Проводили исследование показателей: индекс массы тела, болевой синдром, функциональное состояние пациентов по шкале Харриса и количество осложнений.

Результаты. Исследование показало, что по уровню болевого синдрома на первые сутки после операции имела место значительная статистическая разница ($p < 0,001$) между пациентами основной группы и группы сравнения, — $(6,3 \pm 2,3)$ и $(7,4 \pm 2,3)$ балла соответственно. Результаты тестирования пациентов по модифицированной шкале Харриса через 12 месяцев после операции достигли максимума: основная группа — $(90,2 \pm 10,3)$ балла, группа сравнения — $(86,5 \pm 11,6)$ балла, при статистически значимой разнице результатов $p = 0,021$. При анализе по методу Каплана – Майера мы получили пятилетнюю выживаемость эндопротезов в основной группе исследования — 94,6 % (5,4 % осложнений), в группе сравнения — 77,2 % (22,8 % осложнений).

Заключение. Применение бариатрических операций у пациентов с морбидным ожирением и коксартрозом 3–4 ст. перед выполнением ТЭТС позволяет статистически значимо снизить риск послеоперационных осложнений на 17,4 % и повысить пятилетнюю выживаемость эндопротезов до 94,6 %.

Ключевые слова: морбидное ожирение, коксартроз, бариатрические операции

Для цитирования: Ахов А.О., Лычагин А.В., Грицюк А.А., Явлиева Р.Х. Влияние бариатрических операций на результаты тотального эндопротезирования при коксартрозе. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):48-56. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-48-56.

Original article



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-48-56>

Effect of bariatric surgery on postoperative outcomes of total hip replacement in patients with hip osteoarthritis

A.O. Akhov, A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk✉, R.K. Yavlieva

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) Moscow, Russia

Corresponding author: Andrey A. Gritsyuk, drgaamma@gmail.com

Abstract

Introduction Bariatric surgery is the most effective treatment of morbid obesity, which is common in patients with hip osteoarthritis. However, the extent to which weight loss after bariatric surgery affects the outcomes and complication rates of total hip arthroplasty (THA) has not been adequately explored.

The **aim** of the study was to determine the impact of bariatric surgery on the results of THA and functional restoration of the lower limbs facilitating a lower risk of postoperative complications.

Material and methods A retrospective-prospective cohort, single-center, controlled study included patients with hip osteoarthritis grades 3–4 as described by I. Kellgren and I. Lawrence in 1957. Patients were referred for THA, had a history of morbid obesity (body mass index $> 40 \text{ kg/m}^2$) and underwent bariatric surgery. The parameters assessed included body mass index, pain, functional status of patients measured with the Harris hip score and complication rate.

Results The findings suggested a significant statistical difference ($p < 0.001$) in pain intensity on the first day after surgery measured in patients of the study group and the comparison group with (6.3 ± 2.3) and (7.4 ± 2.3) scores, respectively. The modified Harris Hip Score measured at 12 months of surgery reached the maximum with (90.2 ± 10.3) scores in the study group and (86.5 ± 11.6) scores in the comparison group, with a statistically significant difference in the measurements, $p = 0.021$. The Kaplan – Meier estimator showed a five-year survival rate of THA being 94.6 % (5.4 % complications) in the study group and 77.2 % (22.8 % complications) in the comparison group.

Conclusion The bariatric surgery used in patients with morbid obesity and grade 3–4 hip osteoarthritis prior to THA facilitated a statistically significant risk of postoperative complications reduced to 17.4 % and the five-year survival rate of THA increased to 94.6 %.

Keywords: morbid obesity, hip osteoarthritis, bariatric surgery

For citation: Akhov AO, Lychagin AV, Gritsyuk AA, Yavlieva RK. Effect of bariatric surgery on postoperative outcomes of total hip replacement in patients with hip osteoarthritis. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):48-56. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-48-56.

ВВЕДЕНИЕ

Ожирение — хроническое заболевание, распространённость которого во всём мире растёт [1]. Люди с ожирением, с индексом массы тела (ИМТ) $> 30 \text{ кг/м}^2$, имеют значительно более высокий риск развития остеоартроза (ОА) нижних конечностей [2] из-за увеличения нагрузки и воспалительных адипокинов [3–7]. В сочетании со старением населения рост ожирения, несомненно, приведёт к росту остеоартрита и увеличению спроса на тотальную артропластику суставов. Ежегодно в Соединенных Штатах выполняют более миллиона операций тотального эндопротезирования тазобедренного (ТЭТС) и коленного (ТЭКС) суставов [8].

В настоящее время отсутствует консенсус относительно тактики предоперационного ведения пациентов с ожирением и остеоартритом тазобедренного и коленного суставов [9–14]. У этих пациентов более высокий риск послеоперационных осложнений, таких как инфекции, вывихи и ранние ревизии [13, 15–19]. На результаты ТЭТС влияют многие факторы, например, местный фактор толщины жирового слоя или окружности верхней трети бедра увеличивает риск вывихов эндопротеза [20], другие факторы оказывают общее влияние на результаты операции. Бариатрическая операция (БО) может положительно воздействовать на некоторые из этих факторов за счет эффекта потери веса, снижает риск от сопутствующих заболеваний, связанных с ожирением, таких как диабет, гипертония и дислипидемия [21–23].

Результаты нескольких научных исследований показали, что пациентам с ожирением и ОА лучше выполнять БО до ТЭТС, потому что это приводит к снижению послеоперационных осложнений [24–26] и боли в тазобедренном суставе, улучшению функциональных результатов [27]. Однако остается нерешенным вопрос оптимального баланса между преимуществами потери веса, с одной стороны, и наименьшим риском ортопедических осложнений, с другой стороны.

Цель работы — определение влияния бариатрических операций на результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава и функционального восстановления нижних конечностей с точки зрения наименьшего риска послеоперационных осложнений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В клинике ортопедии и патологии суставов Сеченовского Университета проведено ретроспективно-проспективное когортное одноцентровое контролируемое исследование (одобрено ЛЭК Сеченовского Университета от 14.03.2024 № 06–24).

Мы отобрали основную группу пациентов ($n = 62$) с коксартрозом 3–4 ст. по классификации K&L (I. Kellgren и I. Lawrence, 1957), направленных в течение пяти лет (с 01.01.2014 по 01.01.2019) для тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, имевших в анамнезе морбидное ожирение (ИМТ $> 40 \text{ кг/м}^2$), которым на момент включения в исследование была выполнена БО. В группу сравнения ($n = 91$) включены пациенты с коксартрозом и морбидным ожирением, сходные по полу и возрасту.

Критерии включения:

- пациенты вне зависимости от пола и возраста с идиопатическим остеоартрозом тазобедренного сустава, характеризующимся болевым синдромом выше 3 баллов по ВАШ, клинико-рентгенологическими признаками 3–4 степени тяжести по классификации K&L, имевшие в анамнезе морбидное ожирение (ИМТ $> 40 \text{ кг/м}^2$), которым перед ТЭТС выполнена БО, подтвержденная медицинской документацией.
- наличие письменного информированного согласия пациента на обработку данных истории болезни и участия в исследовании.

Критерии не включения в исследование:

- наличие грубых деформаций тазобедренного сустава (вальгус, варус, первичные дефекты костной ткани, дисплазия тазобедренного сустава);
- пациенты, проходившие консервативное лечение ожирения;
- системные аутоиммунные заболевания (ревматизм, заболевания соединительной ткани, системный некротизирующий васкулит), тяжелые некорректируемые формы сахарного диабета (гликозилированный гемоглобин $> 9\%$), заболевания крови (тромбопения, тромбоцитопения, анемия с $\text{Hb} < 90 \text{ г/л}$), проведение иммунотерапии и/или лечение кортикостероидами, цитостатиками в течение шести месяцев до включения в исследование.

Критерии исключения из исследования:

- отказ пациента от участия в исследовании;
- отсутствие возможности динамического наблюдения и контроля в течение установленного срока (60 месяцев).

В течение пяти лет из исследования было исключено 13 (8,5 %) пациентов: из основной группы — три пациента, из группы сравнения — 10 пациентов. Окончательному анализу подвергнуто 140 пациентов: основная группа — 59 пациентов, группа сравнения — 81 пациент, из них было 36 (25,7 %) мужчин и 104 (74,3 %) женщины, средний возраст — $(63,2 \pm 7,0)$ лет (от 48 до 72 лет).

Пациентам после проведения обследования, подтверждения диагноза «кокстарроз» и показаний к ТЭТС выполнили первичное бесцементное ТЭТС и оценили результаты в течение пяти лет после операции.

Для расчета ИМТ ($\text{кг}/\text{м}^2$) вес и рост пациентов измеряли при осмотре и при опросе по телефону. Рост принимали за постоянную величину, а вес пациент сообщал по самостоятельному взвешиванию.

Болевой синдром оценивали по 10-бальной визуально-аналоговой шкале ВАШ [28].

Для выявления рентгенологических признаков патологии тазобедренного сустава были использованы переднезадняя проекция и проекция тазобедренного сустава в положении «лягушки». Остеоартрит оценивали по классификации K&L с помощью рентгенографии, показывающей субхондральный склероз, субхондральные кисты, остеофиты бедренной кости или вертлужной впадины или сужение суставной щели [29].

Для оценки состояния тазобедренного сустава применяли модифицированную шкалу Харриса (мШХ), которая состоит из пунктов, оценивающих боль (максимум 44 балла) и функциональность (максимум 47 баллов), что в сумме дает максимум 91 балл. Оценку осуществляли при опросе пациента по телефону. Результат умножали на 1,1, чтобы получить максимально возможное количество баллов — 100 [30, 31, 32]. Раздел «Функции» включал вопросы о расстоянии, которое пациент может пройти, о его способности надевать обувь и носки, о его способности пользоваться общественным транспортом, о необходимости использовать трость или костыли, о хромоте, о способности подниматься по лестнице и о способности сидеть на обычном стуле в течение часа [33]. Шкала Харриса, по данным систематического обзора N. Ramisetty et al., является наиболее часто употребляемой при изучении результатов ТЭТС [34].

При клиническом обследовании пациенты характеризовали боли по шкале ВАШ со средним уровнем $(2,9 \pm 1,1)$ балла, по мШХ $(55,7 \pm 10,1)$ балла. Сравнительный анализ обследования пациентов по группам представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ между группами пациентов

Показатель		Основная группа (n = 59)	Группа сравнения (n = 81)	p*
Мужчины	абс.	12	24	0,217
	%	20,3	29,6	
Женщины	абс.	47	57	
	%	79,7	70,4	
Возраст (лет)		$63,2 \pm 7,3$	$63,3 \pm 6,8$	0,941
ИМТ ($\text{кг}/\text{м}^2$)		$44,5 \pm 2,7\#$	$43,9 \pm 2,8$	0,273
ВАШ (баллы)		$3,0 \pm 1,1$	$2,8 \pm 1,1$	0,284
мШХ (баллы)		$55,2 \pm 10,7$	$55,2 \pm 10,2$	0,996

Примечание: * — t-критерий для равенства средних в независимых выборках; # — показатели ИМТ в основной группе брали из медицинской документации до БА.

По данным медицинской документации, у пациентов основной группы до БО средний ИМТ составлял $(44,5 \pm 2,7)$ $\text{кг}/\text{м}^2$, после БО средний ИМТ составил $(35,5 \pm 2,6)$ $\text{кг}/\text{м}^2$, то есть снижение веса произошло на 20,2 %.

БО у пациентов основной группы, выполненные за $(14,2 \pm 1,4)$ мес. до ТЭТС: рукавная резекция желудка — у 44 (74,6 %), межкишечный анастомоз — у 12 (20,3 %), комбинированная операция — у трех (5,1 %) пациентов. В основную группу исследования вошли пациенты с избыточным весом, 1 и 2 стадиями ожирения (табл. 2).

Необходимо отметить, что все пациенты покинули группу морбидного ожирения, но до нормального ИМТ не дошел ни один пациент, только трое мужчин перешли в группу пациентов с избыточным весом, ни одна из женщин не достигла такого результата. Таким образом, основная масса пациентов перешла в группы ожирения 1 и 2 стадий (56 пациентов, 94,9 %). При опросе многие пациенты утверждали, что их масса тела значительно снижалась до шести месяцев после операции, а затем снова начала нарастать, однако точные достоверные данные нам собрать не удалось.

Таблица 2

Распределение пациентов основной группы по стадии ожирения и полу после БО

Стадия ожирения	ИМТ, кг/м ²	Количество пациентов		Мужчины		Женщины	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%
Норма	20–24,9	–	–	–	–	–	–
Избыточный вес	25–29,9	3	5,1	3	25,0	–	–
1 стадия	30–34,9	16	27,1	2	16,7	14	29,8
2 стадия	35–39,9	40	67,8	7	58,3	33	70,2
3 стадия	40 и более	–	–	–	–	–	–

В послеоперационном периоде мы оценивали следующие показатели: болевой синдром по шкале ВАШ на первые, третьи, седьмые и 14-е сутки; функциональный результат по мШХ через три и 12 месяцев, затем каждые 12 месяцев до 60 месяцев; наличие ранних послеоперационных осложнений в первые три месяца после операции. Далее мы определяли выживаемость эндопротезов и структуру ревизионных операций каждые 12 месяцев до 60 месяцев.

Статистический анализ выполняли с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics 22. Взвешенную разность средних значений (WMD) использовали в группе с ожирением при определении ИМТ, для оценки болевого синдрома (ВАШ), баллов по шкале Харриса с соответствующими 95 % ДИ (CI). Для оценки ранних и поздних осложнений в послеоперационном периоде использовали критерий Манна – Уитни, выживаемости эндопротезов — метод Каплана – Майера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Болевой синдром по шкале ВАШ до операции в группах исследований был на одном уровне и не имел статистически значимой разницы ($p < 0,001$). На первые сутки после операции показатель резко увеличился со значительной статистической разницей ($p < 0,001$). К третьим суткам после операции значения снижались, но разница была статистически значима, $p = 0,003$. К седьмым и 14-м суткам болевой синдром был купирован, и различия между группами отсутствовали. К окончанию периода наблюдений в 12 месяцев болевой синдром по шкале ВАШ был значительно ниже, чем до операции и статистической разницы результатов между группами не выявлено, $p = 0,243$ (рис. 1).

Результаты тестирования пациентов по модифицированной шкале Харриса до операции в обеих группах были одинаковыми, $p = 0,364$. После операции показатели функции тазобедренного сустава постепенно прогрессивно увеличиваются со статистически значимой разницей к трем месяцам $p = 0,021$, к шести месяцам $p = 0,003$, к 12 месяцам достигают максимума при статистически значимой разнице результатов $p = 0,021$ (рис. 2).

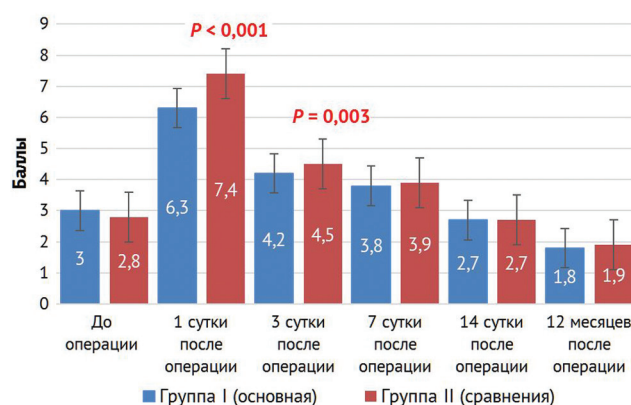


Рис. 1. Динамика боли по шкале ВАШ на протяжении исследования

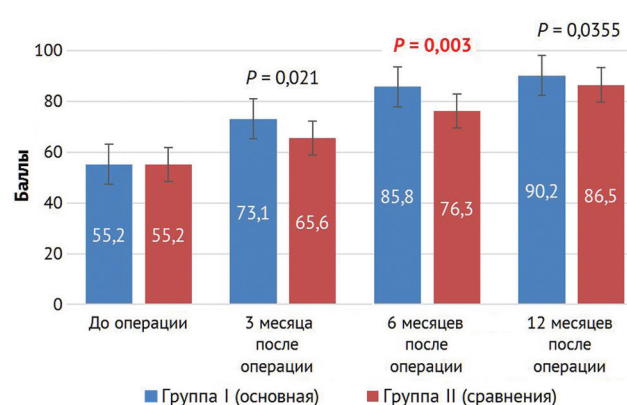


Рис. 2. Динамика функциональных показателей по мШХ

При анализе выживаемости (отсутствие осложнений) в течение пяти лет после операции (60 месяцев) по методу Каплана – Майера мы получили пятилетнюю выживаемость эндопротезов в основной группе исследования 94,6 % (5,4 % осложнений), в группе сравнения 77,2 % (22,8 % осложнений). На основании этого можно заключить, что применение БО у пациентов с коксартрозом 3–4 ст. по классификации K&L обеспечивает снижение риска осложнений на 17,4 % (Log Rank (Mantel-Cox) $p = 0,006$), что представлено на рис. 3.

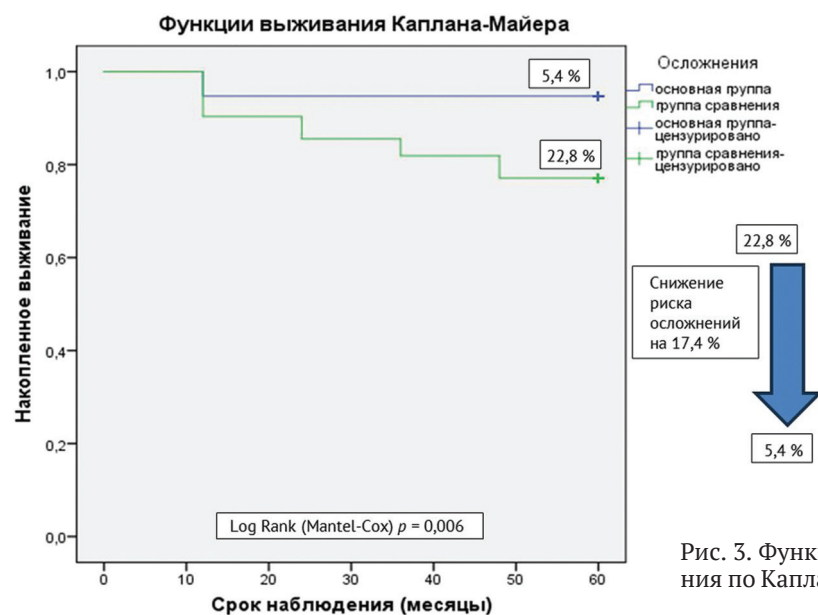


Рис. 3. Функция выживания по Каплану – Майеру

При детальном анализе осложнений мы выявили, что поверхностные инфекции в области хирургического вмешательства у пациентов группы сравнения имели место в 2,4 % случаев и не встретились у пациентов основной группы, а глубокая и перипротезная инфекция у пациентов группы сравнения встречалась в два раза чаще: в основной группе исследования — 1,8 %, в группе сравнения — 3,6 % (табл. 3). Все четыре случая глубокой инфекции и один из двух случаев поверхностной инфекции в нашем исследовании потребовали удаления эндопротеза и двухэтапного ревизионного вмешательства в первые два года исследования. Тромбофлебит глубоких вен голени имел место одним случае у пациента основной группы в раннем послеоперационном периоде (1,8 %), неврит седалищного нерва — в одном случае в группе сравнения (1,2 %), эти осложнения не потребовали ревизионных вмешательств. Перипротезные переломы (2,4 %), асептическое расшатывание (4,8 %) и износ компонентов протеза (3,6 %) в нашем исследовании встретились только у пациентов группы сравнения, причем в последние два года наблюдения, что и определило характер ранних ревизионных операций, не связанных с инфекцией области хирургического вмешательства.

Такие осложнения как вывихи эндопротезов зарегистрированы в обеих группах, однако у пациентов с ИМТ < 40 кг/м², которым были выполнены БО, встречались значительно реже: у пациентов основной группы — в 1,8 % случаев (ревизионное вмешательство не потребовалось), в группе сравнения — в 4,8 % случаев (всем выполнили одноэтапные ревизионные оперативные вмешательства).

Таблица 3

Структура осложнений

Осложнения	Основная группа (n = 59)		Группа сравнения (n = 81)		p-value*
	абс.	%	абс.	%	
Поверхностная ИОХВ	—	—	2	2,4	—
Глубокая ИОХВ	1	1,8	3	3,6	0,04
Перипротезные переломы	—	—	2	2,4	—
Асептическое расшатывание	—	—	4	4,8	—
Износ компонентов протеза	—	—	3	3,6	—
Тромбофлебит, ТЭЛА	1	1,8	—	—	—
Вывихи протеза	1	1,8	4	4,8	≤ 0,01
Неврологические расстройства	—	—	1	1,2	—
Итого	3	5,4	19	22,8	< 0,001

Примечание: * — критерий Манна – Уитни

ОБСУЖДЕНИЕ

Пациенты с ИМТ > 40 кг/м² имеют относительный риск для ТЭТС более чем в 30 раз выше, чем пациенты с ИМТ < 25 кг/м² [35]. Хирургическое снижение веса является наиболее эффективным средством у пациентов с ожирением, и некоторые авторы указывают, что оно снижает сопутствующие заболевания, связанные с ожирением, и продлевает жизнь [36, 37].

Поскольку существуют ассоциации как между ожирением и риском ОА суставов нижних конечностей, так и между ожирением и осложнениями после ТЭТС, важно понять, является ли ожирение модифицируемым фактором риска до ТЭТС. Целью нашего исследования было изучение влияния БО с поло-

жительными или отрицательными эффектами на результаты ТЭТС. Мы обнаружили, что применение БО у пациентов с коксартрозом 3–4 ст. по классификации K&L обеспечивает снижение риска осложнений на 17,4 %, в частности уменьшает риск послеоперационных инфекционных осложнений, как поверхностных, так и глубоких. Наиболее важным явилось снижение количества ревизионных операций после БО, что подтверждается данными других исследований [38].

В некоторых исследованиях не отмечено увеличение риска повторных операций после БО и последующего ТЭТС [39, 40, 41], в других исследованиях отмечена более высокая частота повторных операций у пациентов с БО и ТКА по сравнению с пациентами с низким ИМТ, перенесшими ТЭТС [42, 43, 44], только одно исследование показало снижение риска повторной операции ТЭТС у пациентов после БО [45].

Исследования, изучающие влияние БО на частоту осложнений в раннем послеоперационном периоде после ТЭТС, также дали неоднозначные результаты [38, 39, 42, 46]. Внутрибольничные осложнения могли возникать реже у тех, у кого БО проведена до ТЭТС, чем у пациентов с патологическим ожирением [38]. Три исследования [39, 47, 48], включающие 233 пациента, не обнаружили разницы в ранних осложнениях, когда пациенты были стратифицированы по временному интервалу между БО и ТЭТС. Самое крупное исследование, оценивающее влияние БО на ранние осложнения, включавшее 5914 пациентов, показало, что осложнения были наиболее частыми у пациентов, у которых были БО до ТЭТС. Следует отметить, что потенциальным фактором, мешающим результатам, является то, что предшествующие сопутствующие заболевания также были более частыми в этой группе [38, 42, 45–47, 49–51].

В целом, мы обнаружили, что нет консенсуса, основанного на текущих доказательствах необходимости выполнения БО перед ТЭТС, однако каждое исследование следует критически проанализировать. В нескольких сравнительных исследованиях дисбаланс сопутствующих заболеваний в группах исследования мог исказить их анализы и сместить их против когорт БО, поскольку хорошо известно, что пациенты с патологическим ожирением, перенесшие БО, как правило, имеют более высокое исходное количество сопутствующих заболеваний, чем пациенты с патологическим ожирением, не перенесшие БО [52, 53].

Учитывая, что пациенты с ожирением составляют все большую долю пациентов, которым выполняют ТЭТС, оптимизация риска в этой более сложной с медицинской точки зрения популяции пациентов имеет клиническое значение. Пациенты с ожирением чаще испытывают осложнения, включая поверхностную и глубокую инфекцию, острое повреждение почек, остановку сердца и повторную операцию после ТЭТС [16, 54]. Ожирение также независимо увеличивает медицинские расходы, связанные с ТЭТС [55].

БО оценивается как способ потенциального снижения риска операции у пациентов морбидным ожирением, но, учитывая риски второй плановой операции, крайне важно, чтобы ортопеды давали рекомендации своим пациентам на основе понимания современной литературы. Ни одно исследование не оценивало, устраняет ли снижение веса после БО необходимость в ТЭТС. Повышенная подвижность и упражнения после БО могут увеличить количество пациентов, которым требуется в последующем ТЭТС [56]. Этот вопрос остается спорным, так как некоторые исследователи предполагают, что уменьшение жалоб пациентов связаны с потерей веса после БО [57].

Необходимы дальнейшие исследования для оценки доли пациентов, которым требуется ТЭТС после БО, также было бы полезно сравнить БО с консервативным лечением ожирения перед операцией на тазобедренном суставе, чтобы определить, как отличаются результаты [47]. Наконец, растет популярность проведения рукавной резекции желудка, более выигрышной по сравнению с лапароскопическим шунтированием желудка по Ру [58]. Литературные данные остаются противоречивыми относительно воздействия БО на ранние, краткосрочные и долгосрочные послеоперационные осложнения после ТЭТС. В частности, влияние различных типов БО на результаты ТЭТС еще предстоит выяснить. В идеале требуются проспективные исследования с более высоким уровнем доказательств, чтобы сделать определенные выводы относительно воздействия БО на результаты ТЭТС. Наше исследование продемонстрировало, что очень немногие пациенты теряют вес до проведения операции по замене сустава. Это подчеркивает необходимость целенаправленных нехирургических мероприятий по снижению веса для пациентов, которые в настоящее время ожидают замены сустава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение бариатрических операций у пациентов с морбидным ожирением и коксартрозом 3–4 ст. перед выполнением ТЭТС позволяет статистически значимо снизить риск послеоперационных осложнений на 17,4 % и повысить пятилетнюю выживаемость эндопротезов до 94,6 %.

Конфликт интересов отсутствует.

Источник финансирования отсутствует.

Информированное согласие пациентов на опубликование изображений и/или информации о них в научной статье получено.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- World Health Organization. *Obesity and overweight*. 2025. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Accessed Jun 20, 2025.
- Bourne R, Mukhi S, Zhu N, et al. Role of obesity on the risk for total hip or knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;465:185-188. doi: 10.1097/BLO.0b013e3181576035.
- Vuolteenaho K, Koskinen A, Moilanen E. Leptin - a link between obesity and osteoarthritis. applications for prevention and treatment. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*. 2014;114(1):103-108. doi: 10.1111/bcpt.12160.
- Long H, Xie D, Zeng C, et al. Association between body composition and osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Rheum Dis*. 2019;22(12):2108-2118. doi: 10.1111/1756-185X.13719.
- Mellion KM, Grover BT. Obesity, Bariatric Surgery, and Hip/Knee Arthroplasty Outcomes. *Surg Clin North Am*. 2021;101(2):295-305. doi: 10.1016/j.suc.2020.12.011.
- Sowers MR, Karvonen-Gutierrez CA. The evolving role of obesity in knee osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol*. 2010;22(5):533-537. doi: 10.1097/BOR.0b013e3181576035.
- Francisco V, Pérez T, Pino J, et al. Biomechanics, obesity, and osteoarthritis. The role of adipokines: When the levee breaks. *J Orthop Res*. 2018;36(2):594-604. doi: 10.1002/jor.23788.
- Steiner C, Andrews R, Barrett M, Weiss A. *HCUP projections: Mobility/orthopedic procedures 2003 to 2012. HCUP projections report # 2012-03*. U.S. Agency for Healthcare Research and Quality. 2012. Available at: <http://hcup-us.ahrq.gov/reports/projections/2012-03.pdf>. Accessed Feb 20, 2022.
- Godziuk K, Prado CM, Beaupre L, et al. A critical review of weight loss recommendations before total knee arthroplasty. *Joint Bone Spine*. 2021;88(2):105114. doi: 10.1016/j.jbspin.2020.105114.
- Hooper JM, Deshmukh AJ, Schwarzkopf R. The Role of Bariatric Surgery in the Obese Total Joint Arthroplasty Patient. *Orthop Clin North Am*. 2018;49(3):297-306. doi: 10.1016/j.joc.2018.02.003.
- Stavrakis AI, Khoshbin A, McLawhorn AS, Parks ML. Bariatric Surgery Prior to Total Joint Arthroplasty, Does it Decrease the Risk of Obesity Related Perioperative Complications? *Curr Rheumatol Rep*. 2018;20(2):7. doi: 10.1007/s11926-018-0717-5.
- Murr MM, Streiff WJ, Ndindjock R. A Literature Review and Summary Recommendations of the Impact of Bariatric Surgery on Orthopedic Outcomes. *Obes Surg*. 2021;31(1):394-400. doi: 10.1007/s11695-020-05132-9.
- Smith TO, Aboelmagd T, Hing CB, MacGregor A. Does bariatric surgery prior to total hip or knee arthroplasty reduce post-operative complications and improve clinical outcomes for obese patients? Systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J*. 2016;98-B(9):1160-1166. doi: 10.1302/0301-620X.98B9.58024.
- Sherman WF, Patel AH, Kale NN, et al. Surgeon Decision-Making for Individuals With Obesity When Indicating Total Joint Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2021;36(8):2708-2715.e1. doi: 10.1016/j.arth.2021.02.078.
- Chen MJ, Bhowmick S, Beseler L, et al. Strategies for Weight Reduction Prior to Total Joint Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(21):1888-1896. doi: 10.2106/JBJS.18.00020.
- Kerkhoffs GM, Servien E, Dunn W, et al. The influence of obesity on the complication rate and outcome of total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic literature review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(20):1839-1844. doi: 10.2106/JBJS.K.00820.
- Wagner ER, Kamath AF, Fruth K, et al. Effect of Body Mass Index on Reoperation and Complications After Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(24):2052-2060. doi: 10.2106/JBJS.16.00093.
- Electricwala AJ, Jethanandani RG, Narkbunnam R, et al. Elevated Body Mass Index Is Associated With Early Total Knee Revision for Infection. *J Arthroplasty*. 2017;32(1):252-255. doi: 10.1016/j.arth.2016.05.071.
- Werner BC, Higgins MD, Pehlivan HC, et al. Super Obesity Is an Independent Risk Factor for Complications After Primary Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(2):402-406. doi: 10.1016/j.arth.2016.08.001.
- Hernigou P, Trousselier M, Roubineau F, et al. Dual-mobility or Constrained Liners Are More Effective Than Preoperative Bariatric Surgery in Prevention of THA Dislocation. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(10):2202-2210. doi: 10.1007/s11999-016-4859-3.
- O'Brien PE, Hindle A, Brennan L, et al. Long-Term Outcomes After Bariatric Surgery: a Systematic Review and Meta-analysis of Weight Loss at 10 or More Years for All Bariatric Procedures and a Single-Centre Review of 20-Year Outcomes After Adjustable Gastric Banding. *Obes Surg*. 2019;29(1):3-14. doi: 10.1007/s11695-018-3525-0.
- Mingrone G, Panunzi S, De Gaetano A, et al. Bariatric surgery versus conventional medical therapy for type 2 diabetes. *N Engl J Med*. 2012;366(17):1577-1585. doi: 10.1056/NEJMoa1200111.
- Sjöström L. Review of the key results from the Swedish Obese Subjects (SOS) trial - a prospective controlled intervention study of bariatric surgery. *J Intern Med*. 2013;273(3):219-234. doi: 10.1111/joim.12012.
- Li S, Luo X, Sun H, et al. Does Prior Bariatric Surgery Improve Outcomes Following Total Joint Arthroplasty in the Morbidly Obese? A Meta-Analysis. *J Arthroplasty*. 2019;34(3):577-585. doi: 10.1016/j.arth.2018.11.018.
- Gu A, Cohen JS, Malahias MA, et al. The Effect of Bariatric Surgery Prior to Lower-Extremity Total Joint Arthroplasty: A Systematic Review. *HSS J*. 2019;15(2):190-200. doi: 10.1007/s11420-019-09674-2.
- Wang Y, Deng Z, Meng J, et al. Impact of Bariatric Surgery on Inpatient Complication, Cost, and Length of Stay Following Total Hip or Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2019;34(12):2884-2889.e4. doi: 10.1016/j.arth.2019.07.012.
- Heuts EAF, de Jong LD, Hazebroek EJ, et al. The influence of bariatric surgery on hip and knee joint pain: a systematic review. *Surg Obes Relat Dis*. 2021;17(9):1637-1653. doi: 10.1016/j.soard.2021.04.019.
- Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;2(7889):1127-1131. doi: 10.1016/S0140-6736(74)90884-8.
- Kellgren, J.H.; Lawrence, J.S. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16(4):494-502. doi: 10.1136/ard.16.4.494.
- Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am*. 1969;51(4):737-755.
- Byrd JW, Jones KS. Hip arthroscopy in the presence of dysplasia. *Arthroscopy*. 2003;19(10):1055-1060. doi: 10.1016/j.arthro.2003.10.010.
- Ramisetty N, Kwon Y, Mohtadi N. Patient-reported outcome measures for hip preservation surgery-a systematic review of the literature. *J Hip Preserv Surg*. 2015;2(1):15-27. doi: 10.1093/jhps/hnv002.
- Krueger DR, Leopold VJ, Schroeder JH, et al. Correlation of the Subjective Hip Value with Validated Patient-Reported Outcome Measurements for the Hip. *J Clin Med*. 2020;9(7):2179. doi: 10.3390/jcm9072179.
- Sato EH, Stevenson KL, Blackburn BE, Peters CL, Archibeck MJ, Pelt CE, Gililand JM, Anderson LA. Impact of Demographic Variables on Recovery After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2024 Mar;39(3):721-726.
- Bourne R, Mukhi S, Zhu N, et al. Role of obesity on the risk for total hip or knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;465:185-188. doi: 10.1097/BLO.0b013e3181576035.
- Avenell A, Robertson C, Skea Z, et al. Bariatric surgery, lifestyle interventions and orlistat for severe obesity: the REBALANCE mixed-methods systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess*. 2018;22(68):1-246. doi: 10.3310/hta22680.
- Grams J, Garvey WT. Weight Loss and the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes Using Lifestyle Therapy, Pharmacotherapy, and Bariatric Surgery: Mechanisms of Action. *Curr Obes Rep*. 2015;4(2):287-302. doi: 10.1007/s13679-015-0155-x.

38. McLawhorn AS, Levack AE, Lee YY, et al. Bariatric Surgery Improves Outcomes After Lower Extremity Arthroplasty in the Morbidly Obese: A Propensity Score-Matched Analysis of a New York Statewide Database. *J Arthroplasty*. 2018;33(7):2062-2069.e4. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.056.
39. Kulkarni A, Jameson SS, James P, et al. Does bariatric surgery prior to lower limb joint replacement reduce complications? *Surgeon*. 2011;9(1):18-21. doi: 10.1016/j.surge.2010.08.004.
40. Nearing EE 2nd, Santos TM, Topolski MS, et al. Benefits of bariatric surgery before elective total joint arthroplasty: is there a role for weight loss optimization? *Surg Obes Relat Dis*. 2017;13(3):457-462. doi: 10.1016/j.soard.2016.11.005.
41. Slim K, Nini E, Forestier D, et al. Methodological index for non-randomized studies (minors): development and validation of a new instrument. *ANZ J Surg*. 2003;73(9):712-716. doi: 10.1046/j.1445-2197.2003.02748.x.
42. Lee GC, Ong K, Baykal D, et al. Does Prior Bariatric Surgery Affect Implant Survivorship and Complications Following Primary Total Hip Arthroplasty/Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2018;33(7):2070-2074.e1. doi: 10.1016/j.arth.2018.01.064.
43. Martin JR, Watts CD, Taunton MJ. Bariatric surgery does not improve outcomes in patients undergoing primary total knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2015;97-B(11):1501-1505. doi: 10.1302/0301-620X.97B11.36477.
44. Odum SM, Springer BD, Dennos AC, Fehring TK. National obesity trends in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2013;28(8 Suppl):148-151. doi: 10.1016/j.arth.2013.02.036.
45. Werner BC, Kurkis GM, Gwathmey FW, Browne JA. Bariatric Surgery Prior to Total Knee Arthroplasty is Associated With Fewer Postoperative Complications. *J Arthroplasty*. 2015;30(9 Suppl):81-85. doi: 10.1016/j.arth.2014.11.039.
46. Nickel BT, Klement MR, Penrose CT, et al. Lingering Risk: Bariatric Surgery Before Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(9 Suppl):207-211. doi: 10.1016/j.arth.2016.02.075.
47. Inacio MC, Paxton EW, Fisher D, et al. Bariatric surgery prior to total joint arthroplasty may not provide dramatic improvements in post-arthroplasty surgical outcomes. *J Arthroplasty*. 2014;29(7):1359-1364. doi: 10.1016/j.arth.2014.02.021.
48. Nearing EE 2nd, Santos TM, Topolski MS, et al. Benefits of bariatric surgery before elective total joint arthroplasty: is there a role for weight loss optimization? *Surg Obes Relat Dis*. 2017;13(3):457-462. doi: 10.1016/j.soard.2016.11.005.
49. Sturm R. Increases in morbid obesity in the USA: 2000-2005. *Public Health*. 2007;121(7):492-496. doi: 10.1016/j.puhe.2007.01.006.
50. Schwarzkopf R, Lavery JA, Hooper J, et al. Bariatric Surgery and Time to Total Joint Arthroplasty: Does It Affect Readmission and Complication Rates? *Obes Surg*. 2018;28(5):1395-1401. doi: 10.1007/s11695-017-3034-6.
51. Severson EP, Singh JA, Browne JA, et al. Total knee arthroplasty in morbidly obese patients treated with bariatric surgery: a comparative study. *J Arthroplasty*. 2012;27(9):1696-1700. doi: 10.1016/j.arth.2012.03.005.
52. Pontiroli AE, Ceriani V, Sarro G, et al. Incidence of Diabetes Mellitus, Cardiovascular Diseases, and Cancer in Patients Undergoing Malabsorptive Surgery (Biliopancreatic Diversion and Biliointestinal Bypass) vs Medical Treatment. *Obes Surg*. 2019;29(3):935-942. doi: 10.1007/s11695-018-3601-5.
53. Pories WJ. Bariatric surgery: risks and rewards. *J Clin Endocrinol Metab*. 2008;93(11 Suppl 1):S89-S96. doi: 10.1210/jc.2008-1641.
54. Ward DT, Metz LN, Horst PK, et al. Complications of Morbid Obesity in Total Joint Arthroplasty: Risk Stratification Based on BMI. *J Arthroplasty*. 2015;30(9 Suppl):42-46. doi: 10.1016/j.arth.2015.03.045.
55. Kremers HM, Visscher SL, Kremers WK, et al. The effect of obesity on direct medical costs in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(9):718-724. doi: 10.2106/JBJS.M.00819.
56. Trofa D, Smith EL, Shah V, Shikora S. Total weight loss associated with increased physical activity after bariatric surgery may increase the need for total joint arthroplasty. *Surg Obes Relat Dis*. 2014;10(2):335-339. doi: 10.1016/j.soard.2013.09.011.
57. Groen VA, van de Graaf VA, Scholtes VA, Sprague S, van Wagenveld BA, Poolman RW. Effects of bariatric surgery for knee complaints in (morbidly) obese adult patients: a systematic review. *Obes Rev*. 2015;16(2):161-170. doi: 10.1111/obr.12236.
58. Mechanick JL, Youdim A, Jones DB, et al. Clinical practice guidelines for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient--2013 update: cosponsored by American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery. *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21 Suppl 1(0 1):S1-S27. doi: 10.1002/oby.20461.

Статья поступила 05.05.2025; одобрена после рецензирования 18.06.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 05.05.2025; approved after reviewing 18.06.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Андемиркан Олегович Ахов — аспирант, Andy.akhov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4156-0525>;

Алексей Владимирович Лычагин — доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой, dr.lychagin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>;

Андрей Анатольевич Грицюк — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, drgaamma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4202-4468>;

Роза Хазбулатовна Явльева — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, hazbulatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8517-7216>.

Information about authors:

Andemirkan O. Akhov — Postgraduate student, wdtcluiyi@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4156-0525>;

Alexey V. Lychagin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, dr.lychagin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>;

Andrey A. Gritsyuk — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of Department, drgaamma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4202-4468>;

Roza K. Yavlieva — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, hazbulatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8517-7216>.

Вклад авторов:

Ахов А.О. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Лычагин А.В. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования; утверждение окончательного варианта рукописи для публикации.

Грицюк А.А. — написание текста рукописи и ее редактирование, утверждение окончательного варианта рукописи для публикации, Явльева Р.Х. — сбор, анализ и интерпретация данных.

Научная статья

УДК [612.015.3:616.71-00]:617.586-089.152-001.58

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64>

Влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе

А.К. Мурсалов[✉], А.М. Дзюба, А.С. Шипилов, М.С. Рогова, Е.А. Федотов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Камалович Мурсалов, tamerlanmursalov@gmail.com

Аннотация

Введение. В последние годы растет количество ревизионных операций на стопе, что напрямую связано с увеличением количества хирургических вмешательств. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться, — это отсутствие консолидации после выполнения артродезирования и остеотомий. С экономической точки зрения ревизионные операции увеличивают срок нетрудоспособности пациентов и несут дополнительную материальную нагрузку на медицинские учреждения. Одним из ключевых параметров, приводящих к риску несращения и необходимости ревизионной операции в последующем, является нарушение костного метаболизма.

Цель работы — определить влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе и голеностопном суставе.

Материалы и методы. Проведено проспективное исследование с ретроспективным контролем, где сравнивали две группы пациентов в возрасте от 45 до 70 лет, которым требовалась ревизионная операция на стопе. Контрольная ретроспективная группа ($n = 36$) представлена пациентами, которым выполняли ревизионную операцию на стопе без предшествующей оценки состояния костного метаболизма. Проспективная группа ($n = 42$) представлена пациентами, которым в предоперационном периоде выполняли оценку состояния костного метаболизма с её последующей коррекцией при необходимости. Всем пациентам выполняли ревизионные операции на заднем и среднем отделах стопы в связи с отсутствием консолидации после проведения артродезирования соответствующих суставов. В предоперационном обследовании проводили рентгенографию стопы под нагрузкой в прямой и боковой проекциях, и проекции Зальцмана, а также компьютерную томографию с контралатеральной стороной.

Результаты. Выявлено, что средний срок от момента первичной консультации до хирургического лечения был выше у пациентов проспективной группы, чем контрольной: ($16,0 \pm 4,0$) нед. и ($8,0 \pm 1,7$) нед. соответственно. Средний срок консолидации/формирования анкилоза различался несущественно: контрольная группа — ($10,0 \pm 2,2$) нед., проспективная группа — ($8,0 \pm 1,5$) нед. Статистически значимая разница выявлена в частоте несращений между двумя группами: в контрольной группе — 14 % ($n = 5$), в проспективной — 2,4 % ($n = 1$).

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о клинической эффективности комплексного подхода к ревизионным операциям на стопе, включающего оптимизацию биологических факторов костного сращения. Внедрение протокола предоперационной оценки и коррекции костного метаболизма может значительно улучшить исходы ревизионных вмешательств, снизив риск повторных несращений и необходимость в дальнейших ревизиях.

Заключение. Срок от первичной консультации до ревизионной операции был выше в проспективной группе пациентов, срок консолидации костей не имел статистически значимой разницы. Частота несращений — выше в контрольной группе, где не проводили диагностику и коррекцию состояния костного метаболизма, что подчеркивает их важность для снижения количества последующих ревизионных операций на стопе и голеностопном суставе.

Ключевые слова: несращения, ревизионная операция, костный метаболизм, хирургия стопы, остеопороз

Для цитирования: Мурсалов А.К., Дзюба А.М., Шипилов А.С., Рогова М.С., Федотов Е.А. Влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):57-64. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64.



Metabolic bone abnormalities underlying nonunion in revision foot surgeries

A.K. Mursalov✉, A.M. Dzyuba, A.S. Shipilov, M.S. Rogova, E.A. Fedotov

Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Anatoly K. Mursalov, tamerlanmursalov@gmail.com

Abstract

Introduction Revision foot surgery has increased in recent decades with the increasing surgical procedures. Nonunion is common after arthrodesis and osteotomies. From an economic perspective, revision surgery can be associated with greater length of disability imposing an additional financial burden on healthcare facilities. Impaired bone metabolism is one of the key factors leading to the risk of nonunion and a revision surgery.

The **aim** of the study was to determine the impact of metabolism bone abnormalities on the incidence of nonunion in revision foot and ankle surgery.

Material and methods A prospective study with retrospective control was conducted to compare two groups of patients aged 45 to 70 years who required revision foot surgery. The retrospective control group ($n = 36$) consisted of patients who had no bone metabolism assessment prior to revision foot surgery. The prospective group ($n = 42$) consisted of patients who underwent bone metabolism assessment preoperatively and subsequent correction if needed. Revision surgery was produced in the hindfoot and midfoot due to failed arthrodesis of the corresponding joints. AP and lateral weight-bearing radiographs of the foot, the Salzmänn view and a CT scan of the feet were produced preoperatively.

Results The mean period from the initial consultation to surgical treatment was longer in the prospective group than in controls: (16.0 ± 4.0) weeks and (8.0 ± 1.7) weeks, respectively. There were no significant differences in the mean period of consolidation/ankylosis measuring (10.0 ± 2.2) weeks in controls and (8.0 ± 1.5) weeks in the prospective group. A statistically significant difference was found in the frequency of non-unions between the two groups showing 14 % ($n = 5$) in controls and 2.4 % ($n = 1$) in the prospective group.

Discussion The findings demonstrated clinical effectiveness of a comprehensive approach to revision foot surgery including optimization of biological factors for bone union. Protocol for preoperative assessment and correction of bone metabolism can significantly improve outcomes of revision procedures reducing the risk of recurrent nonunions and the need for revisions.

Conclusion The time from initial consultation to revision surgery was longer in the prospective group of patients with no statistically significant differences in the time to bone consolidation. The nonunion rate was higher in the control group with no diagnosis and correction of bone metabolism diagnostics performed, highlighting the importance in reducing the rate of revision foot and ankle surgeries.

Keywords: nonunion, revision surgery, bone metabolism, foot surgery, osteoporosis

For citation: Mursalov AK, Dzyuba AM, Shipilov AS, Rogova MS, Fedotov EA. Metabolic bone abnormalities underlying nonunion in revision foot surgeries. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):57-64. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64.

ВВЕДЕНИЕ

Частота ревизионных операций на стопе растет, что напрямую связано с увеличением количества хирургических вмешательств в целом. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться, — это отсутствие консолидации после выполнения артродезирования и остеотомий [1, 2]. По данным литературы, при тройном артродезе частота несращений варьирует от 0 % до 29 % [3]. Одним из ключевых параметров, приводящих к риску несращения и необходимости ревизионной операции в последующем, является нарушение костного метаболизма, которое может проявляться в различных формах [4].

Предоперационный протокол ревизионных вмешательств включает три последовательных этапа: диагностику, планирование и собственно ревизионную операцию. Диагностический этап инициируется комплексным клиническим обследованием с применением инструментальных и лабораторных методов исследования. Основная цель данного этапа — идентификация ключевых факторов, приведших к несостоятельности предшествующего хирургического вмешательства [5].

Этиологические факторы неудовлетворительных исходов можно разделить на две основные категории: механические и биологические. Механические факторы ассоциированы с нарушением алгоритмов хирургического вмешательства, в то время как биологические факторы обусловлены патофизиологическими изменениями в организме пациента, в частности, нарушениями костного метаболизма.

Диагностика механических факторов базируется преимущественно на клиническом осмотре и инструментальных методах исследования. К наиболее значимым механическим факторам относятся: нестабильность фиксации металлоконструкции, игнорирование биомеханических осей, недооценка роли связочного аппарата, а также, напротив, чрезмерная абсолютизация мягкотканых методик.

Для выявления биологических факторов, обуславливающих необходимость ревизионного вмешательства, требуется комплексное и детальное обследование пациента. Особое внимание биологическим факторам следует уделять при соблюдении всех механических условий, возрасте пациента старше 65 лет и присутствии сопутствующих соматических заболеваний. Инволюционные процессы в стопе и повышенный риск остеопороза являются характерными особенностями старения организма, особенно выраженными у женщин [6]. В современной научной литературе все чаще используют термин «стареющая стопа» [7], который отражает комплекс возрастных изменений в структуре и функции стопы. Однако важно отметить, что хронологический возраст не всегда коррелирует с функциональным статусом пациента.

Несмотря на то, что возраст является значимым фактором риска для развития остеопороза и других дегенеративных изменений стопы [8, 9], он не должен рассматриваться как единственный или решающий критерий при планировании лечения. Функциональный статус пациента может существенно варьировать в пределах одной возрастной группы, что обусловлено индивидуальными особенностями образа жизни, генетическими факторами и сопутствующими заболеваниями.

Таким образом, возраст пациента следует рассматривать как предостерегающий фактор, требующий более тщательной оценки состояния костной ткани и общего функционального статуса, но не как абсолютное противопоказание к определенным видам лечения. Индивидуальный подход, учитывающий комплекс факторов, позволяет оптимизировать тактику лечения и улучшать исходы у пациентов старшей возрастной группы.

Костный метаболизм представляет собой комплексный биохимический и биомеханический процесс, регулируемый множеством факторов, некоторые из которых поддаются количественной оценке и диагностике. Деформации стопы оказывают существенное влияние на костный метаболизм, что объясняется теорией механостата, также известной как закон Вольфа или теория Фроста [10]. Согласно этой теории, участки стопы, не подвергающиеся адекватной механической нагрузке, претерпевают адаптивные изменения, приводящие к снижению минеральной плотности костной ткани.

Помимо механических факторов, на костный метаболизм значительное влияние оказывают биохимические нарушения. Одним из ключевых факторов, способствующих развитию остеопороза, является дефицит витамина D, играющий критическую роль в кальциевом гомеостазе и минерализации костной ткани [11].

Для комплексной оценки состояния костного метаболизма и диагностики остеопороза рекомендуется проведение следующих лабораторных исследований [12]:

- *анализ крови*: общий анализ крови, коагулограмма, биохимия крови (глюкоза, креатинин, мочевины, общий билирубин, АсТ, АлТ, кальций общий, кальций ионизированный, фосфор, щелочная фосфатаза), витамин D крови, остеокальцин;
- *анализ мочи*: общий анализ мочи, дизоксипиридинолин, кальций и фосфор суточной мочи.

Интерпретацию результатов данных исследований должны осуществлять специалисты в области костного метаболизма (эндокринологи или сотрудники специализированных центров остеопороза). Это необходимо для корректной оценки состояния костного метаболизма, выбора оптимальной тактики лечения [13] и определения приоритетности между коррекцией метаболических нарушений и проведением ревизионного хирургического вмешательства.

Комплексный подход к диагностике и коррекции нарушений костного метаболизма позволяет оптимизировать тактику ведения пациентов с деформациями стопы и минимизировать риски послеоперационных осложнений.

Цель работы — определить влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе и голеностопном суставе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное исследование с ретроспективным контролем проведено в период с 2018 по 2023 гг. на базе НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова.

Критерии включения в исследование:

- возраст от 18 до 75 лет;
- необходимость проведения ревизионной операции по поводу патологии стопы.

Критерии не включения:

- возраст до 18 и старше 75 лет;
- наличие тяжелых декомпенсированных соматических заболеваний;
- врожденные системные заболевания костной ткани;
- инфекционные поражения костей (остеомиелит);
- нарушение механических принципов фиксации.

Контрольная ретроспективная группа ($n = 36$) представлена пациентами, которым в 2018–2021 гг. выполняли ревизионную операцию на стопе без предшествующей оценки состояния костного метаболизма. Распределение по полу: 83 % женщин ($n = 30$), 17 % мужчин ($n = 6$). Средний возраст — $(63,0 \pm 5,4)$ года.

Проспективная группа ($n = 42$) представлена пациентами, которым в 2021–2023 гг. в предоперационном периоде выполняли оценку состояния костного метаболизма с её последующей коррекцией при необходимости. Распределение по полу: 81 % женщин ($n = 34$), 19 % мужчин ($n = 8$). Средний возраст — $(61,0 \pm 7,5)$ лет.

Возрастной диапазон в исследовании составил 45–70 лет. Все пациенты, включенные в исследование, вели обычный образ жизни без повышенных функциональных запросов. Среди них не было профессиональных спортсменов или лиц, чья повседневная активность существенно превышала бы среднестатистический уровень. Возрастные ограничения (18–75 лет) позволили охватить как относительно молодых пациентов без значительных ограничений подвижности, так и пациентов старшего возраста с умеренными нарушениями функции голеностопного сустава, однако ни у одного из них не отмечалось крайне выраженных ограничений трудоспособности или передвижения.

Всем пациентам выполняли ревизионную операцию на заднем и среднем отделах стопы в связи с отсутствием консолидации после выполненных ранее операций по коррекции приобретенных деформаций.

Патологии:

- ригидная плоско-вальгусная деформация, не отягощенная тяжелыми декомпенсированными соматическими заболеваниями;
- посттравматический артроз голеностопного сустава, подтаранного сустава и суставов среднего отдела стопы;
- приобретенные деформации, образовавшиеся в исходе асептического некроза костей стопы (синдром Мюллера – Вейса).

Остеосинтез проводили с помощью преформированных минипластин или канюлированных винтов, без использования аппаратов наружной фиксации. Также в ходе операции при необходимости использовали костные аллотрансплантаты. Оперативное пособие осуществляла одна хирургическая бригада 13-го отделения НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова. Распределение по локализации проведения ревизионной операции представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение пациентов по локализации сегмента, на котором выполнена ревизионная операция

Локализация несостоявшегося анкилоза	Контрольная группа (n = 36)		Проспективная группа (n = 42)	
	абс.	%	абс.	%
Таранно-ладьевидный сустав	6	17	8	19
Подтаранный сустав	15	42	15	36
Голеностопный сустав	10	28	9	21
Два и более сустава	5	14	10	24

Несмотря на смещение в проспективной группе в сторону ревизионных операций при сочетанных несращениях в различных отделах стопы, группы могут считаться репрезентативными.

В рамках исследования выполнено инструментальное обследование пациентов:

- рентгенография стопы под нагрузкой в прямой, боковой проекциях и проекции Зальцмана для оценки анатомических осей стопы;
- компьютерная томография с контралатеральной конечностью для оценки состояния костной ткани, планируемого объема резекции и последующей костной пластики.

В проспективной группе использовали лабораторные методы исследования для оценки состояния костного метаболизма и последующей коррекции параметров при необходимости (табл. 2). Дефицит витамина D (< 30 нг/мл) выявлен у 76 % пациентов. Гипокальциемия и снижение остеокальцина свидетельствуют о нарушении процессов ремоделирования костной ткани. Коррекцию этих параметров (например, назначение витамина D и препаратов кальция) проводили до достижения целевых значений, что, вероятно, способствовало снижению частоты несращения во второй группе. В таблице 2 представлены количественные значения показателей костного метаболизма в проспективной группе.

Таблица 2

Показатели костного метаболизма у пациентов проспективной группы (n = 42)

Параметр	Среднее значение $\pm$ SD	Референсные значения	Пациенты с отклонениями	
			абс.	%
Витамин D (нг/мл)	$25,0 \pm 6,4^*$	30–100	32	76
Кальций общий (ммоль/л)	$2,12 \pm 0,15$	2,15–2,55	19	45
Кальций ионизированный (ммоль/л)	$1,02 \pm 0,08$	1,12–1,32	22	52
Фосфор (ммоль/л)	$0,87 \pm 0,12^*$	0,81–1,45	10	24
Щелочная фосфатаза (Ед/л)	98 ± 32	40–150	5	12
Остеокальцин (нг/мл)	$14,5 \pm 4,1^*$	11–43	13	31

В рамках исследования проводили оценку сроков достижения консолидации по результатам компьютерной томографии. При этом критериями консолидации служили наличие «кортикального мостика» и формирование трабекулярного костного рисунка через линию перелома, что является общепринятым подходом.

Также выполняли оценку среднего срока от первичной консультации до проведения хирургического вмешательства. Данный параметр косвенно связан с экономическими затратами на лечение пациентов, так как увеличение сроков нетрудоспособности приводит к снижению экономической эффективности применяемой модели.

Ключевым фактором сравнения эффективности подходов была оценка частоты несращения в ретроспективной и проспективной группах после выполнения ревизионных операций. Для проведения статистического анализа использовали критерий хи-квадрата Пирсона ввиду его эффективности и простоты применения для оценки значимости различий в группах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам статистического исследования выявлено, что средний срок от момента первичной консультации до хирургического лечения был выше у пациентов проспективной группы, чем у контрольной, соответственно ($16,0 \pm 4,0$) и ($8,0 \pm 1,7$) нед. Обусловлено данное явление тем, что в проспективной группе в среднем требовалось 3–4 недели для сдачи лабораторных анализов и последующей интерпретации результатов. При наличии метаболических расстройств пациентам назначали соответствующую консервативную терапию, направленную на коррекцию показателей метаболизма костной ткани с контрольной сдачей анализов. И только по достижению референсных показателей пациентам

проводили хирургическое лечение. В ряде случаев операции проводили на фоне назначенной терапии (например, при изолированном дефиците витамина D), и в таких случаях удавалось сократить сроки ожидания хирургического вмешательства.

Средний срок консолидации не имел статистически значимой разницы: проспективная группа — $(10,0 \pm 2,2)$ нед., контрольная группа — $(8,0 \pm 1,5)$ нед. Данное явление связано с тем фактом, что коррекция процессов показателей костного метаболизма просто восстанавливает нормальную биологию, а не форсирует её. Соответственно, ожидать сокращения сроков консолидации нецелесообразно.

При оценке частоты несращений получены следующие результаты: в ретроспективной группе частота несращений составила 14 % ($n = 5$), в проспективной группе — всего лишь 2,4 % ($n = 1$). Распределение пациентов по локализации несращений после ревизионного хирургического вмешательства представлены в табл. 3

Таблица 3

Локализация несращений после проведенной ревизионной операции

Локализация несостоявшегося анкилоза	Контрольная группа ($n = 36$)		Проспективная группа ($n = 42$)	
	абс.	%	абс.	%
Таранно-ладьевидный сустав	0	0	0	0
Подтаранный сустав	2	5,6	0	0
Голеностопный сустав	2	5,6	0	0
Два и более сустава	1	2,8	1	2,4
Всего	5	14,0	1	2,4

При этом на основании расчета критерия хи-квадрат выявлено, что различия в частоте несращений между контрольной и проспективной группами не являются статистически значимыми на уровне значимости 0,05. Однако наблюдается уверенная тенденция к меньшей частоте несращений в проспективной группе, что может быть предметом дальнейшего исследования. Вероятно, при расчете на больших группах будут получены статистически значимые различия, на основе которых уже можно будет сделать убедительные выводы об эффективности используемой модели.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ научной литературы показывает, что несращение является одним из статистических важных осложнений при ревизионных операциях на стопе.

Результаты исследования В. Chrea et al. показали, что послеоперационные осложнения при вмешательствах на стопе и голеностопном суставе негативно влияют на удовлетворенность пациентов результатами независимо от предоперационных ожиданий [14]. Этот эффект сохраняется даже после полного восстановления функционального статуса пациентов.

N. Greer et al. приводят показатели несращения после артродеза стопы и голеностопного сустава, которые составляют от 0 % до 36 % при среднем показателе от 10 % до 11 % [15]. В исследовании М. Chraim et al. [16] частота несращения после артродеза подтаранного сустава составила около 20 %. N.M. Rao сообщает, что у 100 % пациентов с несращением при артродезе голеностопного сустава наблюдают дефицит витамина D. Контролируемый риск (витамин D, курение) и неконтролируемый риск (диабет) следует оценивать при постановке диагноза «несращение голеностопного сустава» после артродезирования [17].

D.V. Cardoso et al. указывают, что определение лиц, подверженных риску развития несращения, важно для снижения частоты несращения и улучшения результатов лечения [18]. Авторы выявили несколько модифицируемых факторов риска, связанных с неблагоприятными исходами после артродеза стопы и голеностопного сустава. Факторы риска, связанные с пациентом, на которые можно повлиять до операции, включают отказ от курения, контроль диабета ($HbA_{1c} < 7\%$) и прием добавок витамина D. Влияние курения на результаты операций, проводимых на стопе и голеностопном суставе, выше, чем на других сегментах. Это связано с тем, что никотин снижает уровень простациклинов, что приводит к сужению сосудов и гипоперфузии тканей. Кроме того, есть данные, указывающие на связь между курением, низкой минеральной плотностью костной ткани и замедленным сращением переломов. Сахарный диабет также негативно влияет на репаративные способности костной ткани. Гипергликемия и недостаток инсулина приводят к апоптозу хондроцитов и остеобластов, что может способствовать возникновению несращения при операциях на стопе. Плохо контролируемый уровень глюкозы у пациентов с диабетом ведет к двукратному повышению вероятности развития послеоперационных несращения. Уровень витамина D является низким у 70 % пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата и крайне низким у 22 % пациентов, проходящих плановые процедуры на стопе и голеностоп-

ном суставе. При низком уровне витамина D всасывание кальция и фосфата в кишечнике снижается, вызывая повышение паратиреоидного гормона, приводящее к росту активности остеокластов и снижению плотности костной ткани [18].

V. Anciano et al. провели анализ дефицита витамина D при несращении артродеза стопы и голеностопного сустава. В общей сложности 13 пациентов, у которых развилось несращение, согласились на повышение уровня витамина D, у 11 из них был низкий уровень витамина D (среднее значение = 14,6 нг/мл, диапазон = 9–24 нг/мл). Пяти пациентам выполнен ревизионный артродез после нормализации уровня витамина D, у четырех из пяти пациентов проведено успешное сращение. Авторы сделали вывод, что гиповитаминоз D может быть модифицируемым фактором риска несращения после обширной процедуры артродеза стопы и голеностопного сустава. Хирурги-ортопеды должны рассмотреть возможность скрининга и дополнительного приема витамина D у пациентов, проходящих плановые процедуры артродеза [19].

В контексте коррекции нарушений костного метаболизма перспективным представляется применение комбинированных препаратов, содержащих витамин D3 и K2. Витамин D3 улучшает всасывание кальция, а витамин K2 активирует остеокальцин и матриксный Gla-белок, что способствует направленной минерализации костной ткани и снижает риск кальцификации мягких тканей. Хотя мы в исследовании такие препараты не использовали, их включение в протокол предоперационной подготовки могло бы усилить эффект коррекции метаболических нарушений, особенно у пациентов с остеопорозом или резистентностью к монотерапии витамином D [20].

Из представленных исследований можно заключить, что модифицируемые факторы риска, в том числе нарушение костного метаболизма, увеличивают опасность возникновения несращений при хирургических вмешательствах на стопе и голеностопном суставе, а заблаговременная диагностика и коррекция нарушений костного метаболизма снижают частоту несращений и необходимость повторных операций [21].

В рамках данного исследования мы не проводили оценку гормонального фона (например, уровня паратиреоидного гормона, тестостерона, эстрогенов), что является ограничением работы. Однако учитывая известное влияние эндокринных нарушений на костный метаболизм, мы считаем целесообразным дальнейшее изучение этой взаимосвязи. Скрининг гормонального профиля у всех пациентов перед ревизионными операциями может быть затруднен из-за экономических и организационных ограничений. Мы рекомендуем проводить его выборочно, например, у пациентов с рефрактерными нарушениями минерального обмена или при подозрении на эндокринопатию. Мы также подчеркиваем важность оценки показателей костного метаболизма у пациентов, нуждающихся в ревизионных операциях на стопе, и планируем провести дальнейшее исследование для более глубокого понимания взаимосвязи между костным метаболизмом и исходами хирургического лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Срок от первичной консультации до ревизионной операции был ожидаемо выше в проспективной группе пациентов, что связано с затратами времени на оценку и коррекцию костного метаболизма. Срок консолидации костей в группах не имел статистически значимой разницы. Частота несращений была выше в контрольной группе, где не проводили диагностику и коррекцию костного метаболизма. Это подчеркивает важность своевременной диагностики и лечения, которые могут помочь снизить количество ревизионных операций, связанных с несращением, обусловленным нарушением метаболического обмена костной ткани.

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

Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Thevendran G, Wang C, Pinney SJ, et al. Nonunion Risk Assessment in Foot and Ankle Surgery: Proposing a Predictive Risk Assessment Model. *Foot Ankle Int.* 2015;36(8):901-907. doi: 10.1177/1071100715577789.
2. Greene H, Dodd A, Le I, LaMothe J. Nonunion in foot and ankle arthrodesis surgery: review of risk factors, identification of high-risk patients, and a guide to perioperative testing and optimization. *J Am Acad Orthop Surg.* 2024. doi: 10.5435/JAOS-D-24-00500.
3. Perkins JM, Vacketta VG, Prissel MA. Triple Arthrodesis: How to Manage Failures, Malunion, and Nonunion. *Clin Podiatr Med Surg.* 2023;40(4):649-668. doi: 10.1016/j.cpm.2023.05.008.
4. Brinker MR, O'Connor DP, Monla YT, Earthman TP. Metabolic and endocrine abnormalities in patients with nonunions. *J Orthop Trauma.* 2007;21(8):557-70. doi: 10.1097/BOT.0b013e31814d4dc6.
5. Moore KR, Howell MA, Saltrick KR, Catanzariti AR. Risk Factors Associated With Nonunion After Elective Foot and Ankle Reconstruction: A Case-Control Study. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(3):457-462. doi: 10.1053/j.jfas.2017.01.011.

6. Salari N, Darvishi N, Bartina Y, et al, Mohammadi M. Global prevalence of osteoporosis among the world older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):669. doi: 10.1186/s13018-021-02821-8.
7. Kakagia DD, Karadimas EJ, Stouras IA, Papanas N. The Ageing Foot. *Int J Low Extrem Wounds.* 2023;15347346231203279. doi: 10.1177/15347346231203279.
8. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Strom O, et al. Case finding for the management of osteoporosis with FRAX--assessment and intervention thresholds for the UK. *Osteoporos Int.* 2008;19(10):1395-1408. doi: 10.1007/s00198-008-0712-1.
9. Cosman F, de Beur SJ, LeBoff MS, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2014;25(10):2359-2381. doi: 10.1007/s00198-014-2794-2.
10. Frost HM. Bone's mechanostat: a 2003 update. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2003;275(2):1081-1101. doi: 10.1002/ar.a.10119.
11. Romano F, Serpico D, Cantelli M, et al. Osteoporosis and dermatoporosis: a review on the role of vitamin D. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1231580. doi: 10.3389/fendo.2023.1231580.
12. Rentzeperi E, Pegiou S, Tsakiridis I, et al. Diagnosis and Management of Osteoporosis: A Comprehensive Review of Guidelines. *Obstet Gynecol Surv.* 2023;78(11):657-681. doi: 10.1097/OGX.0000000000001181.
13. Nuti R, Brandi ML, Checchia G, et al. Guidelines for the management of osteoporosis and fragility fractures. *Intern Emerg Med.* 2019;14(1):85-102. doi: 10.1007/s11739-018-1874-2.
14. Chrea B, Day J, Henry J, et al. Influence of complications and revision surgery on fulfillment of expectations in foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int.* 2021;42(7):859-866. doi: 10.1177/1071100720985231.
15. Greer N, Yoon P, Majeski B, Wilt TJ. *Orthobiologics in foot and ankle arthrodesis sites: a systematic review [Internet].* Washington (DC): Department of Veterans Affairs (US); 2020.
16. Chraim M, Recheis S, Alrabai H, et al. Midterm outcome of subtalar joint revision arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2021;42(7):824-832. doi: 10.1177/1071100721995187.
17. Rao NM, Ligas C. The Ankle Joint: Revision Ankle Fusion Options, Nonunion, Malunion, Protocol for Best Outcome. *Clin Podiatr Med Surg.* 2023;40(4):703-710. doi: 10.1016/j.cpm.2023.05.011.
18. Cardoso DV, Veljkovic A. General Considerations About Foot and Ankle Arthrodesis. Any Way to Improve Our Results? *Foot Ankle Clin.* 2022;27(4):701-722. doi: 10.1016/j.fcl.2022.08.007.
19. Anciano V, Tran SK, Carr JB, et al. Incidence of vitamin D deficiency in foot and ankle arthrodesis nonunions. *Cureus.* 2024;16(3):e57028. doi: 10.7759/cureus.57028.
20. van Ballegooijen AJ, Pilz S, Tomaschitz A, et al. The Synergistic Interplay between Vitamins D and K for Bone and Cardiovascular Health: A Narrative Review. *Int J Endocrinol.* 2017;2017:7454376. doi: 10.1155/2017/7454376.
21. Barvencik F. Medication and bone metabolism: Clinical importance for fracture treatment. *Unfallchirurg.* 2015;118(12):1017-1024. (In German). doi: 10.1007/s00113-015-0109-5.

Статья поступила 18.03.2025; одобрена после рецензирования 27.06.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 18.03.2025; approved after reviewing 27.06.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Анатолий Камалович Мурсалов — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, tamerlanmursalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>;

Алексей Михайлович Дзюба — врач — травматолог-ортопед, minzdrav2008@mail.ru;

Мария Сергеевна Рогова — врач — травматолог-ортопед, m.rogorova24@mail.com;

Александр Сергеевич Шипилов — ординатор, shipiloffsasha12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3036-872X>;

Евгений Андреевич Федотов — ординатор, orthodoc.fedotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8211-0184>.

Information about the authors:

Anatoly K. Mursalov — Candidate of Medical Sciences, associate professor at the Department, tamerlanmursalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>;

Alexey M. Dzyuba — orthopaedic surgeon, minzdrav2008@mail.ru;

Mariya S. Rogova — orthopaedic surgeon, m.rogorova24@mail.com;

Alexander S. Shipilov — resident, shipiloffsasha12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3036-872X>;

Eugene A. Fedotov — resident, orthodoc.fedotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8211-0184>.

Original article



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-65-73>

Functional outcome of mid-sole percutaneous plantar fasciotomy versus open plantar fasciotomy in treatment of refractory plantar fasciitis

S.A. Kassab Bashi^{1✉}, Y. Isam²

¹ Mosul General Hospital, Ministry of Health, Mosul, Iraq

² Sinjar General Hospital, Ministry of Health, Mosul, Iraq

Corresponding author: Sayf Aldeen Kassab Bashi, Medicalresearch82@yahoo.com

Abstract

Background Plantar fasciitis is one of the main causes of heel pain, which is one of the most prevalent complaints in foot and ankle clinics. Surgery may be necessary if conservative therapies have failed. The appropriate surgical technique has been debated, open plantar fasciotomy and percutaneous plantar fasciotomy are the two common surgical techniques.

The **aim** of the study is to compare the outcomes of open release versus percutaneous midsole release of the plantar fascia in this study to treat recalcitrant heel pain.

Methods A prospective study was conducted on 54 patients who had unresponsive plantar fasciitis following conservative treatment for at least six months. 20 patients in the 54 enrolled cases had open plantar fascia release, whereas the remaining 34 patients had percutaneous mid-sole plantar fascia release. All patients' surgical outcomes were evaluated using the Foot and Ankle Disability Index (FADI) both before and after the procedure and a follow-up period of one year was used to assess the functional results.

Results The percutaneous plantar fasciotomy group's mean foot and ankle disability index score improved statistically significantly from 39 ± 6 preoperatively to 101 ± 3 postoperatively, compared to 38 ± 5 preoperatively and 98 ± 2 postoperatively for the open plantar fasciotomy group at the final follow-up. Two patients in the percutaneous group experienced numbness at the site of surgery, compared to seven in the open group. By the time of the last follow-up, there had been no recurrence of pain.

Discussion We performed a percutaneous release of the mid-sole plantar fascia with a minimum incision and little dissection. We could thus access the plantar fascia effectively while preserving the surrounding tissues and maintaining optimal cosmetic results. Open plantar fascia release is the most conventional technique. However, disadvantages of the surgery include large wound, longer postoperative recovery time, and potential postoperative occurrence of complex regional pain syndrome.

Conclusion Both open and percutaneous plantar fascia releases resulted in a considerable improvement in the patients' limb function and pain symptoms. The long-term curative results of the two surgical treatments were identical. Due to fewer postoperative problems, percutaneous plantar fascia release is a superior procedure.

Keyword: percutaneous plantar fascia release, heel spur, plantar fasciitis, open plantar fasciotomy, plantar fasciopathy

For citation: Kassab Bashi SA, Isam Y. Functional outcome of mid-sole percutaneous plantar fasciotomy versus open plantar fasciotomy in treatment of refractory plantar fasciitis. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):65-73. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-65-73.



Функциональный результат чрескожной подошвенной фасциотомии по сравнению с открытой подошвенной фасциотомией при лечении пациентов с рефрактерным подошвенным фасциитом

S.A. Kassab Bashi¹✉, Y. Isam²

¹ Mosul General Hospital, Ministry of Health, Mosul, Iraq

² Sinjar General Hospital, Ministry of Health, Mosul, Iraq

Автор, ответственный за переписку: Sayf Aldeen Kassab Bashi, Medicalresearch82@yahoo.com

Аннотация

Введение. Подошвенный фасциит — одна из основных причин боли в пятке, которая относится к наиболее распространенным жалобам в клиниках лечения стопы и голеностопного сустава. При неэффективности консервативной терапии может потребоваться хирургическое вмешательство. Вопрос о выборе хирургического метода остается открытым. Двумя самыми распространенными хирургическими методами являются открытая подошвенная фасциотомия и чрескожная подошвенная фасциотомия.

Цель исследования — сравнить результаты открытого и чрескожного релиза подошвенной фасции.

Методы. Проспективное исследование проведено с участием 54 пациентов с подошвенным фасциитом, консервативное лечение которых не дало результата в течение как минимум шести месяцев. У 20 из 54 включенных в исследование пациентов выполнена открытая мобилизация подошвенной фасции, тогда как у остальных 34 пациентов — чрескожная мобилизация подошвенной фасции в области средней части подошвы. Результаты хирургического лечения всех пациентов оценивали с использованием индекса нарушения функционирования стопы и голеностопного сустава (FADI) до и после операции. Функциональные результаты оценивали через год.

Результаты. Средний показатель индекса функций стопы и голеностопного сустава в группе с чрескожной подошвенной фасциотомией статистически значимо улучшился с (39 ± 6) до операции до (101 ± 3) после операции по сравнению с (38 ± 5) до операции и (98 ± 2) после операции в группе с открытой подошвенной фасциотомией. Онемение в месте операции наблюдали в группе с чрескожной подошвенной фасциотомией у двух, а в группе открытой подошвенной фасциотомии — у семи пациентов. К моменту последнего контрольного осмотра рецидив боли не зарегистрирован.

Обсуждение. Чрескожную мобилизацию средней части подошвенной фасции стопы выполнили через минимальный разрез с незначительной диссекцией. Это позволило получить доступ к подошвенной фасции, сохранив при этом окружающие ткани и обеспечив оптимальные косметические результаты. Открытая мобилизация подошвенной фасции является наиболее распространенной методикой. Однако к недостаткам этой операции относятся большой размер раны, более длительный период послеоперационного восстановления и потенциальное послеоперационное развитие комплексного регионарного болевого синдрома.

Заключение. Как открытая, так и чрескожная подошвенная фасциотомии привели к значительному улучшению функции конечности и уменьшению болевых симптомов у пациентов. Отдаленные результаты двух хирургических методов лечения были идентичны. Благодаря меньшему количеству послеоперационных осложнений чрескожная подошвенная фасциотомия является более эффективной процедурой.

Ключевые слова: чрескожная подошвенная фасциотомия, пяточная шпора, подошвенный фасциит, открытая подошвенная фасциотомия, подошвенная фасциопатия

Для цитирования: Kassab Bashi S.A., Isam Y. Функциональный результат чрескожной подошвенной фасциотомии по сравнению с открытой подошвенной фасциотомией при лечении пациентов с рефрактерным подошвенным фасциитом. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):65-73. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-65-73.

INTRODUCTION

The most frequent cause of plantar heel discomfort is plantar fasciitis, which accounts for one million patient visits annually in the United States of America [1]. Even so, uncertainty surrounds the precise histology of plantar fasciitis. Current theories suggest that it is not caused by an inflammatory process but rather by myxoid degeneration, micro tears in the plantar fascia, collagen necrosis, and angiofibroblastic hyperplasia of the plantar aponeurosis [2]. In fact, a more appropriate term for the condition is plantar fasciosis or plantar fasciopathy; these terms continue to gain traction [3, 4].

The plantar fascia is a densely packed, subcutaneous structure that supports the foot's medial longitudinal arch and runs from the medial tubercle of the calcaneus to the metatarsal heads [5, 6]. It functions as a truss when the foot absorbs stresses in the loading phase of gait, and as a beam for the metatarsals when they experience bending forces, as in gait propulsion [6].

In many cases, patients may not improve after six months or longer of conservative treatment; hence, surgery may be recommended. The technique type is influenced by the three main etiologic factors for heel pain, which are thought to be entrapment neuropathy, plantar fasciitis, and bone spurs [7]. Numerous surgical techniques have been attempted, with varying outcomes and specifics. The most often performed operations include release of the plantar fascia with or without calcaneal spur excision, Steindler stripping, neurolysis of the first branch of the lateral plantar nerve, and endoscopic plantar fasciotomy [8].

A risk factor for plantar fasciitis could be anything that puts mechanical strain on the plantar fascia. Extrinsic and intrinsic factors are the two categories of risk factors. The patient's intrinsic variables include tight calf muscles, decreased ankle dorsiflexion range, obesity, and pes planus and pes cavus [9].

Jogging on hard surfaces, going barefoot, suddenly increasing the volume and/or intensity of one's jogging, and standing for extended periods of time are examples of extrinsic factors that are related to the environment and training [9].

Each year approximately one million office-based physician visits result in a diagnosis of plantar fasciitis [1]. Most patients initially seek care from their primary care physician [1]. Women are more likely than males to suffer from plantar fasciitis, which is most common in those between the ages of 45 and 64 [1, 10]. People with flat (planus) or high-arched (cavus) feet, long-distance runners, military personnel, people in jobs that require a lot of standing, and people who are obese or sedentary are among the other groups who are at risk [10, 11]. Bilateral plantar fasciitis may be seen in up to one-third of the affected individuals [12].

Approximately 85 % to 90 % of patients with plantar fasciitis respond well to non-surgical treatment [12]. Among the methods employed include corticosteroid injections, stretching, counter strain technique, orthoses, rest, over-the-counter (OTC) NSAIDs, ultrasound therapy, and extracorporeal shock wave therapy (ESWT). Eighty percent of individuals treated conservatively do not experience a long-term recurrence of pain, even though treatment may be needed for six months or more [1, 13].

A multimodal evidence-based approach is required for the conservative management of plantar fasciitis, according to current recommendations [14]. Only when conservative treatment has failed for at least six to twelve months is a partial or total plantar fasciotomy recommended [14]. If more than 40 % of the plantar fascia is surgically released, it may negatively impact other foot ligamentous and bony components [15]. However, according to M.S. Davies et al. [16], 75 % of patients who had surgery after failed conservative treatment reported a significant or total improvement in heel pain.

Many operative procedures have been tried with different details and results. The most commonly used procedures are release of the plantar fascia with or without calcaneal spur excision, Steindler stripping, neurolysis of the first branch of the lateral plantar nerve, and endoscopic plantar fasciotomy [17].

H.L. DuVries [18] excised the spur and freed the plantar fascia by making a medial linear incision. H.K. Hassab and A.S. El-Sherif [19] introduced calcaneal decompression using several drill holes from the medial to the lateral cortex of the calcaneus. Complications from these conventional procedures included numbness around the incision and medial heel, delayed wound healing, persistent swelling around the medial heel, plantar fat pad violation, and a stump neuroma within a painful scar after a transected medial calcaneal nerve [20].

The **aim** of the study is to compare the outcomes of open release versus percutaneous midsole release of the plantar fascia in this study to treat recalcitrant heel pain.

MATERIALS AND METHODS

This prospective case series study was conducted in accordance with the 1975 Declaration of Helsinki and ethical guidelines established by the responsible committee for continuing medical education at the Nineveh Health Directorate. Informed consent was obtained from each patient prior to their inclusion in the study.

Two surgeons conducted the operations for this study at the orthopedic department of AL-Mosul General Hospital and Sinjar General Hospital. The study involved 54 patients who underwent surgery in the period from January 2023 and December 2024. The sample was divided into group one (20 patients) treated with open approach for plantar fascia release and group two (34 patients) treated with percutaneous midsole plantar fascia release. Each patient in those two groups was followed up for one year postoperatively

All those patients failed to respond to a conservative trial of at least sixth months. Conservative measures included one or more of the following: activity modification, orthotics, change footwear, non-steroidal anti-inflammatory therapy, physical therapy (ultrasound, stretching, and ice), immobilization, and local steroid injections. According to S.A. Hale and J. Hertel [21] analysis of the sensitivity and reliability of the FADI scales, the former are sensitive to the differences between healthy and CAI (chronic ankle instability) subjects; responsive to functional improvements in CAI subjects following rehabilitation; and reliable in identifying functional limitations in CAI subjects. The Foot and Ankle Disability Index scale (FADI) [21–24] was used as a function-specific self-report. Four stages were used to evaluate the patients using the FADI score (Table 2), and the findings were documented for comparison. Time points recorded are as follows: 1 – one week; 2 – one month; 3 – six months; 4 – one year.

Exclusion criteria

- Patients with peripheral neuropathy;
- Systemic arthropathies;
- Concurrent neurologic symptoms;
- Generalized inflammatory disorders (rheumatoid arthritis or sero-negative disorders);
- Wounds or skin lesions at the plantar aspect of the foot;
- Prior surgery for a painful heel;
- Time of less than six months of complaint.

Surgical technique

Percutaneous Method Technique

Following the delineation of medial and lateral margins of the central band of the plantar fascia, the procedure was performed using local anesthesia with xylocaine 2 % infiltration just distal to the fat pad of the heel. A stab wound done with blade size 15 at the med portion of central band and once the plantar fascia encountered a medial 30–40 % of the band was severed with 3 to 4 movements of the blade from the lateral to medial side, excessive manipulation should be avoided to decrease postoperative scarring (Fig. 1). In most of the cases the wounds were about 3–4 mm and no suturing was required, but if needed the wound margins were approximated with a single stitch prolene 4–0 in simple type suture. A gauze and bandage was applied.

The patients were allowed ambulating the next day as tolerated. Dressing changed at day 5 and stitch was removed on day 14.



Fig. 1. The steps of mid sole percutaneous plantar fasciotomy: a – pre-operative marking; b – mark the site of local anaesthesia; c – site of percutaneous plantar fasciotomy

Open Surgical Technique (Fig. 2)

Under general anaesthesia, supine position, tourniquet of the leg, prep and drape then putting the leg in external rotation and flexing the knee.

A transverse incision of 4 cm was performed on the medial side of the calcaneus, where the dorsal and plantar skins meet. The dissection proceeded superficially to the plantar fascia, where it separates all of the areolar tissue and fibrous bands that secure the skin to the fascia, stripping all the muscle attachment from the entire plantar surface of the calcaneus (Fig. 2). The plantar calcaneal spur was identified and removed using an osteotome chisel with bone mallet. Then half the width of the plantar fascia was divided longitudinally distal to its attachment on the calcaneus bone. The skin was closed in one layer with simple stitch, tourniquet was deflated and dressing with cotton and bandage were applied.

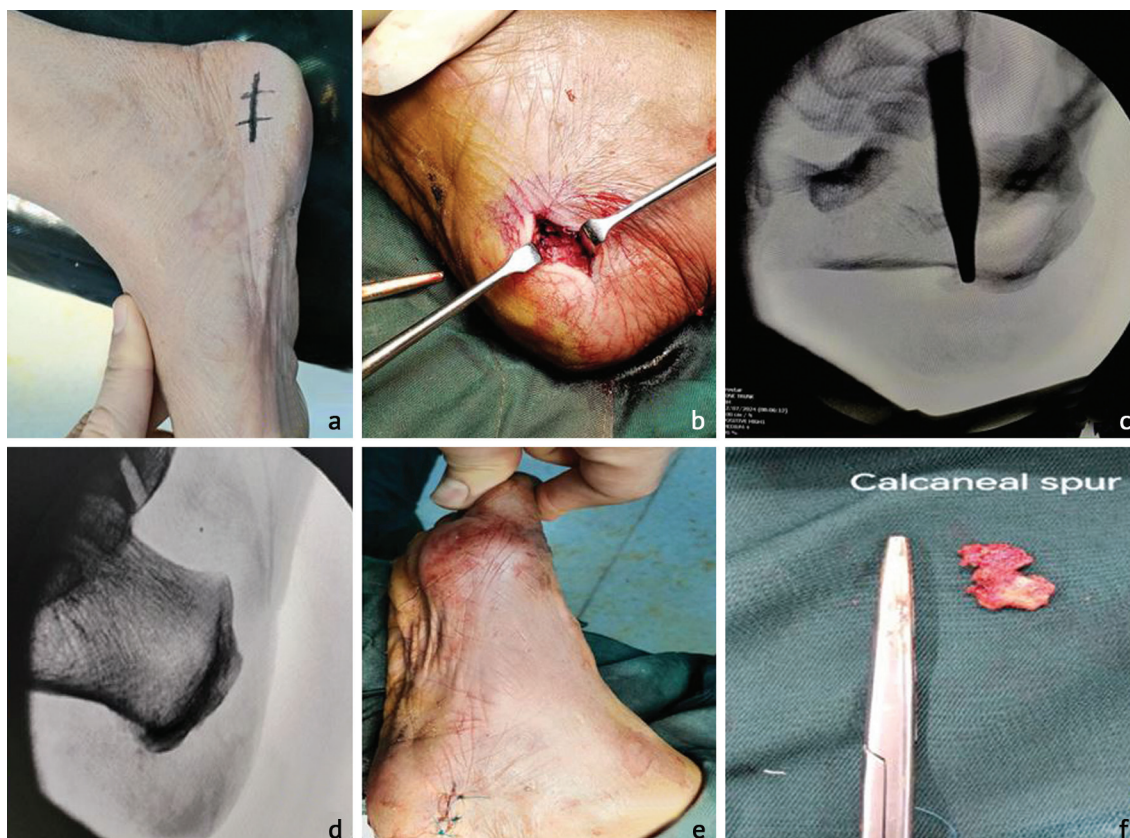


Fig. 2. The steps of traditional open plantar fasciotomy: a — preoperative marking; b — identify the plantar fascia; c — identify the calcaneal spur under fluoroscopy; d — fluoroscopy after excision of spur; e — suture of the wound by 3/0 nylon; f — calcaneal spur

Statistical analysis

Data analysis was done using SPSS (Statistical Package for Social Sciences) software version 26 (IBM Corporation, USA). Mean ($\pm$ standard deviation) were used to present the numerical data, as appropriate. Paired t test was used to compare change from baseline to post procedure values. Student's t-test was used to compare numerical variables between the two. Chi-squared test was used to compare categorical variables. A p value of < 0.05 was considered statistically significant for all statistical tests.

RESULTS

The study included 54 subjects; the mean age was 44.6 ± 5.2 years, with 18 (33.3 %) males and 36 (66.7 %) females. Thirty-four of them (63 %) had percutaneous method of surgical treatment, while the other 20 (37 %) had open method of surgical treatment. There was no significant difference in terms of age, gender, or job between those who received the percutaneous method of surgical treatment and those who received the open method ($p > 0.05$), although the percutaneous method subjects tended to be younger (mean age 43.5 years), Table 1.

Mean FADI (Foot and Ankle Disability Index) scores at various time points before and after the procedures for each method showed significant improvement from pre-procedure to each of post-procedure follow up at one week, one month, 6 months, and one year ($p < 0.01$ in all comparisons of pre-procedure versus each of the post-procedure time point (Table 2).

Table 1

Comparison of demographic characteristics between the groups of percutaneous and open methods ($n = 54$)

Characters		Percutaneous Method ($n = 34$)	Open Method ($n = 20$)	p -value
Age (years), mean $\pm$ SD		43.5 $\pm$ 4.8	46.4 $\pm$ 5.4	0.068
Gender	Male	9 (26.5 %)	9 (45 %)	0.163
	Female	25 (73.5 %)	11 (55 %)	
Job	Home maker	16 (47.1 %)	9 (45 %)	0.798
	Worker	6 (17.6 %)	5 (25 %)	
	Employee	12 (35.3 %)	6 (30 %)	

Table 2

Comparison of the mean of FADI score from pre-procedure to different time points post-procedure, stratified by percutaneous method and open method, with comparison between the two groups ($n = 54$)

Time point	Percutaneous method (<i>n</i> = 34)	Open method (<i>n</i> = 20)	<i>p</i> -value comparing between two groups
	FADI score		
Pre-procedure	39 ± 6	38 ± 5	0.404
1 week post	67 ± 14	52 ± 4	< 0.001
1 month post	86 ± 12	65 ± 4	< 0.001
6 months post	95 ± 5	83 ± 5	< 0.001
1 year post	101 ± 3	98 ± 2	< 0.001

Comparing the FADI scores between the two groups, the mean FADI score at pre-procedure was 39 for the percutaneous group and 38 for the open group, with no significant difference ($p = 0.404$), while at later follow-up FADI scores were significantly better (higher) in the percutaneous group: at 1 week post-procedure, the percutaneous group showed a significantly higher FADI score with its mean of 67 versus 52 for the open group ($p < 0.001$), at one-month post-procedure, the percutaneous group showed a significantly higher FADI score with the mean of 86 versus 65 for the open group ($p < 0.001$). Similarly, at 6 months and one year post-procedure, the percutaneous group showed a significantly higher FADI score with the mean of 95 and 101 (at 6 months and one year, respectively) versus 83 and 98 (at 6 months and one year, respectively) for the open group ($p < 0.001$ for both comparisons).

Figure 3 illustrates the significant improvement in the mean FADI score over time with each procedure, and highlights the significantly higher FADI scores in the subjects who underwent the percutaneous method compared to the open method.

Looking at the rate of complications, operative site numbness occurred in only 5.9 % of the subjects in the percutaneous group, compared to 35 % in the open group, with a significant difference ($p = 0.007$), indicating that the percutaneous method had less incidence of this complication. Intermittent wound infection, there was none reported in the percutaneous group (0 %), while 5 % of the open group experienced this complication, with no significant difference (p -value = 0.834), Table 3.

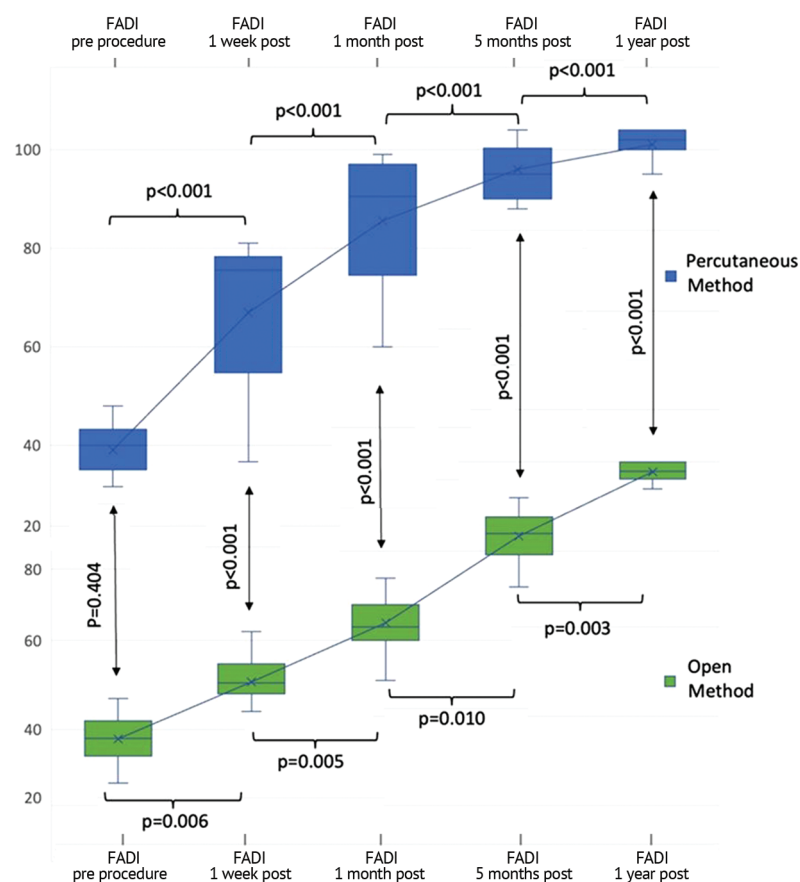


Fig. 3. Comparisons in the mean of FADI score from pre-procedure to different time points post-procedure, stratified by percutaneous method and open method, with comparison between the two groups

Table 3

Comparison of complications between the groups of percutaneous and open methods ($n = 54$)

Complication	Percutaneous Method (n = 34)	Open Method (n = 20)	p-value
	No. (%)		
Operative site numbness	2 (5.9)	7 (35)	0.007
Wound infection	0	1 (5)	0.834

In summary, the data suggests that the percutaneous method results in better functional outcomes (higher FADI scores) at all post-procedure time points compared to the open method, with fewer complications, particularly operative site numbness.

DISCUSSION

Plantar fasciitis is a common condition that results in heel pain due to inflammation of plantar fascia. Relieving heel pain and inflammation are the main objectives of treatment for plantar fasciitis.

It is prevalent among adults in the age between 40 and 70 years old. Employees who work standing, runners, and obese patients with a body mass index (BMI) of greater than 30 kg/m² are the high-risk groups experiencing more severe pain. In light of this, the American Orthopaedic Foot and Ankle Society advise patients with plantar fasciitis to undergo conservative treatment for at least six months prior to surgery [25–30].

When conservative treatments fail to provide relief for refractory plantar fasciitis, surgical options may be considered like the traditional medial heel open release of plantar fascia or mini open midsole plantar fascia release with or without calcaneal decompression by multiple drilling. In our study, we compare the medial open plantar fascia release and the percutaneous midsole plantar fascia release without calcaneal drilling. The open technique leads to larger and more painful scars, requires significantly more dissection, has a longer postoperative recovery period, and can lead to numbness and nerve entrapment [25].

In a 1998 retrospective analysis, it was discovered that the miniinvasive group returned to preoperative activities the quickest, whereas the open heel spur group took the longest time to recover [26].

We performed a percutaneous release of the mid-sole plantar fascia with a minimum incision and little dissection, which ensured a simple operation with fewer adhesions after surgery and a shorter recovery period.

An important consideration for the outcome of this surgical treatment is the location of the incision. Employing a small transverse incision, we can access the plantar fascia effectively while preserving the surrounding tissues and maintaining optimal cosmetic results. The positioning of the incision not only adheres to anatomical considerations, allowing for better surgical exposure and access, but also aligns with physiological principles that reduce postoperative discomfort and minimize complications associated with scarring.

Furthermore, the technique promotes faster healing as the incision mimics the natural lines of tension within the skin, allowing for more efficient tensile strength and alignment during the recovery process. Overall, this approach enhances the surgical outcome by balancing effective intervention with patient comfort and aesthetic considerations [27].

The ideal amount of plantar fascia release is a topic of debate. S.L. Barrett and S.V. Day [28] recommended total plantar fascia resection. However, after more experience and assessment of postoperative problems, they recommended releasing only the medial portion of the plantar fascia. They believed that if the lateral fibers of the plantar fascia remained intact, the calcaneocuboid joint's locking mechanism would remain intact. This mechanism is essential for foot biomechanics during walking and running and aids in maintaining the foot arch, surgeons aim to preserve this stability while still alleviating the pain associated with plantar fasciitis by addressing the inflamed or degenerated medial portion [29–31].

Barrett and Day initially proposed complete resection of the plantar fascia but later adjusted their stance based on clinical experiences and outcomes. Their recommendation to only release the medial one-third of the plantar fascia aims to reduce the risk of complications such as instability of the foot, excessive dorsal flexion, and over-pronation, which can arise from more extensive procedures [28].

The study findings demonstrated that percutaneous plantar fascia release had a lower average operating time than open plantar fascia release. As previously noted, we owe this outcome to the very straightforward operation process of the method. Our postoperative protocol called for immediate weight-bearing and little activity. By doing so, the plantar fascia would be put under tension, preserving the fasciotomy site and preventing fibrosis and re-adherence. At the most recent follow-up, none of our patients experienced any issues with the stability of their lateral column. The most conventional technique is open plantar fascia release. The results state that 50–95 % of patients were satisfied with their open release procedure

after surgery [32, 33]. However, disadvantages of the surgery include large wound, longer postoperative recovery time, and potential postoperative occurrence of complex regional pain syndrome.

Compared to standard open medial release, the mid-sole plantar fasciotomy had fewer problems; however, a plantar incision carries the risk of severe plantar fibrosis, delayed healing, and plantar scarring [28]. In our study, none of the patients developed plantar fibrosis and scarring. Only two patients (5.9 %) developed operation site numbness. However, in the standard open medial plantar fascia release numbness at operation site occurred in 7 patients (35 %) of the open method group.

Calcaneal spur is another name for calcaneal osteophytes. A number of researchers thought that calcaneal osteophytes were a major cause of heel discomfort, and some even called it calcaneal osteophyte syndrome [34].

According to K.S. Johal and S.A. Milner research, plantar fasciitis and calcaneal osteophytes are positively correlated. However, the asymptomatic calcaneal osteophytes could not be explained by the concept [35].

In this study, no calcaneal osteophyte resection was performed on any of the patients in the percutaneous plantar fasciotomy group.

All patients had significant improvement postoperatively. We might have hypothesized that the frequency of heel discomfort and calcaneal osteophytes did not significantly correlate.

Limitation

Our findings may be impacted by a number of factors due to the prospective study design limitations, including selection bias, a small sample size, and the absence of a long-term follow-up period, in contrast to randomized clinical trials. So, further studies are recommended to assess the efficacy of mid-sole release of the plantar fascia with long-term follow-up needed to evaluate the long-term results regarding the instability and recurrence.

CONCLUSION

Our research indicates that patients with refractory plantar fasciitis can benefit greatly from both open and percutaneous plantar fascia release in terms of pain relief and limb function. Percutaneous midsole plantar fascia release may be a preferable choice when choosing surgical therapies for refractory plantar fasciitis because it has demonstrated higher postoperative function scores.

Conflict of interest Not declared.

Funding None.

REFERENCES

- Riddle DL, Schappert SM. Volume of ambulatory care visits and patterns of care for patients diagnosed with plantar fasciitis: a national study of medical doctors. *Foot Ankle Int.* 2004;25(5):303-310. doi: 10.1177/107110070402500505.
- Lemont H, Ammirati KM, Usen N. Plantar fasciitis: a degenerative process (fasciosis) without inflammation. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2003;93(3):234-237. doi: 10.7547/87507315-93-3-234.
- Hossain M, Alexander P, Burls A, Jobanputra P. Foot orthoses for patellofemoral pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;(1):CD008402. doi: 10.1002/14651858.CD008402.pub2.
- McNeill W, Silvester M. Plantar heel pain. *J Bodyw Mov Ther.* 2017;21(1):205-211. doi: 10.1016/j.jbmt.2016.11.001.
- Dyck DD Jr, Boyajian-O'Neill LA. Plantar fasciitis. *Clin J Sport Med.* 2004;14(5):305-309. doi: 10.1097/00042752-200409000-00010.
- Petraglia F, Ramazzina I, Costantino C. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017;7(1):107-118. doi: 10.11138/mltj/2017.7.1.107.
- Sinnaeve F, Vandeputte G. Clinical outcome of surgical intervention for recalcitrant infero-medial heel pain. *Acta Orthop Belg.* 2008;74(4):483-488.
- Nuhmani S. Plantar fasciitis: a review of current concepts. *Indian J Basic Appl Med Res.* 2012;2(5):414-418.
- Beeson P. Plantar fasciopathy: revisiting the risk factors. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(3):160-165. doi: 10.1016/j.fas.2014.03.003.
- Owens BD, Wolf JM, Seelig AD, et al. Risk Factors for Lower Extremity Tendinopathies in Military Personnel. *Orthop J Sports Med.* 2013;1(1):2325967113492707. doi: 10.1177/2325967113492707.
- Ballas MT, Tytko J, Cookson D. Common overuse running injuries: diagnosis and management. *Am Fam Physician.* 1997;55(7):2473-84.
- Schepers AA, Leach RE, Gorzyca J. Plantar fasciitis. Etiology, treatment, surgical results, and review of the literature. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(266):185-196.
- Banerjee R, Chao JC, Taylor R, Siddiqui A. Management of calcaneal tuberosity fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(4):253-258. doi: 10.5435/JAAOS-20-04-253.
- Thomas JL, Christensen JC, Kravitz SR, et al. The diagnosis and treatment of heel pain: a clinical practice guideline-revision 2010. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49(3 Suppl):S1-19. doi: 10.1053/j.jfas.2010.01.001.
- Cheung JT, An KN, Zhang M. Consequences of partial and total plantar fascia release: a finite element study. *Foot Ankle Int.* 2006;27(2):125-132. doi: 10.1177/107110070602700210.
- Davies MS, Weiss GA, Saxby TS. Plantar fasciitis: how successful is surgical intervention? *Foot Ankle Int.* 1999;20(12):803-807. doi: 10.1177/107110079902001209.
- League AC. Current concepts review: plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2008;29(3):358-366. doi: 10.3113/FAI.2008.0358.
- DuVries HL. Heel spur (calcaneal spur). *AMA Arch Surg.* 1957;74(4):536-542. doi: 10.1001/archsurg.1957.01280100054008.
- Hassab HK, el-Sherif AS. Drilling of the os-calcis for painful heel with calcaneal spur. *Acta Orthop Scand.* 1974;45(1):152-157. doi: 10.3109/17453677408989133.
- Zirm RL, Jimenez AL. Results of heel spur surgery. In: DiNapoli DR (ed.). *Reconstructive Surgery of the Foot and Leg, Update 1990.* Tucker: Podiatry Institute Publishing; 1990:199-201.

21. Hale SA, Hertel J. Reliability and Sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in Subjects With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train*. 2005;40(1):35-40.
22. Eechaute C, Vaes P, Van Aerschoot L, et al. The clinimetric qualities of patient-assessed instruments for measuring chronic ankle instability: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:6. doi: 10.1186/1471-2474-8-6.
23. Carcia CR, Martin RL, Drouin JM. Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2008;43(2):179-183. doi: 10.4085/1062-6050-43.2.179.
24. Martin RL, Irrgang JJ. A survey of self-reported outcome instruments for the foot and ankle. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(2):72-84. doi: 10.2519/jospt.2007.2403.
25. O'Malley MJ, Page A, Cook R. Endoscopic plantar fasciotomy for chronic heel pain. *Foot Ankle Int*. 2000;21(6):505-510. doi: 10.1177/107110070002100610.
26. Bazaz R, Ferkel RD. Results of endoscopic plantar fascia release. *Foot Ankle Int*. 2007;28(5):549-556. doi: 10.3113/FAI.2007.0549.
27. Butterworth M. How to address complications of plantar fascia release. *Podiatry Today*. 2010;23(11):1-5.
28. Barrett SL, Day SV. Endoscopic plantar fasciotomy: two portal endoscopic surgical techniques--clinical results of 65 procedures. *J Foot Ankle Surg*. 1993;32(3):248-256.
29. Liew SK, Saw A, Chua YP. Foot Arch Changes after Endoscopic Plantar Fascia Release for Recalcitrant Plantar Fasciitis. *Malays Orthop J*. 2022;16(2):78-86. doi: 10.5704/MOJ.2207.010.
30. Riddle DL, Pulisic M, Pidcoe P, Johnson RE. Risk factors for Plantar fasciitis: a matched case-control study. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(5):872-877. doi: 10.2106/00004623-200305000-00015.
31. Luffy L, Grosel J, Thomas R, So E. Plantar fasciitis: A review of treatments. *JAAPA*. 2018;31(1):20-24. doi: 10.1097/01.JAA.0000527695.76041.99.
32. Cole C, Seto C, Gazewood J. Plantar fasciitis: evidence-based review of diagnosis and therapy. *Am Fam Physician*. 2005;72(11):2237-2242.
33. Davies MS, Weiss GA, Saxby TS. Plantar fasciitis: how successful is surgical intervention? *Foot Ankle Int*. 1999;20(12):803-807. doi: 10.1177/107110079902001209.
34. Lane GD, London B. Heel spur syndrome: a retrospective report on the percutaneous plantar transverse incisional approach. *J Foot Ankle Surg*. 2004;43(6):389-394. doi: 10.1053/j.jfas.2004.09.004.
35. Johal KS, Milner SA. Plantar fasciitis and the calcaneal spur: Fact or fiction? *Foot Ankle Surg*. 2012;18(1):39-41. doi: 10.1016/j.fas.2011.03.003.

The article was submitted 10.02.2025; approved after reviewing 30.06.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Статья поступила 10.02.2025; одобрена после рецензирования 30.06.2025; принята к публикации 08.12.2025.

Information about the authors: No information provided.

Contribution of the authors:

Sayf Aldeen Kassab Bashi — Conceptualization; Data Curation; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Writing — original draft and Writing — review & editing.

Yasir Isam — Conceptualization; Data Curation; Investigation; Methodology; Resources; Software; Visualization; Writing — original draft and Writing — review & editing.



Влияние обуви с перекатной подошвой на распределение подошвенного давления у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава

А.В. Скребцов^{1✉}, В.Г. Процко^{1,2}, В.В. Скребцов¹, Н.В. Загородний^{2,3}, С.К. Тамоев¹, В.К. Никитина¹

¹ Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Владимирович Скребцов, Skrebtsovallex@mail.ru

Аннотация

Введение. Хирургическая тактика лечения больных остеоартритом первого плюснефалангового сустава 3–4 стадий является общепринятой. Однако при наличии противопоказаний или отсутствии желания пациента к проведению оперативного вмешательства применяют различные варианты консервативной терапии: НПВС, ортопедические стельки, физиотерапию, медикаментозные блокады. При этом роли ортопедической обуви часто не уделяют должного внимания.

Цель работы — оценить результаты динамической внутриобувной педобарографии при использовании стандартной обуви и обуви с перекатной подошвой у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава 3–4 стадий.

Материалы и методы. Анализ подошвенного давления при использовании стандартной обуви пациента и обуви с перекатной подошвой методом проведен 12 пациентам. Оценивали основные биомеханические параметры, позволяющие оценить силу, скорость передвижения и распределения подошвенного давления.

Результаты. В результате анализа полученных результатов внутриобувной динамической педобарографии при использовании в обуви с перекатной подошвой выявлено значимое снижение значений показателей пикового ($p = 0,011$) и среднего ($p = 0,019$) давления для всей стопы и для переднего отдела стопы ($p = 0,029$). Отмечено уменьшение длительности фазы опоры ($p = 0,027$). Не выявлено изменений скорости ходьбы ($p = 0,604$), длительности фазы переноса ($p = 0,495$) и длительности цикла шага ($p = 0,721$).

Обсуждение. Снижение показателей пикового подошвенного давления и силы в переднем отделе стопы при использовании обуви с перекатной подошвой у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава обусловлено ограничением экстензии плюснефаланговых суставов, перераспределением нагрузки на задний и средний отделы стопы.

Заключение. У пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава выявлено значимое снижение показателей подошвенного давления и силы в переднем отделе стопы при использовании обуви с перекатной подошвой в сравнении с ходьбой в обуви со стандартной подошвой при отсутствии отличий временных показателей и скорости ходьбы.

Ключевые слова: Hallux rigidus, остеоартрит, обувь с перекатной подошвой, rocker bottom shoes, педобарография

Для цитирования: Скребцов А.В., Процко В.Г., Скребцов В.В., Загородний Н.В., Тамоев С.К., Никитина В.К. Влияние обуви с перекатной подошвой на распределение подошвенного давления у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава. *Гений ортопедии*. 2026;32(2):74–81. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-74-81.

Original article



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-74-81>

Effect of rocker bottom shoes on plantar pressure distribution in patients with osteoarthritis of first metatarsophalangeal joint

A.V. Skrebtsov^{1✉}, V.G. Protsko^{1,2}, V.V. Skrebtsov¹, N.V. Zagorodniy^{2,3}, S.K. Tamoev¹, V.K. Nikitina¹

¹ Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

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

³ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Alexander V. Skrebtsov, Skrebtsovaalex@mail.ru

Abstract

Introduction Surgical strategy for patients with grades 3–4 osteoarthritis (OA) of the first metatarsophalangeal (MPT) joint is generally accepted. There is a variety of conservative treatments including NSAIDs, orthopedic insoles, physical therapy and pharmacological blockade to be offered for patients having contraindications or unwilling to undergo surgery. However, the role of orthopedic footwear can be underestimated.

The **aim** of the study was to evaluate results of dynamic in-shoe pedobarography with standard shoes and rocker bottom shoes used by patients with grades 3–4 OA of first MPT joint.

Material and methods Plantar pressure was evaluated in 12 patients wearing standard shoes and rocker bottom shoes. Major biomechanical parameters were analyzed to evaluate the force, walking speed and distribution of plantar pressure.

Results The in-shoe dynamic pedobarography revealed a significant decrease in the values of peak ($p = 0.011$) and average ($p = 0.019$) pressure for the whole foot and the forefoot ($p = 0.029$) with use of rocker bottom shoes. A decreased length of the stance phase was noted ($p = 0.027$). No changes were found in walking speed ($p = 0.604$), duration of the swing phase ($p = 0.495$) and duration of the step cycle ($p = 0.721$).

Conclusion A significant decrease in plantar pressure and the force in the forefoot was observed in patients with first MPT joint OA using rocker bottom shoes compared to those using shoes with a standard sole, with no differences in time indicators and walking speed.

Keywords: hallux rigidus, osteoarthritis, rocker bottom shoes, pedobarography

For citation: Skrebtsov AV, Protsko VG, Skrebtsov VV, Zagorodniy NV, Tamoev SK, Nikitina VK. Effect of rocker bottom shoes on plantar pressure distribution in patients with osteoarthritis of first metatarsophalangeal joint. *Genij Ortopedii*. 2026;33(2):74–81. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-74-81.

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит (АО) первого плюснефалангового сустава (1 ПФС) является одной из наиболее часто встречаемых патологий стопы. В 79 % случаев диагностируют двухстороннюю локализацию, при этом чаще данное заболевание наблюдают у лиц женского пола [1]. Так как наиболее часто заболевания поражает пациентов средней возрастной категории, основные клинические проявления, такие как боль, ограничение движений в суставе в далеко зашедших стадиях заболевания, могут приводить к нарушению трудоспособности пациента [2, 3].

В более тяжелых стадиях заболевания общепринятой является хирургическая тактика лечения, которая может включать артродезирование, эндопротезирование 1 ПФС, а также хейлэктомии и укорачивающие остеотомии первой плюсневой кости [4, 5].

При наличии противопоказаний к хирургическому вмешательству или отсутствии желания пациента к его проведению может возникнуть необходимость консервативного лечения как основного. Консервативное лечение при остеоартрите первого плюснефалангового сустава является комбинированным и заключается в приёме НПВС, физиотерапии, ношении специализированных ортопедических стелек [6, 7]. Несмотря на широкое распространение разнообразных ортопедических изделий, часто недостаточное внимание уделяют подбору ортопедической обуви, которая позволяет значительно помочь в устранении болевого синдрома при повседневной физической активности [8, 9].

В настоящее время для оценки изменений кинематики нижних конечностей широко используют динамическую педобарографию [10, 11], повторяемость и воспроизводимость ее использования подтверждены научными публикациями [12, 13].

Цель работы — оценить результаты динамической внутриобувной педобарографии при использовании стандартной обуви и обуви с перекатной подошвой у пациентов с остеоартритом первого плюснефалангового сустава 3–4 стадий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования: проспективное одноцентровое нерандомизированное когортное исследование.

В исследование включены пациенты, которым было запланировано лечение в ГКБ им. С.С. Юдина по поводу остеоартрита первого плюснефалангового сустава 3–4 ст.

Критерии включения:

- согласие пациента на участие в исследовании;
- клинически и рентгенологически подтвержденный диагноз «остеоартрит первого плюснефалангового сустава 3–4 ст.»;
- запланированное оперативное вмешательство по поводу ОА 1 ПФС;
- возраст пациента 18 лет и старше;
- возможность пройти без необходимости отдыха 100 м и более;
- наличие закрытой обуви пациента, позволяющей провести исследование;
- отсутствие в обуви пациента ортопедических стелек.

Критерии не включения:

- ранее проведенные оперативные вмешательства по поводу ОА 1 ПФС;
- сопутствующая патология нижних конечностей;
- сопутствующие системные заболевания;
- приём НПВС в предыдущие 2 нед.;
- внутрисуставные инъекции в предыдущие 3 мес.

Отбор пациентов для исследования производили по время консультативного приёма заранее или во время госпитализации накануне оперативного вмешательства.

Диагноз «остеоартрит первого плюснефалангового сустава 3–4 ст.» выставлен консультирующим врачом на основании сбора анамнеза, клинического осмотра, результатов рентгенологических исследований (рис. 1).



Рис. 1. Рентгенография дорсально-плантарной проекции одного из пациентов, включенных в исследование: рентгенологические признаки OA 1 ПФС обеих стоп

В исследуемую группу включены 12 пациентов: девять (75 %) женщин и три (25 %) мужчины. Средний возраст пациентов — 63,3 года (45–71).

Среднее значение болевого синдрома в исследуемой группе согласно визуальной аналоговой шкале (ВАШ) равнялось ($7,0 \pm 2,3$) баллам (от 3 до 10), по результатам анкетирования по AOFAS HS (англ.: American Orthopedic Foot and Ankle Society Hallux Scale) — ($47,6 \pm 14,1$) баллам (27–69). Амплитуда движений 1 ПФС составила ($11,6 \pm 6,5$)° (5–25).

Обследование пациентов состояло из определения объема движений в первом плюснефаланговом суставе с помощью гониометра, оценки выраженности болевого синдрома по ВАШ, шкале AOFAS, динамической педобарографии в обуви пациента (рис. 2) и ортопедической обуви с закругленной в переднезаднем направлении подошвой (рис. 3).



Рис. 2. Примеры стандартной обуви пациентов



Рис. 3. Ортопедическая обувь с перекатной подошвой

Анализ шага

Исследования проводил по единому протоколу один исследователь. Первое исследование проведено в стандартной обуви, второе — в обуви с перекатной подошвой. После периода адаптации (15 мин. ходьбы), пациентам выполняли тестовые четыре проходы в стандартной обуви по 10 м каждая в помещении с твердым покрытием. Из анализа исключали первый и последний шаги. После повторяли данное исследование для обуви с перекатной подошвой. Нами не было установлено количество шагов для каждого исследования ввиду разной длины шага пациентов. Скорость шага пациент выбирал произвольно.

Внутриобувную динамическую педобарографию производили с помощью комплекса Tekscan F-Scan64 (Tekscan Inc), которая представляет собой стельку толщиной 0,229 мм, снабженную 64 датчиками 100 Hz (один датчик на 1 см²), область измерения давления — 852 кПа. Внутриобувные датчики были присоединены к передатчику, который с помощью соединения Bluetooth транслировал данные на персональный компьютер. Для оценки и анализа полученных данных использовали специализированное программное обеспечение.

Размер стельки подбирали для каждого пациента индивидуально в зависимости от размера его обуви. Определяли: пиковое давление (кПа), среднее давление (кПа), силу (кг), скорость ходьбы (шагов/мин), временные характеристики фаз шага (сек). Распределение по областям стопы происходило в автоматизированном режиме с помощью программного обеспечения.

Статистический анализ

Результаты, полученные в процессе исследования, анализировали с помощью статистической программы Jamovi 2.6.13. Проверку на нормальность распределения проводили с помощью критерия Шапиро – Уилка. При нормальном распределении данные представлены в виде средних значений с указанием минимального и максимального значений. В ненормальных выборках распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей. Анализ подошвенного давления производили с помощью параметра U Манна – Уитни для двух независимых групп. Статистическую достоверность определяли с помощью p -критерия 5 % ($p \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении биомеханических показателей пациентов ходьбы в стандартной обуви и в обуви с перекатной подошвой не отмечено статистически значимой разницы в скорости ходьбы, времени фаз переноса, времени цикла шага и времени контакта обеих стоп с опорой (табл. 1).

Выявлено статистически значимое снижение значений показателей пикового и среднего давления, времени фазы опоры при ходьбе в обуви с перекатной подошвой в сравнении с обычной обувью. При анализе показателей силы отмечена разница общей силы и силы в переднем отделе стопы. При этом изменения показателей силы заднего отдела стопы не выявлены (табл. 2, 3).

Таблица 1

Значения временных показателей цикла шага

Показатель шага	Значения показателей		p
	Обычная подошва	Перекатная подошва	
Скорость ходьбы, шагов/мин	$46,80 \pm 3,70$ (41,20–51,00)	$48,01 \pm 4,60$ (41,20–50,90)	0,604
Время цикла шага, сек	$1,28 \pm 0,90$ (1,17–1,46)	$1,21 \pm 0,15$ (1,18–1,44)	0,721
Фаза опоры, сек	$0,73 \pm 0,09$ (0,71–0,87)	$0,63 \pm 0,09$ (0,47–0,83)	0,027
Фаза переноса, сек	$0,55 \pm 0,10$ (0,44–0,66)	$0,56 \pm 0,10$ (0,47–0,66)	0,495

Таблица 2

Показатели силы и времени исследуемых групп

Область стопы	Сила, кг			Время контакта, сек		
	Обычная подошва	Перекатная подошва	p	Обычная подошва	Перекатная подошва	p
Задний отдел стопы	$53,9 \pm 27,8$ (33,7–85,5)	$57,1 \pm 27,3$ (43,4–117,7)	0,088	$0,53 \pm 0,12$ (0,4–0,64)	$0,56 \pm 0,09$ (0,5–0,67)	0,706
Передний отдел	$83,7 \pm 30,2$ (60,9–139,7)	$51,6 \pm 20,6$ (28,6–68,4)	0,020	$0,52 \pm 0,12$ (0,45–0,62)	$0,53 \pm 0,12$ (0,45–0,67)	0,847
Вся стопа	$134,3 \pm 43,9$ (99,7–183,7)	$84,6 \pm 30,7$ (55,0–138,2)	0,026	$0,71 \pm 0,90$ (0,64–0,82)	$0,70 \pm 0,20$ (0,67–0,72)	0,216

Таблица 3

Показатели давления

Вид давления	Обычная подошва	Перекатная подошва	p
Пиковое давление, кПа	$759,3 \pm 196,7$ (568–961)	$412,7,4 \pm 222,3$ (255–667)	0,011
Среднее давление, кПа	$386,0 \pm 103,2$ (313–566)	$217,0 \pm 94,5$ (208–420)	0,019

Анализ пикового и среднего давления при ходьбе в собственной обуви пациентов позволяет сделать вывод, что у 10 (83,3 %) пациентов пиковое давление определялось в переднем отделе стопы (рис. 4).

При использовании обуви с перекатной подошвой в семи (70 %) из 10 случаев пиковое давление стопы определялось в заднем отделе стопы. При этом нами не отмечено статистически значимой разницы значений пикового давления ($p = 0,101$) и силы ($p = 0,088$) в заднем отделе стопы при ходьбе в стандартной обуви и в обуви с перекатной подошвой. Это позволяет сделать вывод о том, что изменения переката происходят за счёт уменьшения показателей переднего отдела стопы.

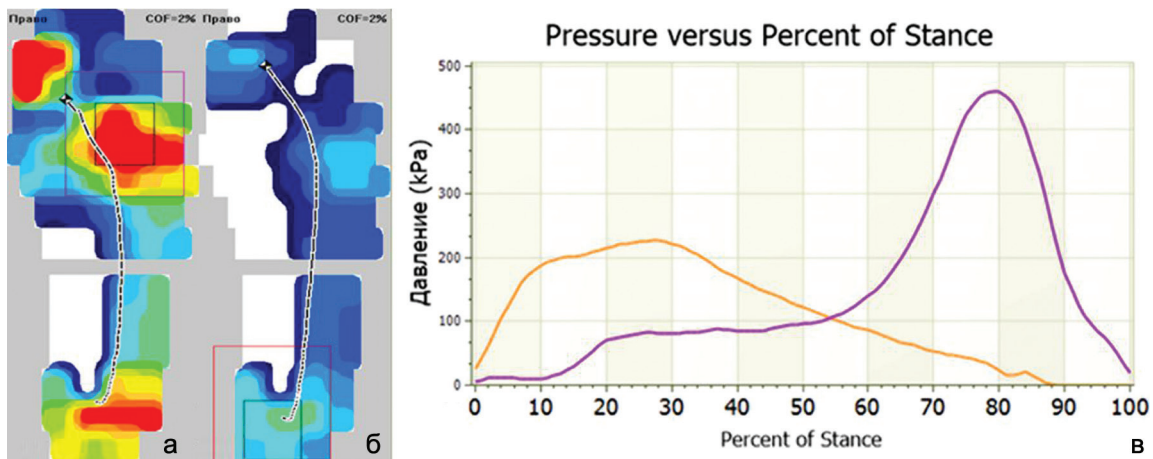


Рис. 4. Результаты динамической педобарографии пациента: а — распределения давления при ходьбе в обычной обуви; б — изображение распределения давления при ходьбе в обуви с перекатной подошвой; в — графическое отображение изменения распределения давления при ходьбе в стандартной обуви (маркировка графика оранжевым цветом) и обуви с перекатной подошвой (маркировка графика фиолетовым цветом). Уменьшение индикации красного цвета отображает выраженное снижение подошвенного давления при ходьбе в ортопедической обуви. В обуви с перекатной подошвой зона пикового давления смещена область заднего отдела стопы. Квадратный индикатор красного цвета подтверждает изменение локализации зоны максимального давления

ОБСУЖДЕНИЕ

Движения 1 ПФС являются крайне важной составляющей частью биомеханики стопы. Экстензия 1 ПФС в процессе переката через передний отдел стопы обуславливает работу «механизма лебедки», обеспечивающего поднятие внутреннего продольного свода, супинацию заднего отдела стопы и, как следствие, энергетически эффективный пальцевый толчок в пропульсивной фазе шага [2].

Нарушение движений 1 ПФС приводит к изменениям биомеханики походки, при этом отмечают уменьшение пикового давления под головкой первой плюсневой кости [14]. Происходит внутренняя ротация стопы, и центр давления в процессе шага смещается латерально, при этом увеличивается нагрузка в латеральном отделе стопы, и наблюдают перегрузку малых лучей [15]. Данные изменения соответствуют low-gear перекату, который осуществляется через косую ось, соединяющую вторую и пятую плюсневую кости [16]. Также у пациентов с ограниченной амплитудой движений 1 ПФС можно наблюдать пронацию заднего отдела стопы [17].

Мы встретили ограниченное количество публикаций, оценивающих долгосрочные результаты консервативного лечения пациентов с ОА 1 ПФС [18]. Наиболее крупным исследованием, оценивающим результаты консервативного лечения ОА 1 ПФС, является работа J. Grady et al. [19]. Эффективность лечения, которую оценивали авторы на основании снижения уровня болевого синдрома, составила 55 %, при этом 84 % пациентов использовали ортопедические стельки.

Применение ортопедических стелек при консервативном лечении больных ОА 1 ПФС основано на нескольких подходах. Первый заключается в ограничении экстензии 1 ПФС и снижении времени нагрузки на первый луч, при этом подходе используют стельки Мортон, имеющие продленный каркас в проекции 1 ПФС (рис. 5). Однако данный метод имеет недостаток, — еще большая латерализация вектора нагрузки при перекате через передний отдел стопы [20]. Как отмечено выше, ограничение движений 1 ПФС также может быть вызвано пронацией заднего отдела стопы.

Второй подход консервативного лечения при ОА 1 ПФС основан на формировании внутреннего продольного свода и коррекции пронации заднего отдела стопы, для чего применяют стельки с коском-супинатором [21]. Однако ортопедические стельки занимают дополнительное место в обуви, их применение может быть затруднительным из-за наличия костно-хрящевых экзостозов в проекции 1 ПФС и, как следствие, ограниченного пространства в переднем отделе стопы. В этом случае принципиальным становится вопрос подбора обуви для данной группы пациентов.



Рис. 5. Стелька Мортон с продленным каркасом в проекции 1 ПФС

Обувь с перекатной подошвой является одной из наиболее часто используемых модификаций терапевтической обуви, которую широко используют пациенты с различной патологией стопы и голеностопного сустава [22, 23]. Несмотря на то, что значение обуви в лечении пациентов с ОА 1 ПФС отмечали еще в начале XX века, на сегодняшний день имеется ограниченное количество публикаций, посвященных этой теме [24, 25].

Закругленная форма подошвы стимулирует перекат стопы за счёт формы в момент, когда вес тела проходит через точку опоры [26]. Распределение давления в данном случае происходит преимущественно на средний отдел стопы [27]. За счёт конструктивной особенности подошвы, которая обеспечивается смягчающими и жёсткими вставками, происходят дополнительная амортизация во время пяточного удара и ограничение экстензии в переднем отделе стопы, что дополнительно усиливает эффект формы подошвы. Ограничения движений суставов стопы в сагиттальной плоскости влияют на кинематику нижних конечностей [28, 29]. Ограничение движений 1 ПФС приводит к искусственному уменьшению эффективности работы «механизма лебедки», которая у пациентов с ОА 1 ПФС 3–4 ст. нарушена за счёт выраженного ограничения движений 1 ПФС. Также отмечают снижение силы пальцевого толчка в процессе переката через передний отдел стопы, более длительную фазу двойной опоры, меньшие колебание центра массы тела и длины шага [9, 30, 31]. Однако обувь с перекатной подошвой не оказывает влияния на скорость передвижения, что совпадает с результатами нашего исследования [32].

Ограничения экстензии 1 ПФС у пациентов с ОА за счёт полужесткой и закругленной подошвы подошвой в области носка обуви с перекатной подошвой приводят к снижению интенсивности болевого синдрома. Также данная форма подошвы позволяет снизить нагрузку и давление в проекции переднего отдела стопы [33], что подтверждено результатами нашего исследования, и увеличить значение показателей пикового давления и силы в заднем отделе стопы [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты внутриобувной динамической педобарографии подтверждают снижение значений подошвенного давления и силы у пациентов с ОА 1 ПФС при использовании обуви с перекатной подошвой в сравнении с показателями, зарегистрированными при ходьбе в стандартной обуви. Отмечается отсутствие влияния перекатной подошвы на скорость ходьбы и временные показатели шага. Снижение пикового подошвенного давления и силы происходит преимущественно за счет переднего отдела стопы.

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

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

Этическая экспертиза. Неприменима.

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

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int.* 2003;24(10):731-743. doi: 10.1177/107110070302401002.
- Yee G, Lau J. Current concepts review: hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2008;29(6):637-646. doi: 10.3113/FAI.2008.0637.
- Senga Y, Nishimura A, Ito N, et al. Prevalence of and risk factors for hallux rigidus: a cross-sectional study in Japan. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):786. doi: 10.1186/s12891-021-04666-y.
- Котельников Г.П., Николаенко А.Н., Гранкин И.О. и др. Эволюция эндопротезирования первого плюснефалангового сустава. *Гений ортопедии.* 2024;30(2):309-319. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-309-319.
- Скребцов В.В., Процко В.Г., Скребцов А.В. и др. Оригинальная модель гемизендопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии. *Гений ортопедии.* 2024;30(6):889-896. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-889-896.
- Yearson DJ, Melendez I, Anain F, et al. Therapeutic option for patients with severe hallux rigidus. *J Foot Ankle.* 2022;16(3):264-269. doi: 10.30795/jfootankle.2022.v16.1640.
- Acker AS, Mendes de Carvalho KA, Hanselman AE. Hallux Rigidus: Update on Conservative Management. *Foot Ankle Clin.* 2024;29(3):405-415. doi: 10.1016/j.fcl.2023.09.010.
- Rosenfield JS, Trepan E. Treatment of sesamoid disorders with a rocker sole shoe modification. *Foot Ankle Int.* 2000;21(11):914-915. doi: 10.1177/107110070002101104.
- Sobhani S, van den Heuvel E, Bredeweg S, et al. Effect of rocker shoes on plantar pressure pattern in healthy female runners. *Gait Posture.* 2014;39(3):920-925. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.12.003.
- Долганова Т.И., Тепленький М.П., Олейников Е.В. Приспособительные стереотипы опорных реакций стоп у больных с диспластическим коксартрозом. *Гений ортопедии.* 2012;(4):67-73.
- Долганова Т.И., Мартель И.И., Наричин В.А. Количественный и качественный анализ динамоплантограмм у пациентов с повреждениями таранной кости после лечения по методу Г.А. Илизарова. *Гений ортопедии.* 2010;(3):105-111.
- Patrick K, Donovan L. Test-retest reliability of the Tekscan® F-Scan® 7 in-shoe plantar pressure system during treadmill walking in healthy recreationally active individuals. *Sports Biomech.* 2018;17(1):83-97. doi: 10.1080/14763141.2017.1355010.
- Simonsson S, Tranberg R, Züchner R, Tang UH. Reliability of F-Scan® in-shoe plantar pressure measurements in people with diabetes at risk of developing foot ulcers. *Foot (Edinb).* 2023;56:102027. doi: 10.1016/j.foot.2023.102027.

14. Canseco K, Long J, Marks R, et al. Quantitative characterization of gait kinematics in patients with hallux rigidus using the Milwaukee foot model. *J Orthop Res*. 2008;26(4):419-427. doi: 10.1002/jor.20506.
15. Rajan R, Mishra A. A systematic review of total arthroplasty and arthrodesis for end-stage hallux rigidus: A biomechanical perspective. *Foot (Edinb)*. 2021;49:101838. doi: 10.1016/j.foot.2021.101838.
16. Bojsen-Møller F. Calcaneocuboid joint and stability of the longitudinal arch of the foot at high and low gear push off. *J Anat*. 1979;129(Pt 1):165-176.
17. Gatt A, Mifsud T, Chockalingam N. Severity of pronation and classification of first metatarsophalangeal joint dorsiflexion increases the validity of the Hubscher Manoeuvre for the diagnosis of functional hallux limitus. *Foot (Edinb)*. 2014;24(2):62-65. doi: 10.1016/j.foot.2014.03.001.
18. Smith RW, Katchis SD, Ayson LC. Outcomes in hallux rigidus patients treated nonoperatively: a long-term follow-up study. *Foot Ankle Int*. 2000;21(11):906-913. doi: 10.1177/107110070002101103.
19. Grady JF, Axe TM, Zager EJ, Sheldon LA. A retrospective analysis of 772 patients with hallux limitus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2002;92(2):102-108. doi: 10.7547/87507315-92-2-102.
20. Sánchez-Gómez R, López-Alcorocho J, Nuñez-Fernandez A, et al. Morton's Extension on Hallux Rigidus Pathology. *Prosthesis*. 2023;5(1):251-263. doi: 10.3390/prosthesis5010019.
21. Welsh BJ, Redmond AC, Chockalingam N, Keenan AM. A case-series study to explore the efficacy of foot orthoses in treating first metatarsophalangeal joint pain. *J Foot Ankle Res*. 2010;3:17. doi: 10.1186/1757-1146-3-17.
22. Cho NS, Hwang JH, Chang HJ, et al. Randomized controlled trial for clinical effects of varying types of insoles combined with specialized shoes in patients with rheumatoid arthritis of the foot. *Clin Rehabil*. 2009;23(6):512-521. doi: 10.1177/0269215508101737.
23. Rosenfield JS, Trepman E. Treatment of sesamoid disorders with a rocker sole shoe modification. *Foot Ankle Int*. 2000;21(11):914-915. doi: 10.1177/107110070002101104.
24. Hoffmann P. Conclusions drawn from a comparative study of the feet of barefooted and shoe-wearing peoples. *Am J Orthop Surg*. 1905;3(2):105-136.
25. Menz HB, Auhl M, Tan JM, et al. Biomechanical Effects of Prefabricated Foot Orthoses and Rocker-Sole Footwear in Individuals With First Metatarsophalangeal Joint Osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2016;68(5):603-611. doi: 10.1002/acr.22743.
26. Myers KA, Long JT, Klein JP, et al. Biomechanical implications of the negative heel rocker sole shoe: gait kinematics and kinetics. *Gait Posture*. 2006;24(3):323-330. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.10.006.
27. Brown D, Wertsch JJ, Harris GF, et al. Effect of rocker soles on plantar pressures. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(1):81-86. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00374-5.
28. Chen CY, Yeh YD, Chen YC, et al. The rocker-soled shoes change the kinematics and muscle contractions of the lower extremity during various functional movement. *Sci Rep*. 2022;12(1):20523. doi: 10.1038/s41598-022-25116-2.
29. Hutchins S, Bowker P, Geary N, Richards J. The biomechanics and clinical efficacy of footwear adapted with rocker profiles--evidence in the literature. *Foot (Edinb)*. 2009;19(3):165-170. doi: 10.1016/j.foot.2009.01.001.
30. Grewal GS, Bharara M, Menzies R, et al. Diabetic peripheral neuropathy and gait: does footwear modify this association? *J Diabetes Sci Technol*. 2013;7(5):1138-1146. doi: 10.1177/193229681300700506.
31. Mueller MJ, Minor SD, Sahrman SA, et al. Differences in the gait characteristics of patients with diabetes and peripheral neuropathy compared with age-matched controls. *Phys Ther*. 1994;74(4):299-308; discussion 309-313. doi: 10.1093/ptj/74.4.299.
32. van Schie C, Ulbrecht JS, Becker MB, Cavanagh PR. Design criteria for rigid rocker shoes. *Foot Ankle Int*. 2000;21(10):833-844. doi: 10.1177/107110070002101007.
33. Fuller E, Schroeder S, Edwards J. Reduction of peak pressure on the forefoot with a rigid rocker-bottom postoperative shoe. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2001;91(10):501-507. doi: 10.7547/87507315-91-10-501.
34. Sobhani S, van den Heuvel ER, Dekker R, et al. Biomechanics of running with rocker shoes. *J Sci Med Sport*. 2017;20(1):38-44. doi: 10.1016/j.jsams.2016.04.008.

Статья поступила 12.05.2025; одобрена после рецензирования 21.05.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 21.05.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Александр Владимирович Скребцов — врач — травматолог-ортопед, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;
 Виктор Геннадьевич Процко — доктор медицинских наук, профессор кафедры, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;
 Владимир Владимирович Скребцов — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;
 Николай Васильевич Загородний — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>;
 Саргон Константинович Тамоев — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, заведующий отделением, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;
 Виктория Константиновна Никитина — врач — травматолог-ортопед, <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>.

Information about the authors:

Alexander V. Skrebtsov — orthopaedic surgeon, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;
 Victor G. Protsko — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;
 Vladimir V. Skrebtsov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;
 Nikolay V. Zagorodnyi — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>;
 Sargon K. Tamoev — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of the Department, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;
 Victoria K. Nikitina — orthopaedic surgeon, <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>.

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.



Хирургическое лечение пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt с применением индивидуально изготовленных резекционных шаблонов

В.В. Кузнецов^{1✉}, И.А. Пахомов³, В.В. Платонов^{1,2}, В.Г. Процко^{1,2}, В.В. Скребцов¹, С.К. Тамоев¹, С.А. Оснач¹, Н.В. Загородний², А.Г. Самохин³

¹ Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

³ Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Василий Викторович Кузнецов, vkuznecovniito@gmail.com

Аннотация

Введение. Переломы пяточной кости составляют около 2 % всех переломов и чаще встречаются у молодых трудоспособных пациентов. Лечение данных пострадавших часто затруднено из-за одновременного повреждения суставов и мягкотканых структур. При наиболее сложных и редких переломах 4–5 типа по классификации Zwipp – Rammelt традиционные методы лечения часто неэффективны, что требует разработки новых хирургических подходов.

Цель работы — изучить краткосрочные (10 месяцев наблюдения) исходы лечения пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt с использованием новой технологии, предполагающей повышение точности ремоделирующей остеотомии за счет трехмерной реконструкции поврежденных отделов стопы на этапе предоперационного планирования и создания индивидуальных резекционных шаблонов методом аддитивных технологий.

Материалы и методы. Проведено проспективное гипотезопорождающее исследование 13 пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt (6 мужчин, 7 женщин; средний возраст — $(45,5 \pm 13,02)$ лет). Лечение всех пациентов выполняли по разработанному способу, включающему: 3D-моделирование поврежденных отделов стопы на основе данных МСКТ, изготовление индивидуальных резекционных шаблонов методом FDM-печати, их стерилизацию оксидом этилена и последующую прецизионную остеотомию пяточной кости через L-образный доступ с подтаранным артродезом. Оценку результатов проводили по шкалам AOFAS, EFAS, FFI и VAS при сроке наблюдения 77 недель.

Результаты. Спустя 10 месяцев после лечения отмечено значительное улучшение функциональных показателей: EFAS — в 2,5 раза (до 34,0 баллов, $p = 0,0002$), AOFAS — в 1,6 раза (до 80,0 баллов, $p = 0,0002$), FFI — в 1,57 раза (до 38,0 баллов, $p = 0,0002$). Болевой синдром по VAS снизился вдвое с 60 до 30 мм ($p = 0,001$).

Обсуждение. Благодаря возможности многоплоскостных остеотомий, точной фиксации шаблона и контролю параметров резекции способ имеет ряд преимуществ, обеспечивая более точное анатомическое восстановление.

Заключение. Краткосрочные наблюдения пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt показали, что применение индивидуальных резекционных шаблонов позволяет улучшить точность хирургического вмешательства и функциональные исходы, снижает выраженность болевого синдрома, подтверждая эффективность методики.

Ключевые слова: неправильно консолидированный перелом пяточной кости, посттравматическая деформация заднего отдела стопы, артроз подтаранного сустава, подтаранный артродез, пяточная кость, корригирующая остеотомия пяточной кости, индивидуальные резекционные шаблоны, аддитивные технологии

Для цитирования: Кузнецов В.В., Пахомов И.А., Платонов В.В., Процко В.Г., Скребцов В.В., Тамоев С.К., Оснач С.А., Загородний Н.В., Самохин А.Г. Хирургическое лечение пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt с применением индивидуально изготовленных резекционных шаблонов. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):82-96. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-82-96.



Surgical treatment of type IV Zwiip – Rammelt calcaneal fractures using customized resection templates

V.V. Kuznetsov¹✉, I.A. Pakhomov³, V.V. Platonov^{1,2}, V.G. Protsko^{1,2}, V.V. Skrebtsov¹, S.K. Tamoev¹, S.A. Osnach¹, N.V. Zagorodniy², A.G. Samokhin³

¹ City Clinical Hospital named after. S.S. Yudina, Moscow, Russian Federation

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

³ Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Russian Federation

Corresponding author: Vasily V. Kuznetsov, vkuznecovniito@gmail.com

Abstract

Introduction Calcaneal fractures account for approximately 2 % of all fractures and are common in younger population. Treatment of the patients can be challenging with involved articular and soft tissue component. Conventional methods can be ineffective for complex and rare type IV and type V Zwiip – Rammelt fractures necessitating development of new surgical approaches.

The **objective** was to explore short-term (10 months of observation) outcomes of patients with type IV Zwiip – Rammelt calcaneal fractures using a new technology. The technique suggested improved accuracy of remodeling osteotomy due to three-dimensional reconstruction of the broken foot during preoperative planning and creation of customized resection templates with additive technologies.

Material and methods A prospective, hypothesis-generating study was performed for 13 patients with type IV Zwiip – Rammelt calcaneal fractures. There were 6 males and 7 females with the mean age of 45.5 ± 13.02 years. The patients were treated with the new method which employed 3D reconstruction of the broken foot using MSCT images, fabrication of customized resection templates using FDM printing, their sterilization with ethylene oxide, precision osteotomy of the calcaneus through an L-shaped approach and subtalar arthrodesis. The results were assessed at 77 weeks using AOFAS, EFAS, FFI and VAS scales.

Results Functional parameters significantly improved at ten months with the EFAS increased by 2.5 times (to 34.0 scores, $p = 0.0002$), AOFAS improved by 1.6 times (to 80.0 scores, $p = 0.0002$), FFI increased by 1.57 times (to 38.0 scores, $p = 0.0002$). Pain improved with the VAS decreasing by half from 60 mm to 30 mm ($p = 0.001$).

Discussion The technique demonstrated several advantages with the possibility of multiplanar osteotomies, precise template fixation and control of resection parameters facilitating anatomical restoration.

Conclusion Short-term outcomes of patients with type IV Zwiip – Rammelt calcaneal fractures showed that custom-made resection templates were practical for accurate surgical technology, improved functional outcomes, pain relief using the effective technique.

Keywords: malunited calcaneal fracture, posttraumatic deformity of the hindfoot, subtalar arthrosis, subtalar arthrodesis, calcaneus, correcting osteotomy of the calcaneus, customized resection templates, additive technologies

For citation: Kuznetsov VV, Pakhomov IA, Platonov VV, Protsko VG, Skrebtsov VV, Tamoev SK, Osnach SA, Zagorodniy NV, Samokhin AG. Surgical treatment of type IV Zwiip – Rammelt calcaneal fractures using customized resection templates. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):82-96. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-82-96.

ВВЕДЕНИЕ

Переломы пяточной кости встречаются с частотой около 2 % от всех переломов костей скелета, одновременно составляя до 70 % переломов предплюсны, в 10–12 % случаев сочетаются с переломами позвоночника [1]. Пострадавшими в большинстве случаев являются молодые трудоспособные люди. Примечательно, что до сих пор нет эпидемиологических исследований на больших выборках наблюдений о частоте инвалидизации в результате переломов пяточной кости [2]. Последствия переломов пяточной кости являются сложной проблемой для диагностики и лечения из-за совокупности грубых внесуставных деформаций пяточной кости, поражений мягкотканых структур, включая сосуды и нервы стопы [3, 4]. В связи с этим к настоящему времени в среде профессионалов сформировался консенсус о необходимости совершенствования методов диагностики и лечения последствий переломов пяточной кости [5].

Консервативное лечение хотя и является малоэффективным, однако вполне приемлемо в качестве предоперационной подготовки пациента к хирургическому лечению, являющемуся, по общему мнению, основным методом.

С учетом использования современных классификаций посттравматических деформаций пяточной кости, таких как Zwiip – Rammelt, выстраивается достаточно стройная диагностическая и клиническая тактика лечения [6]. В медицинском сообществе к настоящему моменту сформировалось понимание того, что выполнение подтаранного артродеза *in situ* показано при наличии симптомов подтаранного остеоартроза при повреждениях 1 типа по Zwiip – Rammelt, а дистракционный подтаранный артродез показан при поражениях 2–3 типа по Zwiip – Rammelt (не исключая одновременные остеотомии по типу Dwyer, Romash и др.). Совершенствование методов хирургического лечения позволяет использовать артроскопическую, перкутанную и другие техники, о чем свидетельствуют данные литературы [7]. В современных дискуссиях о лечении пациентов с перечисленными типами повреждений пяточной кости средней тяжести также встречаются рекомендации о сохранении подтаранного сустава, несмотря на длительный срок после травмы (1 год и более) [8]. Допускается и возможность отказа от костной пластики дефектов пяточной кости в расчете на самостоятельное их восполнение, но у авторов наблюдается единство мнений о необходимости стабильной фиксации фрагментов, как правило, винтами и пластинами [9].

Однозначная неэффективность приведенных выше операций заставляет исследователей всего мира искать новые подходы к лечению данной очень тяжелой категории пациентов. Несмотря на известные закономерности перелома пяточной кости, существует разнообразие вариантов консолидации костных фрагментов в порочном положении, что требует индивидуального подхода к планированию хирургического лечения.

Из литературы, посвященной реконструктивной хирургии последствий травм пяточной кости, можно выделить патогенетическое направление лечения данных поражений, характеризующееся стремлением вернуть деформированной пяточной кости форму, максимально близкую к анатомически неизменной. Основоположителем этого направления является М.М. Romash, предложивший в 1993 г. косую остеотомию пяточной кости и продолжающий развитие этого направления в наше время, используя преимущества современных методов диагностики [10, 11]. Следующей вехой развития считается метод реконструкции таламической части пяточной кости, предложенный Yu Guang-Rong, который можно расценивать как попытку реконструкции исходной анатомии пяточной кости при последствиях ее перелома 4–5 типа по Zwiip – Rammelt [12, 13].

Несмотря на накопленный мировой опыт, сложности диагностики и лечения отмечены при устранении последствий переломов пяточной кости, консолидированных в порочном положении, относящимся к поражениям 4–5 типу по Zwiip – Rammelt, наиболее тяжелым по характеру и одновременно редким. Подчас такие повреждения бывают осложнены асептическими некрозами участков пяточной кости, дегенеративными изменениями смежных суставов, патологической ориентацией таранной кости в пространстве и т.д., что усугубляет клиническую картину и дополнительно затрудняет подходы к лечению пациентов.

Цель работы — изучить краткосрочные (10 месяцев наблюдения) исходы лечения пациентов с последствиями переломов пяточной кости 4 типа по Zwiip – Rammelt с использованием новой технологии, предполагающей повышение точности ремоделирующей остеотомии за счет трехмерной реконструкции поврежденных отделов стопы на этапе предоперационного планирования и создания индивидуальных резекционных шаблонов методом аддитивных технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика исследуемой популяции

В исследовании использованы данные лечения 13 пациентов с посттравматическими деформациями пяточной кости 4 типа по классификации Zwipp – Rammelt, отобранные в период с апреля 2023 г. по апрель 2025 г. Срок наблюдения пациентов составлял не менее 10 месяцев с момента выполнения хирургического лечения. Коллектив авторов получил от пациентов согласие на участие в настоящем исследовании и публикацию результатов без идентификации личности пациентов.

В ходе проведенного скрининга отобрано 15 пациентов, удовлетворяющих критериям включения, из них в базе данных на момент ее закрытия было 13 пациентов, вошедших в окончательный анализ результатов в полном соответствии с протоколом исследования. Ввиду ожидаемой малочисленности пациентов настоящее исследование не предусматривало процедур ослепления и рандомизации и было спланировано как проспективное гипотезопорождающее исследование серии случаев со сплошным набором пациентов, соответствующих критериям включения в исследование.

В исследование включены шесть мужчин (46,2 %) и семь женщин (53,8 %), средний возраст — $(45,5 \pm 13,02)$ лет, индекс массы тела (ИМТ) — $(27,4 \pm 5,84)$ кг/м², избыточный (предожирение).

Медиана срока последующего наблюдения пациентов составила 77 недель (минимум — 41, максимум — 106 недель), или около 1,5 лет с момента выполнения хирургического лечения.

Критерии включения в исследование: возраст от 18 до 70 лет, независимо от половой принадлежности; посттравматические деформации пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt.

Критерии не включения: активный инфекционный процесс, неконтролируемый сахарный диабет с сопутствующей нейропатией, артропатия Шарко, критическая ишемия конечности, облитерирующий атеросклероз, нервно-мышечные нарушения с параличом, декомпенсированные системные заболевания, психоневрологические расстройства.

Методы клинических и инструментальных измерений

Для оценки результатов лечения использованы данные рентгенографии, мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), а также шкалы и опросники оценки функционального и клинического состояния стопы и голеностопного сустава: AOFAS Ankle-Hindfoot (*англ.*: American Orthopedic Foot & Ankle Society), EFAS (*англ.*: European Foot and Ankle Society), FFI (*англ.*: Foot Function Index) и визуальная аналоговая шкала боли VAS [17–20]. Указанные диагностические инструменты применены как до лечения, так и в период последующего наблюдения пациентов.

Биостатистический анализ

Для описания показателей, отобранных в ходе исследования, использована описательная статистика. Для интервальных переменных, ввиду небольших выборок, рассчитаны медиана и квартили, мода, минимальные и максимальные значения в выборке. Внутригрупповые сравнения интервальных переменных выполнены непараметрическим ранговым методом Уилкоксона. В связи с малым размером исследуемой выборки табулированные результаты для интервальных переменных представлены посредством непараметрической статистики в виде медианы и первого и третьего квартилей (Me [Q1; Q3]).

Ввиду эксплораторного гипотезопорождающего характера исследования расчет размера минимально необходимой выборки не производили. Учитывая дизайн, спланированный как исследование серии случаев, группу контроля в исследование не вводили (сопоставление результатов проведено с доступным литературным материалом), процедур ослепления и рандомизации не применяли. Статистический анализ данных исследования выполнен при помощи программного обеспечения IBM SPSS v25.0.

Технология изготовления индивидуального резекционного шаблона пяточной кости [16]

На первом этапе готовят индивидуальный резекционный шаблон, который впоследствии будет применен при хирургическом вмешательстве. Для этого с использованием проектировочного программного обеспечения на основе результатов МСКТ-исследования пациента создают виртуальную модель пяточной кости (рис. 1). В ходе второго этапа методом 3D-печати по технологии FDM из пластмассы (РА2200) изготавливают собственно резекционный блок (рис. 2, а), который тестируют на пластиковом макете поврежденной стопы для проверки конгруэнтности поверхностей изделия и анатомических структур стопы (рис. 2, б). Готовый имплантат стерилизуют методом газовой стерилизации оксидом этилена в соответствии с ГОСТ ISO 11135 при температуре от 30 до 55 °С.

Для точного позиционирования инструмента при резекции шаблон оснащают опилочными направляющими для полотна маятниковой пилы. Их ориентация соответствует линиям консолидации фрагментов, определенным при 3D-реконструкции стопы. Модель предусматривает три ключевые точки фиксации: передний отросток пяточной кости, дистальный полюс малоберцовой кости и бугор пяточной кости, что обеспечивает стабильность во время операции.

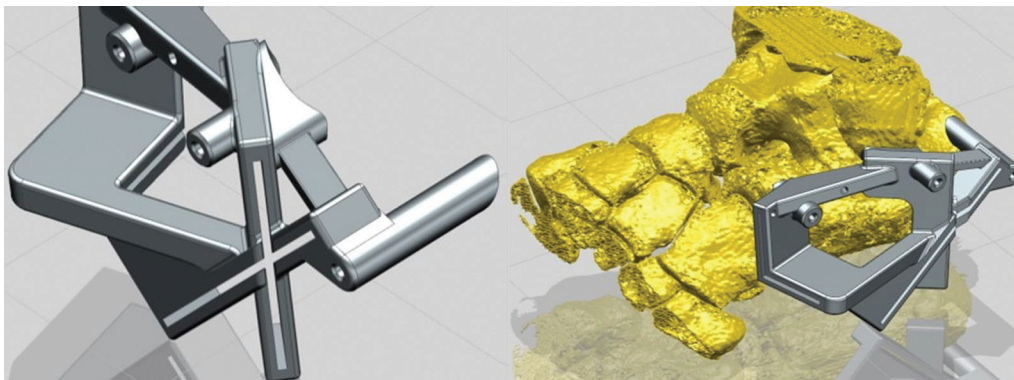


Рис. 1. Индивидуальный резекционный блок пяточной кости: компьютерная 3D-модель резекционного шаблона и виртуальная схема интраоперационного позиционирования индивидуального резекционного шаблона на трехмерной реконструкции пяточной кости пациента

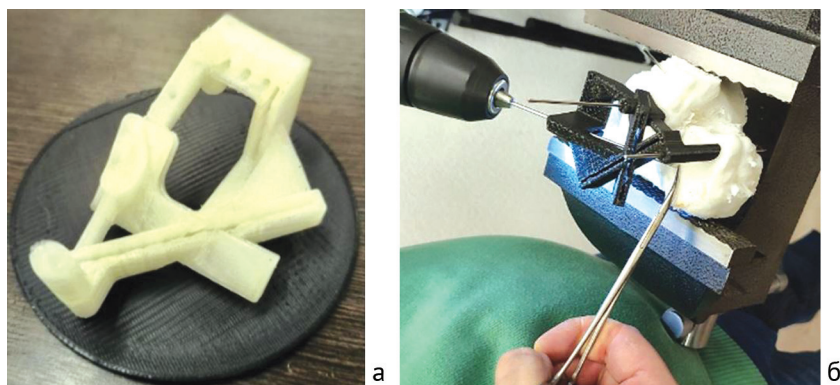


Рис. 2. Индивидуальный резекционный опилочный блок из материала PA2200 (а); предоперационное тестирование блока на пластиковой модели повреждённой стопы пациента (б)

Техника оперативного вмешательства

Нogu обрабатывают в условиях чистой операционной в положении на здоровом боку с обескровливанием конечности путем наложения пневмомокута. Обработку операционного поля проводят согласно стандартному протоколу, включающему двукратную антисептическую подготовку кожи раствором повидон-йода (10 %) или хлоргексидина биглюконата (0,5 %). В пяточной области выполняют L-образный доступ к пяточной кости, послойно рассекают кожу, подкожно-жировую клетчатку, фасцию, избегая повреждения икроножного нерва. Проводят скелетирование пяточной кости единым кожно-фасциальным лоскутом до обнажения ее латеральной стенки, дистального полюса малоберцовой кости и подтаранного сустава. Выполняют установку индивидуального резекционного шаблона на выбранные в ходе предоперационного планирования точки фиксации с помощью спиц Киршнера диаметром 2 мм.

Осциляторной пилой по пазам в шаблоне, соответствующим линиям консолидации, осуществляют остеотомию, после чего мобилизуют фрагменты пяточной кости (рис. 3). С сочленяющихся поверхностей подтаранного сустава удаляют остатки суставного хряща и рубцы до кровотокающей субхондральной кости с использованием тонкого остеотома, кюреток, круглых и овальных буров разного диаметра. Вслед за этим проводят многонаправленную остеоперфорацию суставных поверхностей спицей Киршнера диаметром 2 мм.

По завершении остеоперфорации выполняют окончательное вправление костных фрагментов пяточной кости и подтаранный артродез погружными металлоконструкциями в положении, близком к анатомически правильному. Образовавшиеся дефекты костной ткани заполняют аутоотрансплантатом, полученным во время операции. Пневматический жгут снимают, проводят гемостаз, рану послойно закрывают узловыми швами без натяжения, дренируют, накладывают стерильную повязку. Имобилизацию стопы и голеностопного сустава выполняют глубокой задней съемной гипсовой шиной в нейтральном положении стопы.

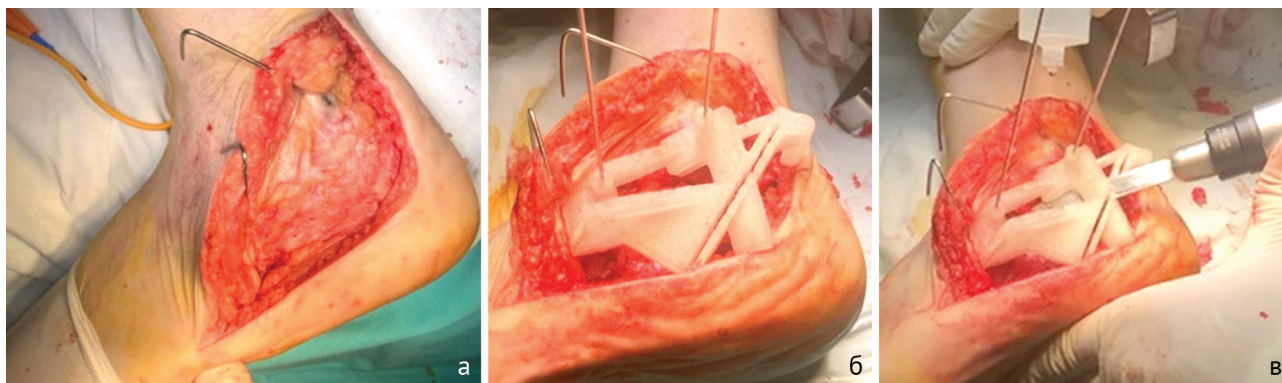


Рис. 3. Этапы хирургического вмешательства: а — выполнение расширенного L-образного доступа к пяточной кости с формированием кожно-фасциального лоскута; б — позиционирование и фиксация индивидуального резекционного шаблона на опорных точках с использованием спиц Киршнера диаметром 2 мм; в — проведение многоплоскостной (ремоделирующей) остеотомии пяточной кости с применением осциляторной пилы в соответствии с направляющими шаблона

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величины описательных статистик для шкаловых параметров у исследуемых пациентов, прооперированных с применением разработанного нами метода, представлены в табл. 1. Исходные характеристики пациентов до выполнения лечения: по шкале FFI отмечена высокая медианная величина, свидетельствующая о значительных ограничениях функциональных и повседневных возможностей пациентов. Это также подтверждается зарегистрированными низкими медианными величинами по шкалам AOFAS Ankle-Hindfoot, EFAS и высокими значениями медианы болевых ощущений по VAS в 60 мм (табл. 1), что говорит о наличии выраженных функциональных ограничений и одновременно выраженных болевых ощущениях, а также об их негативном влиянии на общее самочувствие пациентов.

Исходы хирургического лечения на момент завершения участия пациентов в исследовании характеризовались значительным улучшением показателей по всем анализируемым шкалам (табл. 1). Величина медианы по шкале EFAS возросла почти в 2,5 раза относительно исходного значения, — до 34,0 [33,00; 38,00] баллов ($Z\text{-score} = -3,182$; $p = 0,0002$). По шкале AOFAS Ankle-Hindfoot медиана значений возросла в 1,6 раза, — до 80,0 [76,00; 91,00] баллов ($Z\text{-score} = -3,184$; $p = 0,0002$). По шкале FFI медианные показатели улучшились в 1,57 раза, — до 38,0 [34,00; 47,00] баллов ($Z\text{-score} = -3,180$; $p = 0,0002$).

Болевые ощущения пациентов по шкале VAS также значительно снизились: от исходной характеристики «умеренная боль» субъективные болевые ощущения уменьшились вдвое к значению «слабая боль» в виде медианной величины 30,0 [20,00; 30,00] мм ($Z\text{-score} = -2,952$; $p = 0,001$).

Таблица 1

Величины описательных статистик для шкаловых параметров в исследуемой популяции до и после лечения ($n = 13$).

Шкала	Период	Величина баллов по шкалам							
		Среднее	Станд. отклонение	Max	Min	Мода	Медиана	Q1	Q3
EFAS	до лечения	13,0	4,74	23	5	15,0	14,0	11,00	15,00
	после лечения	35,2	5,55	43	22	34,0	34,0	33,00	38,00
AOFAS Ankle-Hindfoot	до лечения	48,9	11,46	80	32	45,0a	49,0	42,00	52,00
	после лечения	81,6	12,22	102	56	76,0a	80,0	76,00	91,00
FFI	до лечения	87,2	20,46	120	39	75,0	91,0	75,00	99,00
	после лечения	39,2	11,63	63	20	20,0a	38,0	34,00	47,00
VAS	до лечения	62,3	18,78	100	30	50,0a	60,0	50,00	70,00
	после лечения	25,4	16,13	50	0	30,0	30,0	20,00	30,00

Примечание: В выборке присутствуют несколько значений моды, показана наименьшая из них.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях пациенты на момент начала исследования указывали наивысшие значения болевых ощущений по шкале VAS (90–100 мм, «нестерпимая боль») в связи с повреждением обеих пяточных костей. В таких случаях снижение болевой компоненты после хирургического лечения могло быть ещё более выраженным, что должно позитивным образом отразиться на качестве жизни пациентов.

В качестве **клинического примера** использования разработанной нами технологии представим результаты лечения пациента с посттравматической деформацией пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt через 12 мес. после выполненного хирургического вмешательства.

Пациент 53 лет, трудоспособного возраста, без вредных привычек, занятый физическим трудом, нормостенического телосложения (вес — 95 кг, рост — 195 см; ИМТ — 25,8 кг/м², что соответствует верхней границе нормы), ведет активный образ жизни, связанный с регулярным физическим трудом. Профессиональная деятельность пациента (строитель) предполагает систематические тяжелые физические нагрузки, что обуславливает повышенные требования к состоянию опорно-двигательной системы.

Из анамнеза хронических заболеваний выявлено: гипертоническая болезнь I степени с риском сердечно-сосудистых осложнений 4; постоянная форма фибрилляции предсердий; гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь; пациент получает постоянную терапию препаратом Конкор в дозировке 5 мг 1 раз в сутки; в 2002 г. проведен остеометаллосинтез перелома малоберцовой кости левого голеностопного сустава.

В 2018 г. пациент получил оскольчатый внутрисуставной перелом левой пяточной кости в результате бытовой травмы (падение с высоты трех метров). По поводу данного повреждения проведено хирургическое лечение в одной из клиник по месту жительства, — выполнена открытая репозиция отломков левой пяточной кости с внутренней фиксацией металлоконструкциями. Послеоперационный период протекал без осложнений. В течение 8 недель осуществляли внешнюю иммобилизацию оперированной конечности с полной разгрузкой. После завершения иммобилизации пациент начал дозированную нагрузку на нижнюю конечность. В рамках реабилитационного лечения пациенту проводили физиотерапевтические процедуры, массаж и лечебную физкультуру в условиях поликлиники по месту жительства. Однако в течение года после проведенной операции значимого улучшения состояния пациента отмечено не было: сохранялись болевой синдром и отек, а также наблюдалось прогрессирование вальгусной деформации заднего отдела левой стопы.

Спустя год после хирургического вмешательства пациент обратился в Центр хирургии стопы ГКБ им. С.С. Юдина для проведения дальнейшего обследования и лечения, направленного на улучшение качества жизни, которое ограничивало его профессиональную деятельность и повседневную физическую активность.

На момент обращения пациент предъявлял жалобы на выраженный болевой синдром в заднем отделе левой стопы, локализующийся в области подтаранного сустава и полюса малоберцовой кости, а также на снижение функциональной активности. Способность к самостоятельному передвижению была не более 3000 шагов в день, после чего пациент был вынужден принимать нестероидные противовоспалительные препараты для снижения болевого синдрома. Пациент также стал отмечать прогрессирующее ограничение тыльного сгибания в левом голеностопном суставе и дискомфорт при подборе и ношении стандартной обуви, что было обусловлено сохраняющейся деформацией заднего отдела левой стопы (рис. 4). Указанные жалобы свидетельствовали о сохранении функциональных нарушений в левой стопе, требующих углубленного диагностического исследования и комплексного нетривиального подхода к определению дальнейшей тактики лечения.



Рис. 4. Внешний вид левой стопы пациента: а — вид сзади (вальгусная деформация заднего отдела левой стопы); б — внутренняя поверхность (посттравматическое плоскостопие); в — наружная поверхность (отёк мягких тканей в пяточно-малоберцовой области) [16]

Пациенту проведено рентгенологическое исследование, по результатам которого выявлены: посттравматический остеоартроз подтаранного сустава левой стопы (3 стадия по Kellgren – Lawrence); отрицательный угол Белера, указывающий на нарушение анатомии пяточной кости; «горизонтализация»

таранной кости и снижение таранно-пяточной высоты, обусловленные посттравматическими изменениями; консолидированный перелом левой пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt с фиксацией винтами и сращением фрагментов в положении смещения; консолидированный перелом малоберцовой кости, фиксированный металлоконструкцией (пластина и винты) после травмы 2002 г. Феномен «горизонтализации» таранной кости стал причиной прогрессирующего ограничения тыльного сгибания в левом голеностопном суставе, что привело к формированию переднего импиджмента в данной области (рис. 5).

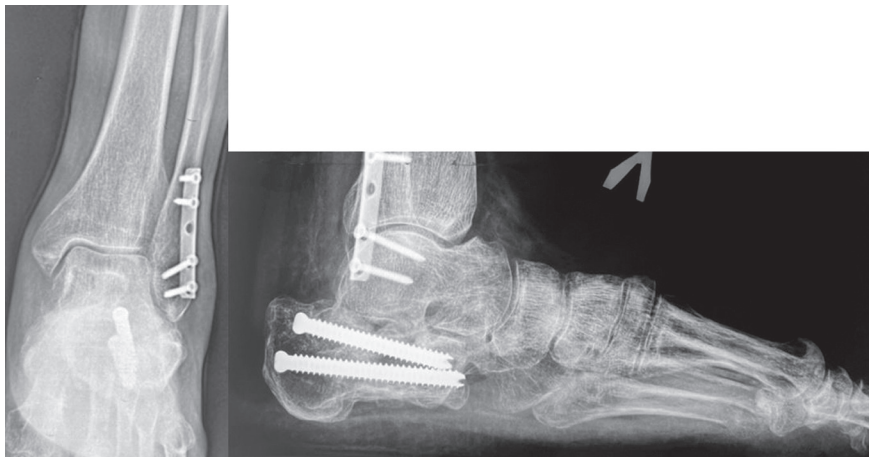


Рис. 5. Рентгенограммы левой стопы в прямой и боковой проекциях под нагрузкой весом тела

Для уточнения хода линий перелома, взаиморасположения и степени консолидации фрагментов пяточной кости пациенту выполнена МСКТ левой пяточной кости, в ходе которой подтвержден исходный суставно-депрессивный характер перелома, выраженный пяточно-малоберцовый конфликт, а также уточнены форма и взаиморасположение консолидированных фрагментов пяточной кости и металлоконструкций (рис. 6).



Рис. 6. МСКТ левой стопы в коронарной, сагитальной и аксиальной плоскостях [16]

По результатам проведенных диагностических мероприятий пациенту установлен следующий окончательный диагноз: Посттравматический деформирующий остеоартроз левого подтаранного сустава 3 стадии по Kellgren – Lawrence. Консолидированный в порочном положении перелом левой пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt. Консолидированный перелом малоберцовой кости левого голеностопного сустава в условиях фиксации блокируемой пластиной. Фиксированная вальгусная деформация левой пяточной кости с пяточно-малоберцовым конфликтом. Передний импиджмент левого голеностопного сустава. Контрактура левого голеностопного сустава.

После постановки окончательного диагноза определены показания к хирургическому вмешательству, которое включало удаление металлоконструкций, ремоделирующую остеотомию пяточной кости с одномоментным подтаранным артродезом, внутреннюю фиксацию винтами и костную аутопластику, чрескостную ахиллотомию по Вульпиусу. Однако в процессе предоперационного планирования возникли определённые сложности, связанные с идентификацией линий ранее перенесённого перелома пяточной кости. Это, в свою очередь, создавало потенциальные трудности в точном воспроизведении запланированных линий фигурной остеотомии в условиях операционной, что могло повлиять на длительность и точность выполнения хирургического вмешательства.

Для углубленного изучения пространственных характеристик фрагментов пяточной кости была изготовлена её пластиковая модель на основе трёхмерной реконструкции с использованием технологии 3D-печати. Данный подход позволил применить визуально-тактильный метод анализа, способствующий более детальному пониманию повреждения (рис. 7).

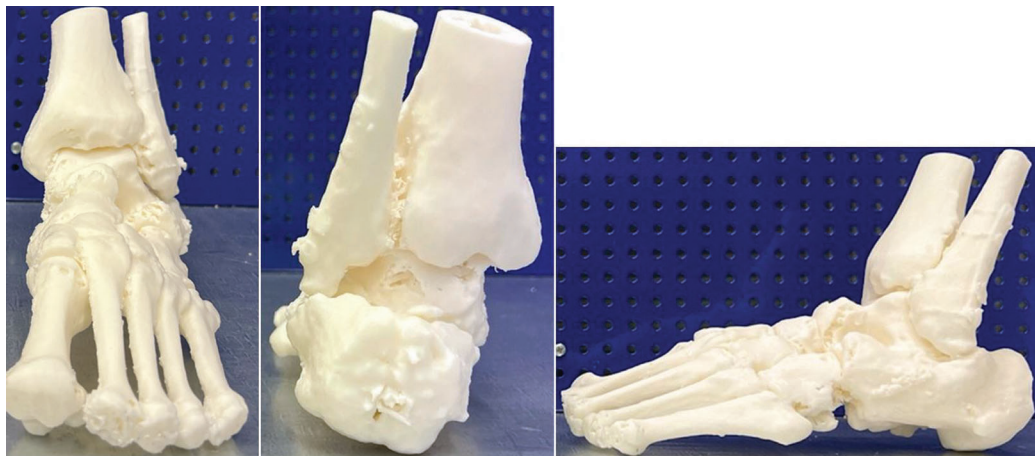


Рис. 7. 3D-модель повреждённой левой стопы, изготовленная из пластика: вид спереди, сзади и сбоку

На основе модели поврежденных костных структур стопы выявлены латеральный пяточно-малоберцовый импиджмент и вальгусная деформация заднего отдела левой стопы, а также сформулированы показания к хирургическому лечению: ремоделирующая остеотомия левой пяточной кости, корригирующий подтаранный артродез, внутренняя фиксация металлическим конструкциями, костная аутопластика дефектов пяточной кости, ахиллотомия по Вульпиусу. Объем хирургического вмешательства обусловлен необходимостью коррекции деформации заднего отдела левой стопы и латерального пяточно-малоберцового конфликта, устранения переднего импиджмента в левом голеностопном суставе, которые не только вызывают болевой синдром, но и создают неудобства в повседневной жизни пациента, препятствуя ношению и подбору стандартной обуви, и в совокупности значительно снижают качество жизни.

Непосредственно при предоперационном планировании отмечены значительные трудности при анализе хода первичных, вторичных и третичных линий сращения пяточной кости на месте бывших линий перелома, обычно легко визуализируемых даже при консолидированных линиях перелома, что является основой планирования ремоделирующей остеотомии. В связи с этим, в силу предполагаемых трудностей выполнения остеотомии, принято решение создать индивидуальный резекционный шаблон, чтобы нивелировать трудности и ошибки определения линий сращения в ране на фоне консолидации кости и ранее проведенной операции на ней.

После изготовления индивидуального резекционного блока пациенту выполнено оперативное вмешательство с применением разработанного нами метода, в ходе которого достигнута планируемая коррекция деформации (рис. 8). Учитывая выраженное натяжение ахиллова сухожилия после репозиции костных фрагментов, пациенту осуществлена чрескожная ахиллотомия по Вульпиусу, в результате чего удалось достичь практически полного восстановления объема движений в левом голеностопном суставе.

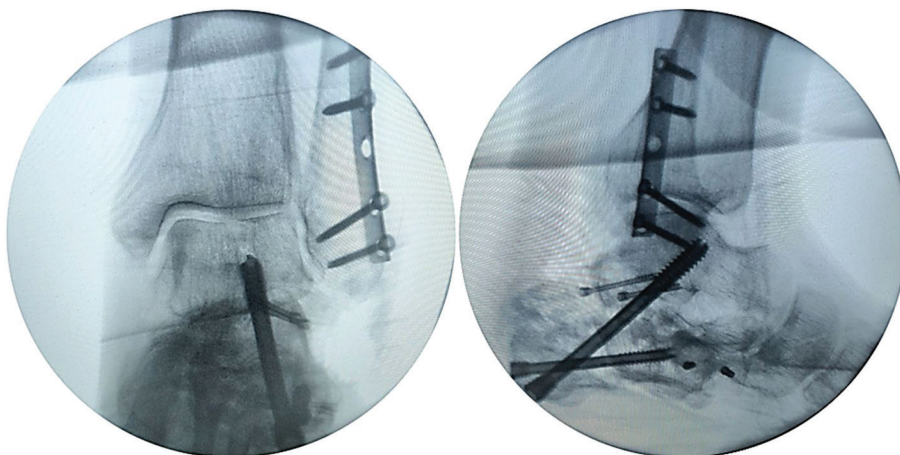


Рис. 8. Интраоперационный ЭОП-контроль в передне-задней и боковой проекциях

Коррекция деформации пяточной кости выполнена в соответствии с предоперационным планированием. Положение костных фрагментов и установленной металлоконструкции оценено как удовлетворительное.

Послеоперационный период у пациента протекал без осложнений, рана зажила первичным натяжением, швы сняты на 21-й день после операции. С учетом успешного заживления раны и устранения послеоперационного отека гипсовая повязка заменена на циркулярную полимерную с продолжением иммобилизации сроком на два месяца. По истечении этого периода пациенту проведен контрольный осмотр, включающий оценку рентгеновских снимков и данных МСКТ оперированной левой пяточной кости. Проведенные диагностические мероприятия подтвердили успешное костное сращение искусственного перелома левой пяточной кости, формирование подтаранного костного блока и стабильное положение металлоконструкций. После этого пациенту была разрешена дозированная нагрузка на оперированную конечность и назначено восстановительное-реабилитационное лечение, включавшее в себя физиотерапию, массаж и лечебную физкультуру в условиях реабилитационного центра.

В течение месяца осевая нагрузка на конечность была полностью восстановлена, что позволило пациенту вернуться к трудовой деятельности. Динамическое наблюдение за пациентом продолжали, окончательный результат лечения оценен через 12 месяцев после операции. На контрольном осмотре отмечено сохранение достигнутой коррекции заднего отдела левой стопы, отсутствие латерального пяточно-малоберцового импиджмента, восстановление угла отклонения таранной кости, угла наклона пяточной кости, угла Мири, лодыжечного роста и ширины пяточной кости (рис. 9, а). Результаты МСКТ демонстрировали консолидированный искусственный перелом левой пяточной кости с формированием подтаранного костного блока в условиях фиксации винтами, а также консолидированный перелом малоберцовой кости в условиях фиксации блокируемой пластиной (рис. 9, б).



а Рис. 9. Результаты рентгенографии и МСКТ визуализации левой стопы пациента через 12 мес. после оперативного вмешательства: рентгенограммы в прямой и боковой проекциях, выполненная в условиях нагрузки весом тела (а), МСКТ-реконструкция в коронарной, сагитальной и аксиальной плоскостях (б)

Для визуальной оценки результатов хирургического лечения выполнена трехмерная реконструкция левой стопы на основе данных МСКТ, проведенной через 12 месяцев после оперативного вмешательства. На основании этих данных методом аддитивного производства (3D-печати) изготовлена пластиковая модель стопы, которую сравнили с исходной пластиковой моделью, напечатанной до проведения хирургического лечения на этапе предоперационного планирования (рис. 10). Наблюдали коррекцию латерального пяточно-малоберцового импиджмента и устранение вальгусной деформации заднего отдела стопы. Фотографии моделей левой стопы демонстрируют увеличение «лодыжечного роста» на 10 мм по сравнению с предоперационной моделью (рис. 10, б).

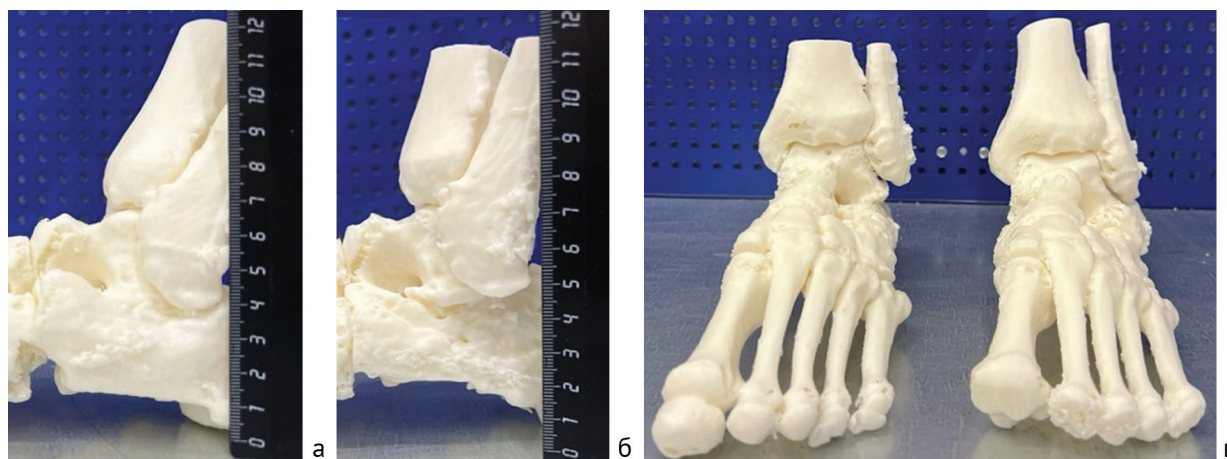


Рис. 10. Фотографии моделей левой стопы: а — вид сбоку до оперативного вмешательства; б — вид сбоку спустя 12 мес. после операции; в — вид спереди обеих моделей (слева — контрольная послеоперационная модель оперированной стопы, справа — предоперационная модель)

В ходе сопоставления исходной и послеоперационной моделей стопы величины измеренных топографо-анатомических параметров были приближены к значениям, соответствующим анатомической норме на здоровой контралатеральной конечности (табл. 2).

Таблица 2

Оценка анатомических параметров стопы

Параметры	Задний отдел левой (поврежденной) стопы		Задний отдел правой (здоровой) стопы
	до операции	через 12 мес. после операции	
Угол отклонения таранной кости, °	11	20	22
Угол наклона пяточной кости, °	11	16	18
Угол Мири, °	9	4	2°
Таранно-пяточная высота, мм	67	73	76
Ширина пяточной кости, мм	53	43	34
Лодыжечный рост, мм	35	45	46

Достигнутые послеоперационные результаты свидетельствуют о значимом улучшении состояния поврежденной стопы по сравнению с исходными значениями, полученными до проведения корригирующего реконструктивного вмешательства на левой пяточной кости (табл. 3). На момент контрольного осмотра через 12 месяцев после операции пациент демонстрировал высокий уровень двигательной активности, совершая до 12 700 шагов в день. Пациент смог вернуться к обычной трудовой деятельности, что также косвенно характеризует позитивные изменения в качестве его жизни.

Таблица 3

Оценка клинического и функционального состояния левой стопы пациента

Шкала/Опросник	Оценка, баллы	
	до операции	через 12 мес. после операции
AOFAS Ankle-Hindfoot	45	76
EFAS	12	22
FFI	101	50
VAS	5	2

Ни у кого из 13 исследуемых пациентов осложнений не отмечено, однако у одного пациента наблюдали заживление послеоперационной раны вторичным натяжением вследствие поверхностного некроза кожи, которое было купировано в течение одного месяца.

ОБСУЖДЕНИЕ

Хирургическое лечение пациентов с посттравматической деформацией пяточной кости является сложной задачей. Эффективно оказывать помощь этой категории пострадавших затруднительно не только в условиях травматологического, но и ортопедического отделений при современной структуре специализированной травматолого-ортопедической помощи. Улучшение результатов лечения данной категории пациентов именно в условиях специализированного центра хирургии стопы и голеностопного

сустава объясняется организационными технологиями учреждения, наличием у узкопрофильных специалистов особых знаний биомеханики стопы, диагностических и лечебных приемов, необходимого опыта, креативного и нетривиального подходов к лечению [21].

Поэтому общепринятым является мнение, что если пациенты с последствиями переломов пяточной кости средней тяжести (1-3 типа по Zwipp – Rammelt) могут быть успешно излечены общеизвестными методами (дистракционный подтаранный артродез или подтаранный артродез *in situ*), то пациенты с последствиями повреждений 4–5 типа по Zwipp – Rammelt требуют индивидуального подхода и совершенно иных технических приемов и операций для коррекции.

Необходимо подчеркнуть, что такого рода поражения весьма редки. В исследовании Н. Zwipp et al., охватившем 245 пациентов с переломами пяточной кости, было всего 12 % пациентов с последствиями повреждений 4 типа по Zwipp – Rammelt и 7 % пациентов с последствиями повреждений 5 типа, т.е. 29 и 3 пациента соответственно [22]. На этом фоне наша выборка из 13 пациентов с аналогичными вариантами повреждений выглядит достаточно репрезентативной для гипотезопорождающего исследования, с учетом редкости таких заболеваний и невозможности рандомизации ввиду неэтичности формирования групп сравнения с вариантами хирургических вмешательств, заведомо уступающими по ожидаемым исходам лечения.

Многие авторы при лечении данной категории пациентов предлагают операцию, сочетающую подтаранный артродез с остеотомией Дуайера, что приемлемо при повреждениях 2–3 типа, но ведет к формированию «зигзагообразной» деформации пяточной кости при повреждениях 4–5 типа. Более того, формирование варусной деформации пяточной кости, описанное как типичное осложнение [13], по нашему опыту, может закончиться невозможностью ушивания операционной раны. Выходом из сложившейся ситуации может быть выделение пациентов с последствиями повреждений 4–5 типа по Zwipp – Rammelt в особую группу и применение по отношению к ним особых приемов диагностики и лечения. Впервые это озвучил М.М. Ромаш, предложив в 1993 г. оригинальную остеотомию пяточной кости вдоль первичной линии перелома, что для того времени было достижением, действительно имеющим научно-практическое значение [10].

Однако линии консолидации фрагментов сложны и порой проходят в разных направлениях, формируя типичные варианты переломов. Эта особенность является одновременно и проблемой при планировании хирургического вмешательства, так как спустя один год и далее по времени от момента травмы линии перелома становятся невидимыми, вследствие чего у хирурга во время операции нет ориентиров для проведения остеотомий. Но поскольку на компьютерных томографических изображениях эти линии видны, то привлечение результатов томографии к предоперационному планированию остеотомий позволяет обойти вышеозначенную проблему, а одновременное использование индивидуально изготовленных резекционных блоков позволяет корректировать направление и глубину остеотомии уже непосредственно в операционной ране. Опираясь на этот факт, мы предложили оригинальную операцию ремоделирующей остеотомии пяточной кости, которую иногда (по показаниям) проводим в сочетании с подтаранным артродезом [14] и успешно используем с 2009 г. через 8–12 месяцев после травмы, пока линии консолидации фрагментов остаются доступными для идентификации [15].

Наше исследование, связанное с необходимостью повышения точности проведения фигурных остеотомий пяточной кости и приведения их в точное соответствие с запланированными анатомическими ориентирами при предоперационном планировании, в конечном счете, привело к созданию метода хирургического лечения с применением индивидуально изготавливаемых резекционных шаблонов, запатентованного нами в Российской Федерации [16].

Есть литературные данные об использовании резекционных блоков в подобной ситуации. J.Y. ee et al. при посттравматической деформации пяточной кости 4 типа по Zwipp – Rammelt изготовили индивидуальный резекционный шаблон, который использовали при операции с достаточно хорошим клиническим и рентгенологическим результатами [23]. К недостаткам способа коллег из Сингапура относятся отсутствие возможности неподвижной фиксации шаблона во время выполнения манипуляций и фиксации угла атаки лезвия осциллирующей пилы, а также ограничение выполнения резекции одной плоскостью. Мы учли данные недостатки, внедрив в шаблон несколько плоскостей опилов, точки для его фиксации и запрограммированные направления для проведения остеотомий [16]. Определение на этапе предоперационного планирования линий консолидации делает возможным выполнить остеотомию пяточной кости по «старым» линиям переломов и исправить многоплоскостную деформацию заднего отдела стопы. Мы считаем, что вправление смещенных костных фрагментов и выполнение подтаранного артродеза в функционально выгодном анатомическом положении улучшает результаты лечения пациентов.

Ввиду отсутствия в нашем исследовании группы сравнения сопоставление функциональных результатов возможно лишь с опубликованными результатами лечения данной категории пациентов. Так, в систематический обзор T. Schepers et al. [24] включены результаты 21 исследования (средний срок наблюдения — 40 месяцев) суммарно 456 пациентов с поздними осложнениями консолидированных оскольчатых внутрисуставных переломов пяточной кости со смещением фрагментов, которым выполнен артродез подтаранного сустава с костной пластикой и дистракцией (в 93 % случаев как спасательное вмешательство). Функциональные исходы по модифицированной шкале AOFAS на финальном этапе наблюдения в среднем составили 73 балла (диапазон значений варьировал от 64 до 83 баллов). Почти все исследования, включенные в данный обзор, являлись ретроспективным описанием серии случаев с уровнем доказательности IV. Артродез подтаранного сустава с костной пластикой и дистракцией выполнен в 93 % случаев.

В нашем исследовании на момент послеоперационного наблюдения пациентов зарегистрированы величины по шкале AOFAS-Hindfoot с медианой 80,0 [76,00; 91,00] баллов (Z -score = $-3,184$; $p = 0,0002$), что даже превысило опубликованные T. Schepers et al. [24] объединенные средние значения по шкале AOFAS. Необходимо отметить, что величина минимальной клинической значимости изменений по шкале AOFAS для такого рода поражений в мировой практике не определена, поэтому сделать однозначный вывод о том, насколько существенной может быть разница в 7 баллов, не представляется возможным.

Мы пришли к заключению, что пациентам с повреждениями 4 типа по Zwipp – Rammelt целесообразно при сохранном хряще выполнять открытую репозицию и внутреннюю фиксацию с коррекцией деформаций (при повышенном риске осложнений), а при разрушенном суставе — первичный артродез с остеотомией. При этом многоэтапная реконструкция предпочтительнее при тяжелых деформациях, а корригирующая остеотомия критична для восстановления биомеханики.

Вместе с тем, M. Qiang et al. [25] признают, что первичный артродез (подтаранный или тройной) рекомендуется при невосстановимых повреждениях хряща, но также акцентируют внимание на том, что переломы пяточной кости 4 типа (тяжелые внутрисуставные, с деформацией) требуют точной анатомической реконструкции для восстановления функции подтаранного сустава, а современные методы хирургического лечения (минимально инвазивный остеосинтез, 3D-навигация) улучшают точность репозиции.

Таким образом, предложенный нами способ позволяет добиться не только повышения клинической эффективности, но и более предсказуемых исходов лечения пациентов с посттравматической деформацией при повреждениях 4 типа по Zwipp – Rammelt. С учетом этого, применение индивидуальных резекционных шаблонов при выполнении ремоделирующей остеотомии пяточной кости у данной категории пациентов является оправданным, поскольку клинические и прогностические исходы лечения при иных вариантах хирургической тактики, описанных в литературе, будут уступать предложенному авторами способу лечения.

Ограничения исследования

Основным ограничением исследования является относительно небольшая выборка пациентов, что связано с редкой распространенностью изучаемого типа повреждений. В связи с этим исследование спланировано как гипотезопорождающее проспективное исследование серии клинических случаев, не предусматривающее группы сравнения и расчет статистической мощности. Поэтому основной акцент сделан на приведении описательных статистик и сравнении результата до и после лечения пациентов, что может помочь в расчете размера необходимых выборок для исследований такой категории пациентов в будущем.

Вторым ограничением мы считаем отсутствие групп сравнения, вызванное невозможностью выполнения рандомизации ввиду неэтичности формирования групп по вариантам хирургических вмешательств, заведомо уступающим по ожидаемым исходам лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение аддитивных технологий при реконструктивных вмешательствах на пяточной кости позволяет создавать точные 3D-модели поврежденной стопы, что способствует детальному анализу пространственно-геометрической структуры деформации и разработке оптимальной стратегии ее коррекции. Создание индивидуальных резекционных блоков для выполнения прецизионных остеотомий в соответствии с предоперационным планом более точно восстанавливает анатомию поврежденной пяточной кости. Анализ исходов хирургического лечения демонстрирует значительное улучшение функциональных и болевых показателей по шкалам EFAS, AOFAS Ankle-Hindfoot, FFI и VAS. Значительное снижение степени болевого синдрома у пациентов с исходно максимальными болевыми ощущениями, несомненно, позитивно сказывается на качестве их жизни.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Alrashidi YA, Sonbol AM, Abuseer HO, et al. Calcaneal fractures in a trauma center: A retrospective study. *J Musculoskelet Surg Res.* 2021;5(2):116-120. doi: 10.4103/jmsr.jmsr_10_21.
- Tufescu TV, Buckley R. Age, gender, work capability, and worker's compensation in patients with displaced intraarticular calcaneal fractures. *J Orthop Trauma.* 2001;15(4):275-279. doi: 10.1097/00005131-200105000-00007.
- Lawrence SJ. Open calcaneal fractures. *Orthopedics.* 2004;27(7):737-741; quiz 742-3. doi: 10.3928/0147-7447-20040701-14.
- Sikora H, Kopeć K, Dudko S, et al. Chronic, Neglected Medial Subtalar Dislocation with Associated Talar and Calcaneal Fractures. A Case Report. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2022;24(1):61-67. doi: 10.5604/01.3001.0015.7808.
- Kang D, Raviprasad A, Pierre K, et al. Challenges in diagnosis of calcaneal fractures: an examination using the WIDI SIM platform. *Emerg Radiol.* 2024;31(5):653-660. doi: 10.1007/s10140-024-02267-5.
- Rammelt S, Zwipp H. Corrective arthrodeses and osteotomies for post-traumatic hindfoot malalignment: indications, techniques, results. *Int Orthop.* 2013;37(9):1707-1717. doi: 10.1007/s00264-013-2021-3.
- Shibuya N, Simmons A, Felix F. Posterior Arthroscopic Subtalar Joint Arthrodesis (Pasta). *Clin Podiatr Med Surg.* 2023 11;40(3):471-481. doi: 10.1016/j.cpm.2023.02.002.
- Ebben BJ, Myerson M. Management of the Subtalar Joint Following Calcaneal Fracture Malunion. *Foot Ankle Clin.* 2022;27(4):787-803. doi: 10.1016/j.fcl.2022.08.001.
- Saß M, Rotter R, Mittlmeier T. Minimally invasive internal fixation of calcaneal fractures or subtalar joint arthrodesis using the Calcanail®. *Oper Orthop Traumatol.* 2019;31(2):149-164. doi: 10.1007/s00064-018-0576-2.
- Romash MM. Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(290):157-167.
- Romash MM. Reconstructive oblique calcaneal osteotomy with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures. *Tech Foot Ankle Surg.* 2006;5(4):239-249. doi: 10.1097/01.btf.0000235009.21478.95.
- Guang-Rong Y, Xiao Y. Surgical Management of Calcaneal Malunion. *J Orthop Trauma Rehabil.* 2013;17(1):2-8. doi: 10.1016/j.jotr.2012.04.001.
- Yu GR, Zhang MZ, Yang YF. Corrective Osteotomies for Malunited Tongue-Type Calcaneal Fractures. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(1):123-134. doi: 10.1016/j.fcl.2015.09.005.
- Пахомов И.А. Разработка биомеханически обоснованного метода лечения пациентов с последствиями консолидированных в порочном положении переломов пяточной кости, осложненных разгибательной контрактурой голеностопного сустава. *Политравма.* 2010;(4):24-29.
- Пахомов И.А. Способ оперативного лечения контрактуры голеностопного сустава. Патент РФ на изобретение № 2322205. 20.04.2008. Бюл. № 11. Доступно по: <https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2008FULL/2008.04.20/DOC/RUNWC2/000/000/002/322/205/DOCUMENT.PDF>. Ссылка активна на 18.03.2025.
- Кузнецов В.В., Процко В.Г., Мазалов А.В., и др. Способ хирургического лечения консолидированных в положении смещения переломов пяточной кости с посттравматическими деформациями заднего отдела стопы. Патент РФ на изобретение № 2829420. 30.10.2024. Бюл. № 31. Доступно по: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/829/420/ИЗ-02829420-00001/DOCUMENT.PDF>. Ссылка активна на 18.03.2025.
- Richter M, Zech S, Geerling J, et al. A new foot and ankle outcome score: questionnaire based, subjective, visual-analogue-scale, validated and computerized. *Foot Ankle Surg.* 2006;12(4):191-199. doi: 10.1016/j.fas.2006.04.001.
- Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994;15(7):349-353. doi: 10.1177/107110079401500701.
- Budiman-Mak E, Conrad KJ, Roach KE. The Foot Function Index: a measure of foot pain and disability. *J Clin Epidemiol.* 1991;44(6):561-570. doi: 10.1016/0895-4356(91)90220-4.
- Richter M, Agren PH, Besse JL, et al. EFAS Score - Multilingual development and validation of a patient-reported outcome measure (PROM) by the score committee of the European Foot and Ankle Society (EFAS). *Foot Ankle Surg.* 2018;24(3):185-204. doi: 10.1016/j.fas.2018.05.004.
- Пахомов И.А. Хирургическая тактика и организация специализированной помощи пациентам с ортопедической патологией стопы и голеностопного сустава: автореферат дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск; 2012:42. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005009776>. Ссылка активна на 18.03.2025.
- Zwipp H, Rammelt S, Barthel S. Calcaneal fractures--open reduction and internal fixation (ORIF). *Injury.* 2004;35 Suppl 2:SB46-54. doi: 10.1016/j.injury.2004.07.011.
- Lee JY, Tan BM, Png W, et al. Novel utilization of 3D printing technology for a chronic malunited calcaneum fracture - a case report. *Foot Ankle Surg Tech Rep Cases.* 2021;1(3):100051. doi: 10.1016/j.fastrc.2021.100051.
- Schepers T. The subtalar distraction bone block arthrodesis following the late complications of calcaneal fractures: a systematic review. *Foot (Edinb).* 2013;23(1):39-44. doi: 10.1016/j.foot.2012.10.004.
- Qiang M, Zhang K, Chen Y, et al. Computer-assisted virtual surgical technology in pre-operative design for the reconstruction of calcaneal fracture malunion. *Int Orthop.* 2019;43(7):1669-1677. doi: 10.1007/s00264-019-04328-8.

Статья поступила 17.03.2025; одобрена после рецензирования 27.06.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 17.03.2025; approved after reviewing 27.06.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Василий Викторович Кузнецов — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, vkuznecovniito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>;

Игорь Анатольевич Пахомов — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, врач — травматолог-ортопед, rahomovigor@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-0677>;

Валерий Витальевич Платонов — аспирант, врач — травматолог-ортопед, platonov_ortho@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7135-3972>;

Виктор Геннадьевич Процко — доктор медицинских наук, профессор, врач — травматолог-ортопед, руководитель центра хирургии стопы и диабетической стопы, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Владимир, Владимирович Скребцов — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Саргон Константинович Тамоев — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, врач — травматолог-ортопед, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Станислав Александрович Оснач — врач — травматолог-ортопед, stas-osnach@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4943-3440>;

Николай Васильевич Загородний — доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением, чл.-корр. РАН, врач — травматолог-ортопед, zagorodniy51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>;

Александр Геннадьевич Самохин — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, motorist@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5599-3925>.

Information about the authors:

Vasiliy V. Kuznetsov — Candidate of Medical Sciences, Orthopedic Surgeon, vkuznecovniito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>;

Igor A. Pakhomov — Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Orthopedic Surgeon, pahomovigor@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-0677>;

Valery V. Platonov — Postgraduate student, Orthopedic Surgeon, platonov_ortho@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7135-3972>;

Victor G. Protsko — Doctor of Medical Sciences, Professor, Orthopedic Surgeon, Head of the Center for Foot and Diabetic Foot Surgery, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Vladimir V. Skrebtsov — Candidate of Medical Sciences, Orthopedic Surgeon, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Sargon K. Tamoev — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Orthopedic Surgeon, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Stanislav A. Osnach — Orthopedic Surgeon, stas-osnach@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4943-3440>;

Nikolay V. Zagorodniy — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Orthopedic Surgeon, zagorodniy51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>.

Alexander G. Samokhin — Candidate of Medical Sciences, Senior Research Associate, motorist@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5599-3925>.



Гистоморфометрическая оценка синовиальной оболочки при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома титановыми винтами у ягнят (экспериментально-морфологическое исследование)

Т.А. Ступина[✉], О.В. Дюрягина, А.А. Коробейников, М.А. Степанов, Н.И. Антонов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за корреспонденцию: Татьяна Анатольевна Ступина, StupinaSTA@mail.ru

Аннотация

Введение. Сложность лечения внутрисуставных переломов у детей обусловлена анатомическими особенностями сустава, его биомеханикой, склонностью к развитию посттравматического артрита, что обуславливает важность детального изучения структурной организации всех элементов синовиальной среды сустава.

Цель работы — на экспериментальной модели оценить выраженность структурных изменений синовиальной оболочки лучезапястного сустава при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома титановыми винтами.

Материалы и методы. Исследование выполнено на шести беспородных ягнятах — самцах (возраст — $(46,1 \pm 3,0)$ сут, масса — $(15,7 \pm 2,0)$ кг), которым на правой конечности моделировали косой внутрисуставной метаэпифизарный перелом лучевой кости. Фиксацию перелома осуществляли двумя костными спонгиозными канюлированными винтами из титана Ti6Al4V. Срок эксперимента — 120 ($n = 3$) и 365 ($n = 3$) суток после операции. Гистоморфометрическое исследование синовиальной оболочки выполнено с помощью микроскопа AxioScope.A1 и ПО Zenblue (CarlZeissMicroImagingGmbH, Германия). В качестве контроля морфометрировали синовиальную оболочку контралатерального сустава.

Результаты. В контроле в покровном слое синовиальной оболочки преобладали фибробластоподобные синовиоциты, признаки синовита не выявлены. К 13,5 месяцам отмечено снижение значений толщины покровного слоя ($p = 0,0326$) и численной плотности синовиоцитов ($p = 0,0009$). В опыте через 120 суток выявлен слабо выраженный синовит, гиперплазия покровного слоя, увеличение численной плотности синовиоцитов и представительства макрофагоподобных синовиоцитов (более 50 % в поле зрения), формирование синовиальных ворсин, наличие лимфо-гистиоцитарного инфильтрата очагового и диффузного типа. Через 365 суток признаки синовита отсутствовали, в покровном слое преобладали фибробластоподобные синовиоциты, сохранялись повышенные значения численной плотности синовиоцитов ($p = 0,0141$), значения толщины покровного слоя сопоставимы с контролем ($p = 0,1301$).

Обсуждение. Небиорезорбируемые фиксаторы, используемые при остеосинтезе внутрисуставных переломов, могут вызывать ряд осложнений, — инфекция, боль, артрит. Установлено, что макрофагальные и фибробластические синовиоциты выполняют различные про- и противовоспалительные функции и могут как предотвращать воспаление, формируя противовоспалительный барьер, так и способствовать возникновению синовита.

Заключение. При остеосинтезе титановыми винтами внутрисуставного метаэпифизарного перелома дистального суставного конца лучевой кости у ягнят через 120 суток эксперимента выявлен слабо выраженный синовит, который выражался утолщением покровного слоя, увеличением численной плотности синовиоцитов и представительства макрофагальных синовиоцитов, наличием лимфо-гистиоцитарного инфильтрата. К концу эксперимента процесс воспаления синовиальной оболочки имел обратимый характер, гистологические признаки синовита отсутствовали.

Ключевые слова: внутрисуставной перелом, титановые винты, ягнята, синовиальная оболочка, гистоморфометрия

Для цитирования: Ступина Т.А., Дюрягина О.В., Коробейников А.А., Степанов М.А., Антонов Н.И. Гистоморфометрическая оценка синовиальной оболочки при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома титановыми винтами у ягнят (экспериментально-морфологическое исследование). *Гений ортопедии*. 2026;32(1):97-106. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-97-106.



Histomorphometric evaluation of the synovial membrane during osteosynthesis of intra-articular metaepiphyseal fractures with titanium screws in lambs (an experimental morphological study)

T.A. Stupina[✉], O.V. Dyuryagina, A.A. Korobeynikov, M.A. Stepanov, N.I. Antonov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Tatyana A. Stupina, stupinasta@mail.ru

Abstract

Introduction The complexity of treating intra-articular fractures in children is due to the anatomical features of the joint, its biomechanics, and the tendency to develop post-traumatic arthritis. This necessitates a detailed study of the structural organization of all elements of the joint synovial environment.

The **aim** of this study was to evaluate, using an experimental model, the severity of structural changes in the synovial membrane of the carpal joint during osteosynthesis of intra-articular metaphyseal fractures with titanium screws.

Materials and Methods The study was performed on six outbred male lambs (46.1 ± 3.0 days old, weighing 15.7 ± 2.0 kg). An oblique intra-articular metaphyseal fracture of the radius on the right limb was modeled. Fracture fixation was performed with two cannulated cancellous bone screws made of Ti6AL4V titanium. The experimental periods were 120 ($n = 3$) and 365 ($n = 3$) days after surgery. Histomorphometric analysis of the synovial membrane was performed using an AxioScope.A1 microscope and Zenblue software (CarlZeissMicroImagingGmbH, Germany). The synovium of the contralateral joint served as a control.

Results In the control joint, fibroblast-like synoviocytes predominated in the synovial membrane lining layer; no signs of synovitis were detected. After 13.5 months, a decrease in lining layer thickness ($p = 0.0326$) and synoviocyte density ($p = 0.0009$) was noted. In the experimental joint, mild synovitis, hyperplasia of the lining layer, increased synoviocyte density and macrophage-like synoviocyte representation (more than 50 % per field of view), formation of synovial villi, and the presence of focal and diffuse lymphohistiocytic infiltrates were detected after 120 days. After 365 days, signs of synovitis were absent, fibroblast-like synoviocytes predominated in the lining layer; elevated synoviocyte density values persisted ($p = 0.0141$), and lining layer thickness values were comparable to the control ($p = 0.1301$).

Discussion Non-bioresorbable fixators used for osteosynthesis of intra-articular fractures can cause a number of complications, including infection, pain, and arthritis. It was established that macrophage and fibroblastic synoviocytes perform various pro- and anti-inflammatory functions and can both prevent inflammation by forming an anti-inflammatory barrier and contribute to the development of synovitis.

Conclusion Osteosynthesis of intra-articular metaepiphyseal fractures of the distal articular end of the radius in lambs using titanium screws provoke mild synovitis after 120 days of the experiment. This synovitis was characterized by thickening of the lining layer, an increase in the numerical density of synoviocytes and in macrophage synoviocytes, and the presence of a lymphohistiocytic infiltrate. By the end of the experiment, the synovial membrane inflammation reversed, and histological signs of synovitis were absent.

Keywords: intra-articular fracture, titanium screws, lambs, synovial membrane, histomorphometry

For citation: Stupina TA, Dyuryagina OV, Korobeynikov AA, Stepanov MA, Antonov NI. Histomorphometric evaluation of the synovial membrane during osteosynthesis of intra-articular metaepiphyseal fractures with titanium screws in lambs (an experimental morphological study). *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):97-106. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-97-106.

ВВЕДЕНИЕ

Переломы верхних конечностей составляют значительную долю от всех травм у детей, по данным разных источников, на них приходится до 84 % от всех переломов костей конечностей. Самыми распространенными переломами костей верхней конечности являются переломы дистального отдела лучевой кости, которые составляют от 10 до 35 % от всех повреждений костной системы [1, 2, 3, 4].

Основные принципы хирургического лечения внутрисуставных переломов у детей включают: точное восстановление нормальной анатомии сустава и сопоставление костных отломков [2, 5]; обеспечение стабильной фиксации перелома с помощью ортопедических конструкций (аппараты внешней фиксации, штифты, винты, пластины, спицы, биорезорбируемые фиксаторы) [6, 7, 8, 9]; использование минимально инвазивных техник для уменьшения повреждения мягких тканей, сосудов и зон роста, для полного восстановления функции сустава и минимизации осложнений [10].

Выбор тактики лечения внутрисуставных метаэпифизарных переломов костей предплечья у детей не теряет своей актуальности и остается до конца нерешенной проблемой современной травматологии и ортопедии [3, 11].

На сегодняшний день нет единого мнения в вопросе выбора метода хирургического лечения переломов дистального отдела лучевой кости у детей, результаты лечения по представленным в литературе методикам противоречивы, отмечена высокая доля развития осложнений и неудовлетворительных результатов лечения, среди которых наиболее часто встречаются неправильное или медленное сращение перелома, посттравматический артрит, отставание конечности в росте, инфекции, повреждения сосудов и нервов, формирование ложных суставов, атрофия мышц [12, 13, 14, 15].

Сложность лечения детей с такими переломами связана с анатомическими особенностями сустава, его биомеханикой, склонностью к разрастанию костной ткани вокруг сустава (параартикулярная оссификация) и развитию контрактур [2], что обуславливает важность детального изучения структурной организации всех элементов синовиальной среды сустава.

Большое значение для успешного сращения внутрисуставного перелома, поддержания здоровой среды сустава и предотвращения осложнений имеет состояние синовиальной оболочки. Установлено, что при внутрисуставных переломах происходит повышение концентрации провоспалительных цитокинов и деградирующих ферментов, продуцируемых синовиальными клетками [16]. Несмотря на растущее понимание роли синовиальной оболочки в патологии суставов, количественные данные о структуре этой ткани остаются неполными.

На основе клинических исследований невозможно получить информацию о структурной реорганизации синовиальной оболочки на этапах остеосинтеза, необходимы экспериментальные исследования на животных.

Цель работы — на экспериментальной модели оценить выраженность структурных изменений синовиальной оболочки лучезапястного сустава при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома титановыми винтами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование проведено на шести беспородных ягнятах-самцах в возрасте $(46,1 \pm 3,0)$ дня, массой тела $(15,7 \pm 2,0)$ кг. Сроки наблюдения составили 120 и 365 суток (по три животных на срок).

Критерии включения: клинически здоровые ягнята в период активного роста, не имеющие заболеваний опорно-двигательной системы.

Критерии не включения: болезни опорно-двигательной системы (рахит, деформации конечностей).

Всем опытным животным моделировали полный косой внутрисуставной метаэпифизарный перелом дистального конца лучевой кости, соответствующий 4 типу по классификации Salter – Harris [17]. Линия остеотомии располагалась на передней поверхности лучевой кости и проходила через метафиз, пластинку роста и эпифиз к центру суставной поверхности кости. Во всех случаях выполняли рассечение капсулы лучезапястного сустава до обнажения суставной поверхности лучевой кости. Остеотомию выполняли осцилляторной пилой. Признаком получения внутрисуставного перелома считали появление полной нестабильности свободного отломка.

Фиксацию перелома осуществляли двумя костными спонгиозными канюлированными винтами из титана Ti6AL4V с частичной резьбой $d = 3,5$ мм (Регистрационное удостоверение № ФСР 2012/14220 от 08.04.2021 г.). Первоначально выполняли репозицию костного отломка и его временную фиксацию

двумя спицами для остеосинтеза $d = 1,0$ мм. Проведение винтов осуществляли вне пластинки роста лучевой кости. Сначала в точке введения проводили направляющую спицу в медиально-латеральном направлении. Далее по спице канюлированным сверлом $d = 2,5$ мм выполняли рассверливание канала для винта. Затем сверло удаляли и по спице вводили канюлированный винт. Винт затягивали до достижения полной стабильности костного отломка. В первую очередь выполняли остеосинтез на уровне метафиза, затем на уровне эпифиза лучевой кости. Фиксацию отломков на уровне эпифиза лучевой кости проводили аналогичным способом. После остеосинтеза перелома временные спицы удаляли. Операционную рану послойно ушивали узловыми швами Викрилом 3/0.

Оперативные вмешательства осуществляли под общим наркозом. Для премедикации использовали растворы димедрола 1 % (0,02 мг/кг), атропина сульфата 0,1 % (0,02 мг/кг) и рометара 2 % (0,1 мг/кг), для наркоза — эмульсию пропофола 1 % в дозе 4 мг/кг/мин.

Для предотвращения смещения отломка в послеоперационном периоде конечность временно иммобилизовали лонгетой из термопластика в положении сгибания $25-30^\circ$ в лучезапястном суставе. Иммобилизацию прекращали на 10–14 сутки. Также для профилактики развития воспалительных процессов животным назначали обезболивающие (в/м кетопрофен 50 мг, 0,5 мл) и антимикробные средства (в/м цефтриаксон 1,0, 7–10 мг/кг). Обработку операционной раны проводили раствором перекиси водорода 3 % и фурациллина 1:5000. Швы снимали на 10–14 день. Костные винты не извлекали в течение всего периода наблюдения.

Объект исследования — синовиальная оболочка лучезапястного сустава.

Прижизненные наблюдения. В послеоперационном периоде оценивали общее состояние животных, интенсивность и характер двигательной активности, при локальном осмотре — течение заживления операционной раны, наличие гематом, отеков, возникновение деформации сегмента, амплитуду движения конечности в лучезапястном суставе.

Рентгенологическое исследование. Рентгенографию выполняли в прямой и боковой проекциях на плоскопанельном детекторе для ветеринарии CANON CXDI-401C COMPACT (Canon Inc. Medical Equipment Group, Япония); рентгеновская трубка TOSHIBA Rotanode Model E7239, N 10G749 (Япония). Сила тока составляла 2,5–3,2 мА, напряжение — 43–44 кВ, фокусное расстояние — 90 см, выдержка выставлась автоматически.

Этические принципы. Исследование проведено согласно принципам Европейской конвенции ETS № 123 о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (с приложением от 15.06.2006, Страсбург) и правилам надлежащей лабораторной практики (ГОСТ 33044-2014, ГОСТ 33215-2014, Гост 34088-2017, ПС СанПиН 3.3686-21). Протокол локального этического комитета — от 29.11.2024 № 1(76).

Эвтаназия. Вывод животных из эксперимента выполняли после премедикации раствором димедрола 1 % (0,02 мг/кг) и рометара 2 % (0,1 мг/кг) с последующим введением летальной дозы барбитуратов.

Гистоморфометрическое исследование

С помощью скальпеля вычленили синовиальную оболочку лучезапястного сустава и помещали в фиксатор (10 % нейтральный формалин), дальнейшие этапы стандартной гистологической проводки осуществляли в аппарате для вакуумной проводки тканей HISTOSAFETM INFILTRATM (ООО «ЭргоПродакшн», Россия).

На микротоме HM 450 Thermo Scientific (США) с парафиновых блоков изготавливали срезы (3–5 мкм), которые затем окрашивали гематоксилином и эозином либо трёхцветным методом Массона.

Для получения цифровых изображений микропрепаратов использовали микроскоп AxioScope.A1 в комплекте с камерой AxioCam ICc 5. С помощью программного обеспечения Zenblue (CarlZeissMicroImagingGmbH, Германия) определяли параметры: толщина покровного слоя (мкм), численность синовиоцитов на 1 мм длины покровного слоя. Измерения и подсчет проводили в среднем в 10 полях зрения при увеличении $1000\times$ от каждого животного.

Выраженность синовита оценивали по полуколичественной шкале V. Krenn et al. [18] (0–1 балл — нет синовита, $1 \leq 4$ балла — слабо выраженный синовит, 5–9 баллов — синовит высокой степени выраженности) в 10–15 полях зрения при увеличении $400\times$ от каждого животного. В качестве условного контроля исследовали синовиальную оболочку лучезапястного сустава контралатеральной конечности.

Статистические методы. Обработка количественных данных проведена с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Для оценки выборок на характер распределения применяли критерий Колмогорова. Мера центральной тенденции морфометрируемых параметров представлена в виде медианы

и вартилей, минимальных и максимальных значений ($Me(p25;p75) [min-max]$). Для анализа различий сравниваемых групп применяли непараметрический критерий Манна – Уитни, значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Послеоперационный период протекал благоприятно. Заживление операционной раны происходило по первичному натяжению без септических осложнений. У всех ягнят в период фиксации лонгетой отмечали ограничение двигательной и опорной функции конечности с развитием контрактуры лучезапястного сустава. После прекращения иммобилизации функция конечности постепенно восстанавливались. На 14-ые сутки после операции угол сгибания в лучезапястном суставе, на момент снятия лангеты составлял $45-50^\circ$, к 30-ым суткам после операции — 170° , к 45-ым суткам наблюдений функция сгибания лучезапястного сустава восстанавливалась полностью (180°) и сохранялась таковой до конца исследования.

Рентгенологически признаки сращения перелома регистрировали к 30-ым суткам после операции. Отмечали участки полного восстановления корковой пластинки. Линия остеотомии эпифиза и суставной поверхности была заполнена новообразованной костной тканью. Линия суставной поверхности была анатомически правильная, участков наслоений и разрастаний не отмечали. Высота суставной щели — равномерная на всем протяжении. Пластика роста непрерывна, в проекции линии остеотомии не имела участков оссификации (рис. 1, а). К 120-ым суткам линия остеотомии не визуализировалась. Суставная поверхность не имела патологических образований. Суставная щель хорошо просматривалась. Пластика роста была открыта. Деформации суставной поверхности не отмечали (рис. 1, б). На завершающем этапе (365 суток после операции) на рентгенограммах регистрировали полную перестройку кости в зоне остеотомии. Суставные поверхности лучезапястного сустава имели анатомически правильные контуры. Патологических изменений костных структур не выявлено (рис. 1, в).

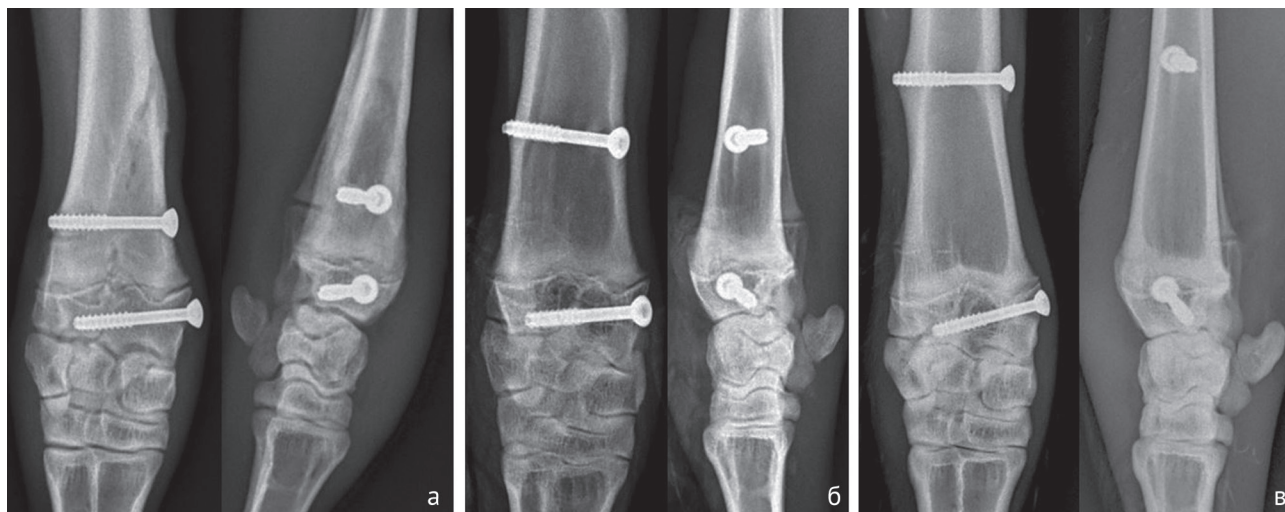


Рис. 1. Рентгенограммы ягненка в прямой и боковой проекции: а — на 30-ые сутки фиксации; б — на 120-ые сутки фиксации; в — на 365-ые сутки фиксации

Морфологическая характеристика синовиальной оболочки лучезапястного сустава контралатеральной конечности

Синовиальная оболочка лучезапястного сустава контралатеральной конечности имела обычное строение (рис. 2, а, б). В срок эксперимента 120 суток (возраст животного — 5,5 мес.) синовиальная оболочка имела преимущественно ровную поверхность, складки слабо выражены, синовиоциты покровного слоя располагались в два-три слоя (рис. 2, а). В срок 365 суток (возраст животного — 13,5 мес.) синовиальная оболочка на большем протяжении имела складчатую поверхность, синовиоциты располагались в один-два слоя (рис. 2, б). С увеличением возраста животного значения толщины покровного слоя и численной плотности синовиоцитов статистически значимо ($p < 0,05$) снижались (табл. 1), в покровном слое увеличивалась доля волокнистого компонента. Клетки покровного слоя полиморфны, большинство из них по своим морфологическим характеристикам относились к фибробластоподобным синовиоцитам, такие клетки имели уплощенную или полигональную форму (рис. 2, в). Плотность клеток в верхнем субсиновиальном слое в большей части наблюдений — нормальная, в ряде случаев характеризовалась как слегка повышенная, преобладали фибробласты и фиброциты (рис. 2, г). Глубокий субсиновиальный (коллагеново-эластический) слой более насыщен коллагеновыми волокнами

с участками жировой ткани, с увеличением срока эксперимента увеличивалась доля волокнистого компонента и толщина пучков коллагеновых волокон. Воспалительный инфильтрат не выявлен.

Оценка по шкале V. Krenn et al. [18] свидетельствовала об отсутствии синовита (табл. 1).

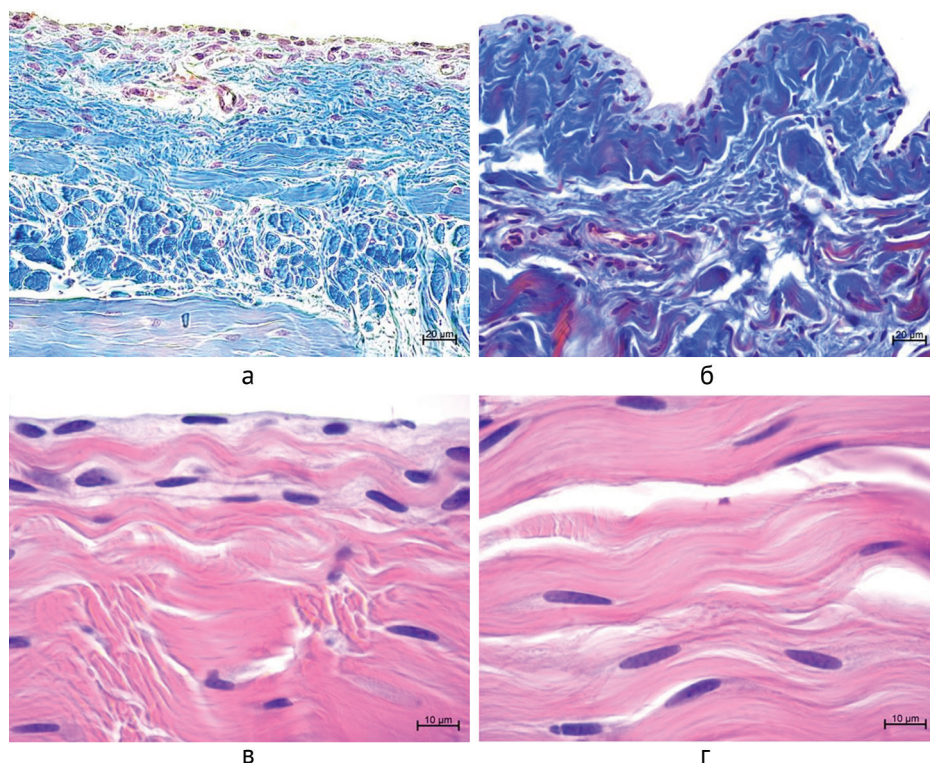


Рис. 2. Синовиальная оболочка контралатерального лучезапястного сустава ягненка:
а — 120 сут. эксперимента (возраст животного — 5,5 мес.), общий вид; б — 365 сут. эксперимента (возраст животного — 13,5 мес.), общий вид, складчатая поверхность; в, г — 365 суток эксперимента (возраст животного — 13,5 мес.), фибробластоподобные синовиоциты покровного слоя (в), фибробласты, фиброциты в субсиновальном слое (г). Парафиновые срезы, окраска трехцветным методом Массона (а, б), гематоксилином и эозином (в, г). Увеличение $\times 400$ (а, б), $\times 1000$ (в, г)

Таблица 1

Полуколичественные и количественные характеристики синовиальной оболочки лучезапястного сустава

Параметр		Толщина покровного слоя (мкм)	Численная плотность синовиоцитов	Оценка синовита в баллах
		Me (p25;p75) [min-max]		Me (p25;p75)
Контроль	120 сут.	36,73 (28,54;37,42) [23,18-41,16]	179,11 (130,26;203,53) [113,97-219,81]	0 (0;1)
	365 сут.	23,63 (20,19;28,04) [13,71-32,78] $p^{120-365} = 0,0326$	97,69 (89,55;146,54) [73,27-179,11] $p^{120-365} = 0,0009$	1 (0;1)
Опыт	120 сут.	42,65 (30,72;48,51) [25,86-52,42] $p^{к-о} = 0,0002$	219,81 (203,53;269,66) [187,25-284,94] $p^{к-о} = 0,0009$	3 (3;4)
	365 сут.	25,74 (22,43;28,57) [20,32-34,07] $p^{к-о} = 0,1301$ $p^{120-365} = 0,0001$	138,41 (113,97;162,82) [97,69-187,25] $p^{к-о} = 0,0141$ $p^{120-365} = 0,0011$	1 (0;1)

Примечание: применяли критерий Манна – Уитни, различия статистически значимы при $p < 0,05$, $p^{к-о}$ — сравнение контроля и опыта, $p^{120-365}$ — сравнение сроков эксперимента.

Морфологическая характеристика синовиальной оболочки лучезапястного сустава опытной конечности

Через 120 суток эксперимента в синовиальной оболочке опытного сустава регистрировали статистически значимое ($p < 0,05$) относительно контроля увеличение толщины покровного слоя и численной плотности синовиальных клеток (табл. 1), которые располагались в два-три слоя (рис. 3, а). Обращало на себя внимание увеличение доли синовиоцитов макрофагального типа (более 50 % в поле зрения). Такие клетки имели эксцентрично расположенное ядро, цитоплазматические выросты, пенистую цитоплазму с зернистыми включениями (рис. 3, б). В верхнем коллагеново-эластическом слое клеточность повышена, выявлен воспалительный инфильтрат очагового и диффузного типов распределения (рис. 3, в), состоящий преимущественно из лимфоцитов, плазматических клеток и гистиоцитов. В части наблюдений отмечено формирование синовиальных ворсин (рис. 3, г).

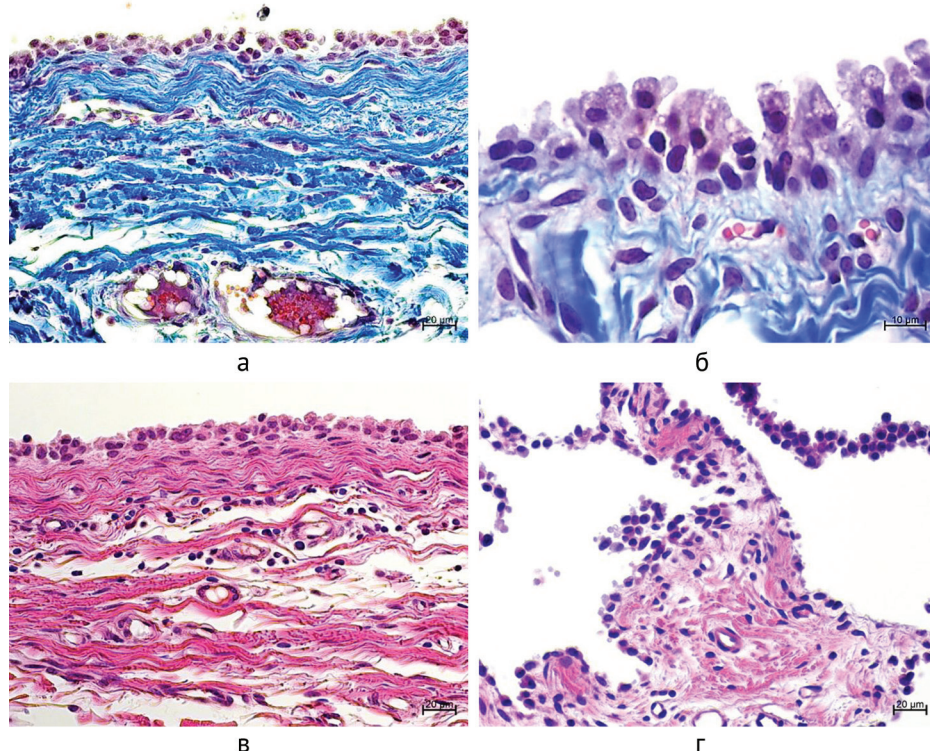


Рис. 3. Синовиальная оболочка лучезапястного сустава ягненка, срок эксперимента — 120 сут.: а — покровный и коллагеново-эластический слой; б — синовиоциты макрофагального типа; в — диффузный и периваскулярный воспалительный инфильтрат; г — формирование синовиальных ворсин. Парафиновые срезы, окраска трехцветным методом Массона (а, б), гематоксилином и эозином (в, г). Увеличение $\times 400$ (а, в, г), $\times 1000$ (б)

Полуколичественная оценка синовиальной оболочки по шкале V. Krenn et al. [18] указывала на слабо выраженный синовит (табл. 1).

Через 365 суток эксперимента в большей части наблюдений в покровном слое синовиоциты располагались в один–три слоя (рис. 4, а), синовиальные клетки имели характеристики макрофагального и фибробластического типов (рис. 4, б), отмечена тенденция к снижению доли клеток макрофагального типа (около 30 % в поле зрения) относительно предыдущего срока эксперимента и снижение значений толщины покровного слоя и численной плотности синовиоцитов. По сравнению с контролем различия параметра «толщина покровного слоя» статистически незначимы ($p > 0,05$), значения численной плотности статистически значимо ($p > 0,05$) больше (табл. 1). На большем протяжении синовиальная оболочка имела складчатую поверхность (рис. 4, в). В верхнем коллагеново-эластическом слое клеточность в большей части наблюдений — нормальная, воспалительный инфильтрат не выявлен.

Полуколичественная оценка синовиальной оболочки свидетельствовала об отсутствии синовита (табл. 1).

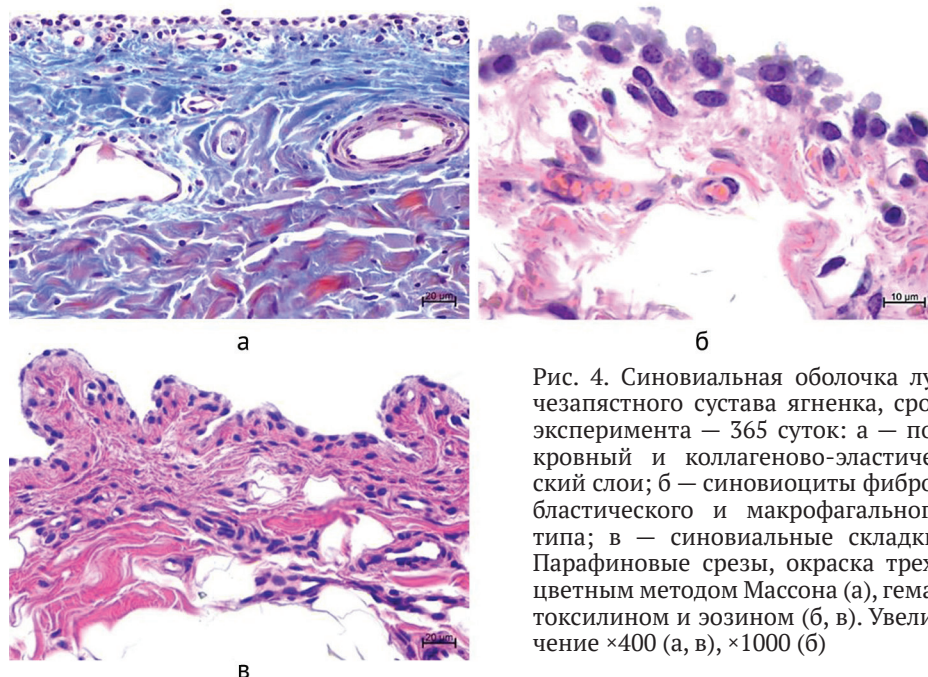


Рис. 4. Синовиальная оболочка лучезапястного сустава ягненка, срок эксперимента — 365 суток: а — покровный и коллагеново-эластический слой; б — синовиоциты фибробластического и макрофагального типа; в — синовиальные складки. Парафиновые срезы, окраска трехцветным методом Массона (а), гематоксилином и эозином (б, в). Увеличение $\times 400$ (а, в), $\times 1000$ (б)

ОБСУЖДЕНИЕ

Синовиальная оболочка играет ключевую регуляторную роль в определении состава синовиальной жидкости, отличается от других барьерных мембран уникальной архитектурой. Покровный слой (интима) синовиальной оболочки человека в норме содержит примерно 90 % фибробластоподобных и 10 % макрофагоподобных синовиоцитов. Коллагеново-эластический слой (субинтима) состоит из эластических и коллагеновых волокон (I, III, IV, V и VI типов коллагена), ламинина, фибронектина, протеогликанов и содержит фибробласты и макрофаги, симпатические и чувствительные нервы, кровеносные и лимфатические сосуды [19, 20].

Для экстраполяции экспериментальных данных в клинику наиболее подходящим животным в качестве модели исследования костно-суставной системы являются овцы, они более приближены по морфологии суставов, весу и размерам костей к человеку [21, 22, 23]. В литературе имеются единичные публикации о структуре синовиальной оболочки коленного сустава овец в разные возрастные периоды [24, 25]. Несмотря на растущее понимание роли синовиальной оболочки в патологии суставов количественные данные о структуре и функции этой ткани остаются неполными.

В данном исследовании впервые получены данные о структурной реорганизации синовиальной оболочки лучезапястного сустава овец в разные возрастные периоды. В возрасте 5,5 и 13,5 месяцев в покровном слое преобладали синовиоциты фибробластического типа, гистологические признаки синовита не выявлены. Установлено, что по мере роста животного рельеф интимального слоя изменялся от ровной поверхности в возрасте 5,5 месяцев до складчатой в возрасте 13,5 месяцев. Гистоморфометрически выявлено снижение значений параметров толщины покровного слоя и численной плотности синовиоцитов, на светооптическом уровне отмечено увеличение доли волокнистого компонента в покровном слое.

В ряде экспериментальных и клинических исследований признаки синовита были выявлены при остеосинтезе смежного с суставом сегмента конечности [26] и после эндопротезирования суставов [27, 28]. В эксперименте на взрослых собаках при замещении дефекта костей голени с помощью комбинации несвободной костной пластики по Илизарову и метода Masquelet через месяц после снятия аппарата в 70 % случаев были выявлены признаки синовита в коленном суставе [26]. N. Sugimura et al. сообщают, что выраженность синовита достигает пика через шесть месяцев после тотального эндопротезирования коленного сустава и через один–два года снижается [28].

В данном исследовании через 120 суток эксперимента оценка по шкале V. Krenn et al. [18] указывала на наличие слабо выраженного синовита у всех животных. Структурные изменения синовиальной оболочки выражались гиперплазией (за счет утолщения покровного слоя), увеличением численной плотности синовиоцитов и увеличением представительства макрофагоподобных синовиоцитов (более 50 % в поле зрения), формированием синовиальных ворсин, наличием лимфо-гистиоцитарного инфильтрата очагового и диффузного типов распределения.

Известно, что оба типа синовиальных клеток макрофагального и фибробластического выполняют различные про- и противовоспалительные функции и могут, как предотвращать воспаление, формируя противовоспалительный барьер, который способствует постоянному очищению от сигналов опасности, поступающих из синовиальной жидкости и накапливающихся вследствие механического воздействия, так и способствовать синовиальному воспалению [29, 30]. Синовиоциты макрофагального типа участвуют в фагоцитозе, продуцируют протеолитические ферменты, повреждающие хрящ, провоспалительные медиаторы, усиливая иммунный ответ и активируя фибробластоподобные синовиальные клетки. После активации фибробластоподобные синовиоциты секретируют провоспалительные цитокины (ФНО- α , ИЛ-1 β и ИЛ-6) и посредством экспрессии кадгерина-11, CD44 и матриксных металлопротеаз приобретают миграционные и инвазивные свойства формируя синовиальный паннус [20, 31, 32].

Небиорезорбируемые фиксаторы, используемые при остеосинтезе внутрисуставных переломов, могут вызывать ряд осложнений, таких как инфекция, постоянная боль (чаще всего обусловленная синовитом), артрит. Титановые фиксаторы (винты и пластины) широко используют для остеосинтеза переломов и в челюстно-лицевой онкологии благодаря их биосовместимости и благоприятным механическим свойствам, которые максимально соответствуют эластичности кости [33, 34].

В изучаемых условиях эксперимента при остеосинтезе внутрисуставного метаэпифизарного перелома дистального суставного конца лучевой кости титановыми винтами структурные изменения синовиальной оболочки имели обратимый характер. К концу эксперимента, через 365 суток, гистологические признаки синовита не выявлены, в покровном слое преобладали фибробластоподобные синовиоциты, сохранялись повышенные значения численной плотности синовиоцитов, значения толщины покровного слоя сопоставимы с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При остеосинтезе титановыми винтами внутрисуставного метаэпифизарного перелома дистального суставного конца лучевой кости у ягнят через 120 суток после операции выявлен слабо выраженный синовит, который выражался утолщением покровного слоя, увеличением численной плотности синовиоцитов и представительства синовиоцитов макрофагального типа, наличием лимфо-гистиоцитарного инфильтрата. К концу эксперимента процесс воспаления синовиальной оболочки имел обратимый характер, гистологические признаки синовита отсутствовали.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Работа поддержана программой МЗ РФ в рамках государственного задания ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» для выполнения НИР на 2024–2026 гг.

Этическая экспертиза. Исследование проведено согласно принципам Европейской конвенции ETS №123 о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (с приложением от 15.06.2006, Страсбург) и правилам надлежащей лабораторной практики (ГОСТ 33044-2014, ГОСТ 33215-2014, Гост 34088-2017, ПС СанПиН 3.3686-21)». Протокол локального этического комитета — от 29.11.2024 № 1(76).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Сулейменов Б.Ш., Рустомова К.Р. Аспекты лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости у взрослых и детей. *Астана медицинский журнал*. 2020;104(2):53–63.
- Макогонов И.В., Тарасов А.Н. Возвращаясь к вопросу о переломах костей предплечья у детей: классика и современность (обзор литературы). *Медицинский альянс*. 2025;13(2):53–58. doi: 10.36422/23076348-2025-13-2-53-58.
- Deng H, Zhao Z, Xiong Z, et al. Clinical characteristics of 1124 children with epiphyseal fractures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):598. doi: 10.1186/s12891-023-06728-9.
- Bergkvist A, Lundqvist E, Pantzar-Castilla E. Distal radius fractures in children aged 5–12 years: a Swedish nationwide register-based study of 25 777 patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):560. doi: 10.1186/s12891-023-06680-8.
- Прощенко Я.Н., Поздеева Н.А. Тактика лечения детей с внутрисуставными переломами дистального отдела плечевой кости. *Травматология и ортопедия России*. 2012;18(4):82–86. doi: 10.21823/2311-2905-2012-4-82-86.
- Семенов С.В., Малахов О.А., Шарпарь В.Д. и др. Использование эластичного титанового стержня (ten) при переломах шейки лучевой кости у детей. *Детская хирургия*. 2015;19(5):38–40.
- Коробейников А.А., Аранович А.М., Попков Д.А. Метод Илизарова при лечении детей с околосуставными переломами. *Гений ортопедии*. 2021;4(27):418–423. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-4-418-423.
- Jozsa G, Kassai T, Varga M. Preliminary experience with bioabsorbable intramedullary nails for paediatric forearm fractures: results of mini-series. *Genij Ortopedii*. 2023;29(6):640–644. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-640-644.
- Lascombes P, Journeau P, Popkov DA. Resorbable implants in paediatric orthopaedics and traumatology. *Genij Ortopedii*. 2023;29(6):629–634. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-629-634.
- Герасименко М.А., Корень М.Н., Третьяк С.И., Жук Е.В. Результаты применения малоинвазивных способов оперативных вмешательств при травмах верхней конечности у детей. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2014;(3):22–24.
- Виссарионов С.В., Большаков Г.А. Сравнительный анализ результатов хирургического лечения детей с нестабильными переломами дистального отдела лучевой кости. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2025;13(3):237–246. doi: 10.17816/PTORS676873.
- Syurabhil AH, Munajat I, Mohd EF, et al. Displaced Physeal and Metaphyseal Fractures of Distal Radius in Children. Can Wire Fixation Achieve Better Outcome at Skeletal Maturity than Cast Alone? *Malays Orthop J*. 2020;14(2):28–38. doi: 10.5704/MOJ.2007.008.
- Меркулов В.Н., Дорохин А.И., Бухтин К.М. *Детская травматология*. Под ред. Миронова С.П. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019:256.
- Агаджанян В.В., Тузовский А.А. К вопросу о лечении переломов мыщелков большеберцовой кости. *Политравма*. 2022;(2):67–77. doi: 10.24412/1819-1495-2022-2-67-77.
- Persiani P, Martini L, Calogero V, et al. Analysis of the risk of a secondary displacement in conservatively treated paediatric distal radius metaphyseal fractures. A multicentric study. *Clin Ter*. 2022;173(1):84–87. doi: 10.7417/CT.2022.2397.
- Aitchison AH, Allen NB, O'Neill CN, et al. Synovial Fluid Immune Cell Composition Following Intraarticular Fracture May Contribute to Posttraumatic Osteoarthritis. *Int J Mol Sci*. 2024;25(22):12037. doi: 10.3390/ijms252212037.
- Cepela DJ, Tartaglione JP, Dooley TP, Patel PN. Classifications In Brief: Salter-Harris Classification of Pediatric Physeal Fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(11):2531–2537. doi: 10.1007/s11999-016-4891-3.
- Krenn V, Morawietz L, Burmester GR, et al. Synovitis score: discrimination between chronic low-grade and high-grade synovitis. *Histopathology*. 2006;49(4):358–364. doi: 10.1111/j.1365-2559.2006.02508.x.
- Stefani RM, Halder SS, Estell EG, et al. A Functional Tissue-Engineered Synovium Model to Study Osteoarthritis Progression and Treatment. *Tissue Eng Part A*. 2019;25(7–8):538–553. doi: 10.1089/ten.TEA.2018.0142.
- Дыдыкина И.С., Арутюнова Е.В., Коваленко П.С. и др. Синовит при остеоартрите: современное состояние проблемы. *Современная ревматология*. 2021;15(2):120–125. doi: 10.14412/1996-7012-2021-2-120-125.
- Turner AS. Experiences with sheep as an animal model for shoulder surgery: strengths and shortcomings. *J Shoulder Elbow Surg*. 2007;16(5 Suppl):S158–S163. doi: 10.1016/j.jse.2007.03.002.
- Sartoretto SC, Uzeda MJ, Miguel FB et al. Sheep as an experimental model for biomaterial implant evaluation. *Acta Ortop Bras*. 2016;24(5):262–266. doi: 10.1590/1413-785220162405161949.
- Banstola A, Reynolds JNJ. The Sheep as a Large Animal Model for the Investigation and Treatment of Human Disorders. *Biology (Basel)*. 2022;11(9):1251. doi: 10.3390/biology11091251.
- Eitner A, Pester J, Nietzsche S, et al. The innervation of synovium of human osteoarthritic joints in comparison with normal rat and sheep synovium. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(9):1383–1391. doi: 10.1016/j.joca.2013.06.018.
- Solbak N, Achari Y, Chung M, et al. Normal sheep synovium has similar appearances and constitutive expression of inflammatory cytokines within and between knee joints: a baseline histological and molecular analysis. *Connect Tissue Res*. 2014;55(2):156–163. doi: 10.3109/03008207.2014.880427.
- Ступина Т.А., Дюрягина О.В., Моховиков Д.С. и др. Гистоморфометрические изменения синовиальной оболочки коленного сустава при комбинированном применении несвободной костной пластики по Илизарову и технологии Masquelet (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии*. 2021;27(2): 249–253. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-249-253.

27. Kurien T, Kerslake RW, Graven-Nielsen T, et al. Chronic postoperative pain after total knee arthroplasty: The potential contributions of synovitis, pain sensitization and pain catastrophizing—An explorative study. *Eur J Pain*. 2022;26(9):1979-1989. doi: 10.1002/ejp.2018.
28. Sugimura N, Aso K, Wada H, et al. Temporal changes in synovitis and chronic pain after total knee arthroplasty: A two-year longitudinal study. *Journal of Joint Surgery and Research*. 2025;3(2):96-102. doi: 10.1016/j.jjoirs.2025.04.002.
29. Knab K, Chambers D, Krönke G. Synovial Macrophage and Fibroblast Heterogeneity in Joint Homeostasis and Inflammation. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:862161. doi: 10.3389/fmed.2022.862161.
30. Khmelevskaya A, Houtman M, Buerki K, et al. OP0230 synovial fibroblasts, macrophages and dendritic cells form an inflammatory niche in rheumatoid arthritis, but not in psoriatic arthritis synovium. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2025;84(1):191-192. doi: 10.1016/j.ard.2025.05.241.
31. Bai LK, Su YZ, Wang XX, et al. Synovial Macrophages: Past Life, Current Situation, and Application in Inflammatory Arthritis. *Front Immunol*. 2022;13:905356. doi: 10.3389/fimmu.2022.905356.
32. Thangadurai M, Sethuraman S, Subramanian A. A 2D inflammatory co-culture model for investigating synovial fibroblast and macrophage interactions in rheumatoid arthritis. *Sci Rep*. 2025;15(1):30105. doi: 10.1038/s41598-025-16007-3.
33. Riviş M, Roi C, Roi A, et al. The Implications of Titanium Alloys Applied in Maxillofacial Osteosynthesis. *Appl Sci*. 2020;10(9):3203. doi: 10.3390/app10093203.
34. Barber CC, Burnham M, Ojameruaye O, McKee MD. A systematic review of the use of titanium versus stainless steel implants for fracture fixation. *OTA Int*. 2021;4(3):e138. doi: 10.1097/OI9.0000000000000138.

Статья поступила 10.10.2025; одобрена после рецензирования 01.11.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 10.10.2025; approved after reviewing 01.11.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Татьяна Анатольевна Ступина — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>;

Ольга Владимировна Дюрягина — кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией, diuriagina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

Анатолий Анатольевич Коробейников — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>;

Михаил Александрович Степанов — кандидат ветеринарных наук, ветеринарный врач, m-stepanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4930-625x>;

Николай Иванович Антонов — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, aniv-niko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>.

Information about the authors:

Tatyana A. Stupina — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>;

Olga V. Diuriagina — Candidate of Veterinary Sciences, Head of Laboratory, diuriagina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

Anatoly A. Korobeinikov — Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>;

Mikhail A. Stepanov — Candidate of Veterinary Sciences, veterinarian, m-stepanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4930-625x>;

Nikolay I. Antonov — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, aniv-niko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>.

Вклад авторов:

Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Научная статья

УДК616.718.56-001.5-089.227.84-035

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-107-115>

Выбор хирургического доступа при остеосинтезе переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости

А.Б. Кошкин ✉, М.В. Паршиков, Н.В. Ярыгин, М.В. Говоров

Российский Университет Медицины, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Арсентий Борисович Кошкин, febris@mail.ru**Аннотация**

Введение. Выбор оптимального хирургического доступа при остеосинтезе внутрисуставных переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости (переломов пилона) остается сложной задачей. Ни один из существующих доступов не обеспечивает полной визуализации суставной поверхности, что увеличивает риск осложнений и неудовлетворительной репозиции.

Цель работы — оптимизировать выбор хирургического доступа при предоперационном планировании погружного остеосинтеза внутрисуставных переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости (пилона) на основе 3D-прототипирования и стандартизированной разметки суставной поверхности.

Материалы и методы. Разработан алгоритм, основанный на создании полноразмерного 3D-прототипа по данным КТ. Суставную поверхность большеберцовой кости разделяли на девять стандартных зон. Хирургический доступ выбирали в зависимости от локализации ключевого фрагмента (занимающего $> 2/3$ зоны) или точки выхода линии перелома. Метод применили у 12 пациентов с переломами пилона АО/ОТА 43-С. Оценивали время операции, объем кровопотери, качество репозиции (по Burwell – Charnley), функциональные исходы (по шкалам AOFAS и VAS FA) и консолидацию (по mRUST) через шесть месяцев.

Результаты и обсуждение. Среднее время операции составило $(65,08 \pm 7,03)$ мин, кровопотеря — $(119,3 \pm 18,51)$ мл. Раны зажили первично без инфекционных осложнений. Качество репозиции: анатомичное — у восьми, приемлемое — у четырех пациентов. Средние баллы по AOFAS $(78,67 \pm 8,68)$ и по VAS FA $(41,08 \pm 5,05)$ свидетельствуют о хорошем функциональном восстановлении. Средний балл по mRUST $(13,5 \pm 1,43)$ подтверждает полную консолидацию. Предложенный метод объективизирует выбор доступа, устраняя субъективность, позволяет персонализировать вмешательство, комбинируя доступы для оптимальной визуализации всех фрагментов, включая труднодоступные (например, фрагмент Tillaux – Chaput).

Заключение. Метод, интегрирующий 3D-планирование и стандартизированную координатную систему, повышает точность репозиции, снижает травматичность и улучшает функциональные исходы лечения пациентов со сложными переломами пилона.

Ключевые слова: внутрисуставные переломы, дистальный метаэпифиз большеберцовой кости, перелом пилона, 3D-моделирование, хирургический доступ, остеосинтез, алгоритм выбора

Для цитирования: Кошкин А.Б., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В., Говоров М.В. Выбор хирургического доступа при остеосинтезе переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):107-115. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-107-115.



The surgical approach for osteosynthesis of metaepiphyseal fractures of the distal tibia

A.B. Koshkin✉, M.V. Parshikov, N.V. Yarigin, M.V. Govorov

Russian Medical University, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Arsenty B. Koshkin, febris@mail.ru

Abstract

Introduction The optimal surgical approach is essential for osteosynthesis of intra-articular fractures of the distal tibial metaphysis (pilon fractures). None of the existing approaches provides complete visualization of the articular surface, increasing the risk of complications and inadequate reduction.

The **objective** was to optimize the choice of surgical approach in preoperative planning of internal osteosynthesis of intra-articular fractures of the distal metaepiphysis of the tibia (pilon) based on 3D prototyping and standardized marking of the articular surface.

Material and methods An algorithm developed was based on a full-size 3D prototype and CT data. The articular surface of the tibia was divided into nine standard zones. The surgical approach was selected depending on the location of the key fragment (occupying $> 2/3$ of the zone) or the fracture line exit point. The method was used in 12 patients with AO/OTA 43-C pilon fractures. Surgical time, blood loss, the quality of postoperative fracture reduction categorized according to the Burwell-Charnley criteria, functional outcomes measured with AOFAS and VAS FA grading scales, and radiographic union determined with the mRUST scale were assessed at six months.

Results and discussion The mean operating time was (65.08 ± 7.03) min, blood loss was (119.3 ± 18.51) ml. The wounds healed by primary intention without infectious complications. The quality of reduction was anatomical in eight patients and acceptable in four patients. The mean AOFAS (78.67 ± 8.68) and VAS FA (41.08 ± 5.05) scores indicated good functional recovery. The mean mRUST score (13.5 ± 1.43) suggested complete consolidation. The method objectified the surgical approach avoiding subjectivity and allowed for personalized intervention by combining approaches for optimal visualization of all fragments, including hard-to-reach ones (e.g., Tillaux – Chaput fragment).

Conclusion The method integrating 3D planning and a standardized coordinate system improves reposition accuracy, reduces morbidity, and improves functional outcomes in patients with complex pilon fractures.

Keywords: intra-articular fracture, distal tibia metaepiphysis, pilon fracture, 3D-model, surgical approach, osteosynthesis, selection algorithm

For citation: Koshkin AB, Parshikov MV, Yarigin NV, Govorov MV. The surgical approach for osteosynthesis of metaepiphyseal fractures of the distal tibia. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):107-115. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-107-115.

ВВЕДЕНИЕ

Остеосинтез переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости (ББК) является операцией с высокими требованиями к квалификации хирурга и оснащению клиники. Для успешного выполнения этой операции необходимо учитывать множество факторов, включая выбор хирургического доступа, технику операции, срок выполнения вмешательства и послеоперационную реабилитацию. Переломы пилона чаще возникают в результате высокоэнергетической травмы, сопровождаются массивным, требующим восстановления разрушением суставной поверхности ББК и тяжелым повреждением мягко-тканного футляра. Поэтому бережное обращение с мягкими тканями в ходе выполнения хирургического доступа является залогом успешного их заживления.

В настоящее время описано большое количество хирургических доступов к дистальному отделу ББК, среди которых выделяют медиальный, переднемедиальный, переднелатеральный, латеральный, заднелатеральный и заднемедиальный. Каждый из этих доступов позволяет визуализировать лишь часть пилона и выполнить репозицию соответствующего фрагмента его суставной поверхности [1]. Концепция стабильности остеосинтеза легла в основу теории колонн. Согласно этой теории, дистальный отдел ББК делится на три колонны (латеральную, медиальную и заднюю), каждая из которых требует отдельной фиксации. Это зачастую диктует необходимость комбинации разных доступов. Основная проблема заключается в том, что увеличение их числа при хирургическом вмешательстве позволяет повысить стабильность создаваемой конструкции, но в то же время существенно увеличивает риск осложнений (инфекции, некрозов мягких тканей, несросшихся переломов), что ставит перед хирургом сложную задачу, — найти оптимальный баланс между надёжностью фиксации и минимальной операционной травмой [2]. Б.А. Майоров с соавт. разработали концепцию «дооперационной визуализации на 360°», которая основана на комплексном анализе рентгенологических и КТ-данных [3]. Эта концепция позволяет детально изучить индивидуальные особенности архитектоники перелома, точно визуализировать все элементы повреждения, определить наиболее рациональные хирургические доступы, а также подобрать и оптимально расположить имплантаты. Подобный подход обеспечивает проведение тщательного и обоснованного предоперационного планирования, что существенно повышает точность хирургического вмешательства. При этом четкого пошагового алгоритма выбора хирургического доступа это исследование не предлагает.

Ключевым моментом при выборе доступа является анализ морфологии перелома. Р.А. Cole et al. исследовали распределение линий перелома и расположение основных фрагментов кости в 38 случаях многооскольчатых переломов АО/ОТА 43-С3 дистального метаэпифиза ББК и пришли к выводу, что хорошее понимание морфологии перелома должно определять выбор хирургического доступа [4]. Однако в этом исследовании не дано детального объяснения того, как следует выбирать хирургический доступ в зависимости от конкретного распределения линий перелома и костных фрагментов.

Н. Kleinetz et al. изучили эффективность четырех хирургических доступов к дистальному отделу ББК (переднемедиального, переднелатерального, заднемедиального и заднелатерального) и влияние инструментальной дистракции на визуализацию суставной поверхности на кадаверном материале [5]. В исследовании авторы использовали стандартизированную методику разметки суставной поверхности для объективной оценки доступности различных анатомических зон через хирургические доступы: суставную поверхность разделяли на сегменты, чтобы можно было количественно оценить, какая часть доступна и соответствует каждому из них. Разметку выполняли в координатной системой на основе анатомических ориентиров (например, переднего и заднего краев суставной поверхности). Каждой зоне присвоен уникальный номер-идентификатор, что позволяло сравнивать доступность областей между разными хирургическими доступами. Для каждого доступа оценивали, какой процент суставной поверхности визуализирован с дистракцией и без неё. Видимые зоны маркировали, затем вычисляли процент доступной поверхности при помощи специального программного обеспечения. Исследователи пришли к выводу о том, что без дистракции большинство доступов обеспечивали крайне ограниченную видимость, при этом максимальную видимость достигали при задне-латеральном доступе (30 %), а минимальную — при переднемедиальном. С дистракцией видимость суставной поверхности значительно увеличивалась, особенно при переднелатеральном (до 72 %) и переднемедиальном (до 63 %) доступах. При этом ни один из них не обеспечивал полной визуализации суставной поверхности.

Результаты применения 3D-планирования хирургического лечения пациентов с переломами дистального метаэпифиза ББК нами подробно изложены в статье М.В. Паршикова с соавт. [6]. По сравнению с традиционными методами, применение 3D-технологий планирования остеосинтеза переломов пилона, включая выбор хирургического доступа, позволило добиться значительного сокращения времени операции, уменьшения интраоперационной кровопотери и снижения лучевой нагрузки. Качество репозиции отломков и функциональные исходы лечения оказались заметно лучше в группе с 3D-моделированием.

Однако при дальнейшем анализе исходов выявлены некоторые ошибки и осложнения, которые можно разделить на три группы:

- 1 — ошибки подготовки и печати 3D-моделей. На начальном этапе возникали проблемы с сегментацией КТ-данных (включение артефактов, пропуск мелких фрагментов), дефекты печати из-за некачественного филамента и некорректной калибровки принтера. Их устраняли ручной коррекцией STL-файлов и использованием более качественных материалов;
- 2 — собственно ошибки планирования хирургического доступа. В 4 % случаев в группе с 3D-моделированием возникала необходимость продления разреза, в то время как в контрольной группе такая необходимость возникла в 7 % случаев;
- 3 — послеоперационные осложнения. У одного пациента группы с 3D-моделированием и двух пациентов контрольной группы наблюдали расхождение краев раны после снятия швов. Во всех случаях ширина расхождения не превышала 3 мм, а протяженность — 2 см. Для лечения использовали кожные стерильные стрипы, повторного наложения швов не потребовалось. Глубоких нагноений ни в одной группе не зарегистрировано.

Если для предупреждения осложнений первой группы (ошибки подготовки и печати 3D-моделей) существуют понятные и эффективные методы, то для профилактики осложнений второй и третьей групп необходимо оптимизировать доступ/ы при хирургическом вмешательстве, выбор которых пока нередко вызывает трудности.

Таким образом, ни один хирургический доступ не является универсальным. Для создания оптимального алгоритма выбора хирургического доступа требуется компромисс между визуализацией и риском осложнений с учётом состояния мягких тканей.

Цель работы — оптимизировать способ выбора хирургического доступа при предоперационном планировании погружного остеосинтеза внутрисуставных переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости (пилона) на основе 3D-прототипирования и стандартизированной разметки суставной поверхности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Описание метода

В рамках предоперационного планирования на основе данных компьютерной томографии (КТ) изготавливали 3D-прототип по следующей методике: файлы dicom переводили в формат STL, после чего их подавали на печать на 3D-принтер. Далее, используя результаты кадаверного исследования Н. Kleinertz et al. [5], на суставной поверхности производили разметку, соединяя крайнюю переднюю точку и крайнюю заднюю точки на дистальной поверхности ББК, прилежащей к внутренней лодыжке, и этот отрезок принимали за внутреннюю сторону квадрата. Соответственно внутренней стороне достраивали заднюю, латеральную и переднюю стороны. Полученный большой квадрат делили на девять равных внутренних квадратов, меньших по размерам: переднемедиальный, передне-центральный, переднелатеральный, средне-медиальный, средне-центральный, средне-латеральный, задне-медиальный и задне-латеральный (рис. 1), соответствующих девяти зонам, расположенным на суставной поверхности.

Выбирали самый крупный фрагмент на суставной поверхности 3D-прототипа (далее — ключевой фрагмент), который репонировали в первую очередь и определяли его координаты на разметке. Если более 2/3 фрагмента соответствовали определённому квадрату, то его координаты закрепляли за ним. При наличии двух фрагментов одинаковой величины, выбирали два доступа таким же образом. При расположении фрагмента в зоне двух и более квадратов определяли координаты не фрагмента, а точки выхода линии перелома на переднюю или заднюю поверхность. При отсутствии фрагментов площадью, покрывающей более 2/3 фрагментов, применение метода оказалось нецелесообразным, так как в этих случаях показано лечение в компрессионно-дистракционном аппарате.



Рис. 1. Разметка суставной поверхности пилон: переднемедиальный (ПМ), передне-центральный (ПЦ), переднелатеральный (ПЛ), средне-медиальный (СМ), средне-центральный (СЦ), средне-латеральный (СЛ), задне-медиальный (ЗМ), задний центральный (ЗЦ), задне-латеральный (ЗЛ)

В зависимости от локализации фрагмента и точки выхода линии перелома в определенном квадрате, выбирали доступ из описанных классических доступов АО:

Квадрат	Доступ
Передне-медиальный	Передне-медиальный
Передне-центральный	Передне-латеральный
Передне-латеральный	Передне-латеральный
Средне-медиальный	Задне-медиальный
Средне-центральный	Передне-латеральный, задне-латеральный
Средне-латеральный	Передне-латеральный, задне-латеральный
Задне-медиальный	Задне-медиальный
Задне-центральный	Задне-латеральный
Задне-латеральный	Задне-латеральный

Исследование проводили на базе отделения травматологии Университетской клиники научно-образовательного института клинической медицины им. Н.А. Семашко Российского Университета Медицины в период с 01.01.2024 по 31.12.2024.

Исследование одобрено Этическим комитетом Российского Университета Медицины (протокол от 15.12.2023 № 12-23).

В исследование включено 12 пациентов с внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза ББК (10 пациентов с типом 43C2 и два пациента с типом 43C3). Всем пациентам при поступлении выполнен остеосинтез аппаратом наружной фиксации. Данные КТ после наложения аппарата наружной фиксации использовали для создания 3D-модели, по которой определяли хирургический доступ по указанной методике. Погружной остеосинтез выполняли после спахания отека. Период между датами госпитализации и операции составил $(8,2 \pm 3,2)$ дня. Интраоперационно оценивали продолжительность вмешательства и объём кровопотери по гравиметрическому методу. Время операции составило $(65,08 \pm 7,03)$ минут, кровопотеря — $(119,3 \pm 18,51)$ мл.

Послеоперационные раны зажили в срок, гнойно-воспалительных осложнений не зарегистрировано. Эффективность репозиции оценивали по критериям Burwell – Charnley [7]: у восьми пациентов результат оценен как anatomical (анатомичный), у четырех — как fair (приемлемый). Неудовлетворительных результатов не выявлено.

Функциональные результаты оценивали через шесть месяцев после операции по шкале AOFAS AHS [8] и визуально-аналоговой шкале VAS FA [9]. Значения $(78,67 \pm 8,68)$ баллов по AOFAS и $(41,08 \pm 5,05)$ балл по VAS FA соответствуют хорошему функциональному восстановлению голеностопного сустава и высокой степени удовлетворённости пациентов. Показатель консолидации перелома по модифицированной шкале mRUST [10] $(13,5 \pm 1,43)$ указывает на завершённую консолидацию перелома.

Клинический пример

Пациент 52 лет поступил с диагнозом «закрытый многооскольчатый внутрисуставной перелом дистального метаэпифиза левой ББК со смещением отломков». Травма получена в результате падения с высоты четыре метра на прямые ноги. Через шесть часов после поступления в стационар осуществили фиксацию левой голени и стопы аппаратом наружной фиксации, после чего выполнили компьютерную томографию, на основании которой изготовили полноразмерный 3D-прототип (рис. 2). Произвели разметку суставной поверхности прототипа (рис. 3) и определили ключевые фрагменты, — задне-латеральный и передне-латеральный, точки выхода перелома — в передне-центральный и задне-медиальном квадратах.

На основании полученных данных выбрали хирургические доступы: заднемедиальный и передне-латеральный. Осуществлён остеосинтез из этих доступов с установкой передне-латеральной пластины и 1/3 трубчатой пластины сзади (рис. 4). Задне-медиальный доступ позволил полностью визуализировать перелом заднего края ББК, осуществить репозицию отломков *ad osculus* и уложить ранее премоделированную при помощи 3D-прототипа 1/3 трубчатую пластину. Далее пациента перевернули на спину, выполнили передне-латеральный доступ. Метадиафизарный компонент перелома фиксировали передне-латеральной премоделированной L-образной пластиной, передне-латеральный фрагмент (Charput) — винтом. Применённый доступ позволил визуализировать передний край вырезки малоберцовой кости для прецизионной репозиции фрагмента Charput.

Послеоперационный период протекал без осложнений, раны зажили первичным натяжением. Больной разрабатывал движения в оперированном голеностопном суставе в течение восьми недель. Через шесть месяцев после операции на контрольном осмотре результат лечения оценён как удовлетворительный.

По шкале AOFAS AHS сумма баллов составила 82 балла, по шкале VAS-FA — 41 балл, в обоих случаях сумма баллов соответствовала отличным результатам. При оценке рентгенограмм (рис. 5) по критериям mRUST получено 13 баллов, что соответствует перелому в стадии консолидации. Миграции фиксаторов, вторичного смещения не выявлено.



Рис. 2. 3D-реконструкция данных компьютерной томографии перелома и его 3D-прототип

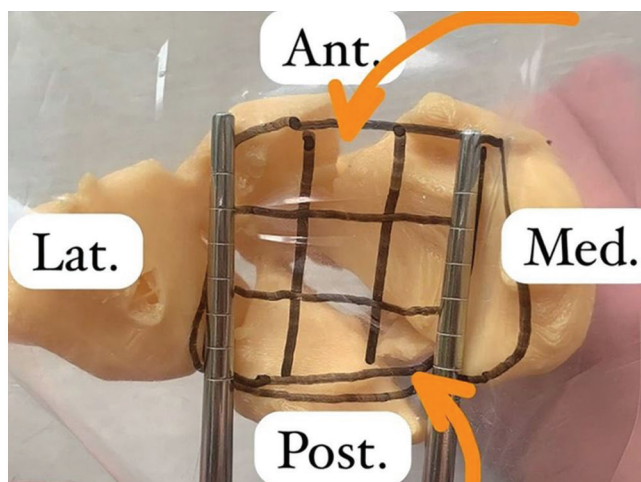


Рис. 3. Разметка суставной поверхности 3D-прототипа с указанием точки выхода линий перелома на переднюю и заднюю поверхность ББК

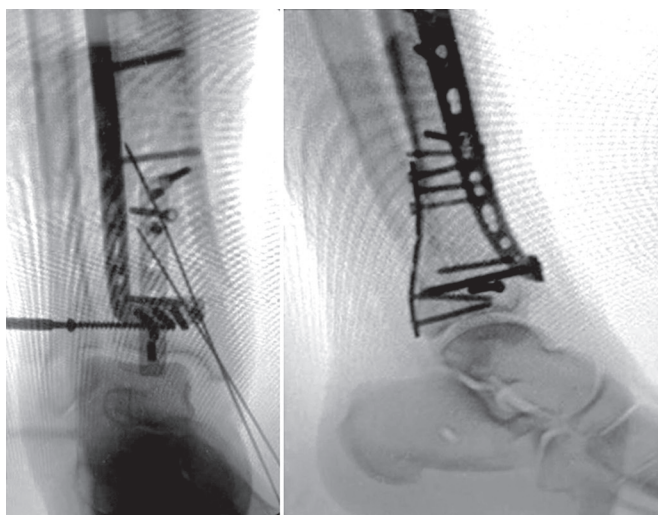


Рис. 4. Интраоперационные рентгенограммы пациента в прямой и боковой проекциях

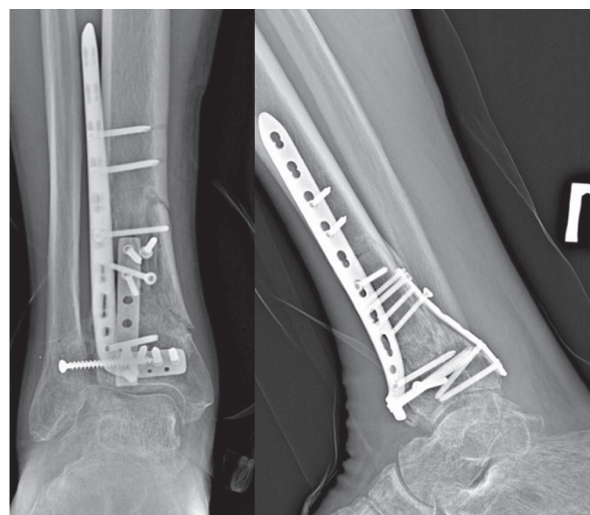


Рис. 5. Рентгенограммы через шесть месяцев после операции

ОБСУЖДЕНИЕ

Знание точных морфологических характеристик перелома дистального метаэпифиза ББК является ключевым слагаемым успеха лечения. На сегодняшний день классические принципы лечения пациентов с переломами пилона и классические хирургические доступы, предложенные T. Ruedi и M. Allgower, по-прежнему широко применяют. Однако морфологические варианты этих переломов очень разнообразны, вследствие чего механическое копирование принципов и хирургических доступов может привести к неожиданным исходам и в некоторых тяжелых случаях даже к неудаче лечения.

M. Assal et al. при выборе хирургического доступа рекомендуют ориентироваться на биомеханику повреждения с целью установки опорной пластины на сторону компрессии [11]. Эксперты группы AO R. Buckley и A. Sands при выборе доступа предлагают учитывать размер передне-латерального фрагмента [12]. При больших размерах и близости плоскости перелома к медиальной лодыжке рекомендован передне-медиальный доступ, при меньших размерах передне-латерального фрагмента и более латеральном расположении плоскости перелома, передне-латеральный доступ. Недостатком этого способа является отсутствие определения передне-латерального фрагмента, четких критериев «большого» и «меньшего» его размера и «близости линии перелома к медиальной лодыжке».

J. Liu et al. в мета-анализе 19 статей (733 пациента) о хирургических доступах и исходах лечения при открытой репозиции и внутренней фиксации переломов пилонотомии отметили, что 30 % операций были выполнены из передне-латерального доступа. Средняя частота осложнений составила 16 %, наименьшую частоту наблюдали при медиальном (11,7 %) и переднем (11,8 %) хирургических доступах, наибольшую — при заднебоковом (23 %) и переднемедиальном (22,8 %) доступах. Максимально тяжелые осложнения зарегистрированы при переднелатеральном доступе (12 случаев). Наиболее распространенными осложнениями были несостоятельность раны (21 %), замедленное сращение или несращение (19 %), инфекция мягких тканей (17 %). Различия в частоте осложнений могло быть связано не только с самим доступом, но и с типом перелома или другими факторами (например, техникой хирургического вмешательства, временем операции, использованием антибиотиков). Однако в исследовании отсутствовало непосредственное сравнение разных хирургических доступов [13].

В.Г. Бабовников с соавт. при фрагментации заднего и внутреннего отделов метаэпифиза ББК выбирали дугообразный задне-внутренний доступ с продолжением разреза на переднюю поверхность в случае необходимости [14]. Этот доступ, по мнению авторов, обеспечивает хороший визуальный контроль всей суставной поверхности. При разрушении переднего и центрального отделов суставной площадки метаэпифиза применяли передний доступ по внутреннему краю сухожилия передней большеберцовой мышцы с дугообразным продолжением по передней суставной поверхности кнаружи. Данное исследование, систематизирующее большой клинический опыт в лечении пациентов с внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза ББК имело ограничения. Выбор только между двумя доступами снижает возможности визуализации и фиксации всех фрагментов, ни один подход не обеспечивает полноценного обзора передне-латеральных фрагментов (Charput), что может ухудшить точность репозиции и отдаленные результаты. Кроме того, задне-внутренний доступ требует работы вблизи сосудисто-нервного пучка, создавая риск его повреждения.

T. Urrutia et al. при сравнении классических хирургических доступов к пилону ББК на кадаверном материале выявили, что антеромедиальный доступ обеспечивает наибольшую площадь экспозиции (18,36 см²), а антеролатеральный — наибольший сегмент по окружности (72°). Авторы подчеркивают, что при выборе доступа должна быть учтена стратегия репозиции, например, постеромедиальный доступ оптимален для заднего фрагмента Фолькмана, а передне-латеральный — для передне-латерального фрагмента Tillaux – Charput [15].

B. Puha et al. предлагают оценивать суставную поверхность ББК по данным КТ, выполненной после установки аппарата наружной фиксации. Авторы выделяют медиальный, центральный, передний и латеральный фрагменты, для фиксации медиальных и центральных фрагментов выбирают медиальный доступ, для переломов с преимущественно передними фрагментами — передний доступ, а для переломов с большим латеральным компонентом или для одновременной фиксации малоберцовой кости — антеролатеральный доступ [16].

А.В. Миронов с соавт. при выборе хирургического доступа предлагают ориентироваться на четырехколонную классификацию Tang: при наибольшем повреждении медиальной колонны использовать передний медиальный доступ, при повреждении латеральной колонны — передне-латеральный, при повреждении задней колонны — задний [17]. Но данный метод не учитывает возможность одновременного повреждения нескольких колонн, а в случае повреждения задней колонны не конкретизирует доступ.

R.A. Cole et al. при изучении на КТ распределения линий переломов и положения основных фрагментов у 38 пациентов с оскольчатыми внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза ББК отмечают три основных фрагмента в переднелатеральной, медиальной и заднелатеральной зонах. Авторы подчеркивают, что рациональный выбор хирургического доступа может быть основан на понимании морфологии перелома [4]. При этом конкретного алгоритма выбора доступа авторы не предлагают. Многие авторы исследований, посвященных стратегии лечения этих переломов, также рекомендуют учитывать данные КТ при выборе доступа [18–20].

Y. Zhao et al. утверждают, что выбор хирургического доступа, основанный на анализе КТ перелома, позволяет точно восстановить суставную поверхность и достичь стабильной фиксации, что в свою очередь обеспечивает хорошие функциональные результаты и снижает количество осложнений. Так, при наличии крупных задних фрагментов с распространением на тарзальный канал или медиальную лодыжку используют заднемедиальный доступ, а переднюю часть ББК и переломы малоберцовой кости визуализируют через переднелатеральный доступ. При небольших задних маллеолярных фрагментах без распространения на тарзальный канал для репозиции заднего фрагмента ББК и латеральной лодыжки применяют заднелатеральный доступ, а передние фрагменты визуализируют через передне-медиальный доступ с коррекцией положения разреза в зависимости от локализации центрального импрессионного фрагмента [21]. Преимуществом данного метода можно считать то, что он базируется

на данных КТ. Однако фокус внимания авторов этой публикации сосредоточен на задних отделах голеностопного сустава, что не позволяет считать выбор доступа универсальным для всего множества морфологических вариантов переломов пилона.

В отличие от предыдущих исследований разработанный метод предлагает объективную количественную оценку локализации ключевых фрагментов с помощью стандартизированной разметки суставной поверхности. Это исключает субъективность в выборе доступа и позволяет точно определить, какой фрагмент требует первичной репозиции.

Метод позволяет комбинировать классические доступы в зависимости от конкретной морфологии перелома, что обеспечивает лучшую визуализацию всех фрагментов, включая переднелатеральные (Charut), и снижает риск некорректной репозиции. Кроме того, он учитывает одновременное повреждение нескольких колонн и предлагает конкретные доступы для каждого случая, включая задние фрагменты (например, заднелатеральный или заднемедиальный доступы).

Основа метода — 3D-прототипирование, позволяющее точно смоделировать перелом и заранее определить оптимальные доступы, снизить риск некроза мягких тканей, оптимизировать визуализацию фрагментов, уменьшить частоту инфекционных осложнений и расхождения ран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный метод представляет собой синтез современных технологий 3D-планирования, стандартизированного топографического анализа и персонализированного подхода. Его внедрение в клиническую практику позволит не только оптимизировать выбор хирургического доступа при остеосинтезе переломов пилона, но и существенно повысить точность репозиции, стабильность фиксации и безопасность вмешательства в целом. Применение данного подхода открывает новые возможности для совершенствования хирургического лечения пациентов со сложными внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза большеберцовой кости.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Информированное согласие. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и фотографий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бельский И.Г., Мануковский В.А., Майоров Б.А. и др. *Современные принципы диагностики и лечения переломов пилона большеберцовой кости*. Санкт-Петербург: Медиалитер; 2022:70.
2. Майоров Б.А., Бельский И.Г., Сергеев Г.Д., Гадоев К.К. Малоинвазивный остеосинтез закрытого перелома дистального метаэпифиза большеберцовой кости со смещением отломков. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2023;(3):38-49. doi: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-38-49.
3. Майоров Б.А., Бельский И.Г., Кочиш А.Ю., Сергеев Г.Д. Сходства и особенности современных подходов к хирургическому лечению при внутрисуставных переломах проксимального и дистального метаэпифизов большеберцовой кости. *Медицинский альянс*. 2023;11(3):56-68. doi: 10.36422/23076348-2023-11-3-56-68.
4. Cole PA, Mehrle RK, Bhandari M, Zlowodzki M. The pilon map: fracture lines and comminution zones in OTA/AO type 43C3 pilon fractures. *J Orthop Trauma*. 2013;27(7):e152-6. doi: 10.1097/BOT.0b013e318288a7e9.
5. Kleinert H, Tessarzik M, Schoof B, et al. Visualization of the distal tibial plafond articular surface using four established approaches and the efficacy of instrumented distraction: a cadaveric study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022;48(5):4031-4041. doi: 10.1007/s00068-022-01927-w.
6. Паршиков М.В., Кошкин А.Б., Ярыгин Н.В. и др. Опыт применения 3D-моделирования в лечении переломов пилона (дистального метаэпифиза большеберцовой кости). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2024;31(1):31-43. doi: 10.17816/vto606713.
7. Burwell HN, Charnley AD. The treatment of displaced fractures at the ankle by rigid internal fixation and early joint movement. *J Bone Joint Surg Br*. 1965;47(4):634-660.
8. Фомичев В.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С. и др. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы AOFAS-AHS. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):78-86. doi: 10.17816/2311-2905-16494.
9. Saarinen AJ, Uimonen MM, Sandelin H, et al. Minimal important change for the visual analogue scale foot and ankle (VAS-FA). *Foot Ankle Surg*. 2021;27(2):196-200. doi: 10.1016/j.fas.2020.04.005.
10. Plumarom Y, Wilkinson BG, Willey MC, et al. Sensitivity and specificity of modified RUST score using clinical and radiographic findings as a gold standard. *Bone Jt Open*. 2021;2(10):796-805. doi: 10.1302/2633-1462.210.BJO-2021-0071.R1.
11. Assal M, Ray A, Stern R. Strategies for surgical approaches in open reduction internal fixation of pilon fractures. *J Orthop Trauma*. 2015;29(2):69-79. doi: 10.1097/BOT.0000000000000218.
12. Buckley R, Sands A. *Anteromedial or anterolateral approach to the distal tibia? AO Surgery Reference*. Available from: <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/distal-tibia/approach/anteromedial-or-anterolateral-approach>. Accessed Nov 11, 2025.
13. Liu J, Smith CD, White E, Ebraheim NA. A Systematic Review of the Role of Surgical Approaches on the Outcomes of the Tibia Pilon Fracture. *Foot Ankle Spec*. 2016;9(2):163-168. doi: 10.1177/1938640015620637.
14. Бабовников В.Г., Бабовников А.В., Цыпурский И.Б. Лечение переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2003;10(1):42-45. doi: 10.17816/vto200310142-45.

15. Urrutia T, Faundez J, Vidal C, et al. Visualizing access in pilon fractures: A comparative study of eight approaches. *Foot Ankle Surg.* 2025;31(6):539-546. doi: 10.1016/j.fas.2025.02.009.
16. Puha B, Petreus T, Berea G, et al. Surgical approach in difficult tibial pilon fractures. *Chirurgia (Bucur).* 2014;109(1):104-110.
17. Миронов А.В., Редько И.А., Магомедова З.М. Метод открытой репозиции и внутренней фиксации в лечении пациентов с переломом пилона. Кремлевская медицина. *Клинический вестник.* 2018;4(2):32. doi:10.26269/s22q-a387.
18. Mair O, Pflüger P, Hoffeld K, et al. Management of Pilon Fractures-Current Concepts. *Front Surg.* 2021;8:764232. doi: 10.3389/fsurg.2021.764232.
19. Stillhard PF, Frima H, Sommer C. Pilon fractures-considerations for treatment strategies and surgical approaches. *Oper Orthop Traumatol.* 2018;30(6):435-456. German. doi: 10.1007/s00064-018-0570-8.
20. Zelle BA, Dang KH, Ornell SS. High-energy tibial pilon fractures: an instructional review. *Int Orthop.* 2019;43(8):1939-1950. doi: 10.1007/s00264-019-04344-8.
21. Zhao Y, Wu J, Wei S, et al. Surgical approach strategies for open reduction internal fixation of closed complex tibial Pilon fractures based on axial CT scans. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):283. doi: 10.1186/s13018-020-01770-y.

Статья поступила 08.09.2025; одобрена после рецензирования 25.09.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 08.09.2025; approved after reviewing 25.09.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Арсентий Борисович Кошкин — ассистент кафедры, врач — травматолог-ортопед, febris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7616-2255>, eLibrary SPIN: 4561-6000;

Михаил Викторович Паршиков — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, <https://orcid.org/0000-0003-4201-4577>, eLibrary SPIN: 5838-4366;

Николай Владимирович Ярыгин — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, <https://orcid.org/0000-0003-4322-6985> eLibrary SPIN: 3258-4436;

Михаил Владимирович Говоров — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, <https://orcid.org/0000-0003-4873-3230>, eLibrary SPIN: 5444-1777.

Information about the authors:

Arsenty B. Koshkin — Assistant at the Department, orthopaedic surgeon, febris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7616-2255>, eLibrary SPIN: 4561-6000;

Mikhail V. Parshikov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, <https://orcid.org/0000-0003-4201-4577>, eLibrary SPIN: 5838-4366;

Nikolay V. Yargin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, <https://orcid.org/0000-0003-4322-6985>, eLibrary SPIN: 3258-4436;

Mikhail V. Govorov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, <https://orcid.org/0000-0003-4873-3230>, eLibrary SPIN: 5444-1777.

Вклад авторов:

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом:

Паршиков М.В., Кошкин А.Б., Говоров М. В. — сбор и обработка материала;

Кошкин А.Б., Говоров М.В. — написание текста;

Паршиков М.В., Ярыгин Н.В., Кошкин А.Б. — редактирование текста.



Хирургическое лечение хронической продольной лучелоктевой диссоциации предплечья (повреждение Эссекс-Лопрести)

**К.А. Егiazарян¹, А.П. Ратьев¹, С.Н. Бирюков², В.В. Баранов², Н.С. Ершов¹✉,
Д.С. Власов², К.К. Батчаев²**

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

² Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Сергеевич Ершов, ensne@yandex.ru

Аннотация

Введение. Повреждение Эссекс-Лопрести представляет собой перелом головки лучевой кости и разрыв межкостной мембраны предплечья, и приводит к нарушению продольного взаимоотношения лучевой и локтевой костей и возникновению продольной лучелоктевой диссоциации. Большинство повреждений Эссекс-Лопрести распознают в отсроченном периоде, хирургическое лечение вызывает большие сложности даже для опытного травматолога-ортопеда.

Цель работы — продемонстрировать и проанализировать результаты первого применения многокомпонентного хирургического лечения повреждения Эссекс-Лопрести у пациента с хроническим вариантом данной травмы.

Материалы и методы. Описан процесс установления клинического диагноза пациенту 29 лет с хроническим вариантом повреждения Эссекс-Лопрести, проанализировано первое применение многокомпонентного хирургического лечения в объеме эндопротезирования головки лучевой кости, восстановления дистального лучелоктевого сочленения по технике Адамса – Бергера, корригирующей укорачивающей остеотомии локтевой кости, пластики межкостной мембраны искусственным трансплантатом, пластики локтевой латеральной коллатеральной связки аутооттрансплантатом.

Результаты. Через шесть месяцев отмечено уменьшение болевого синдрома и увеличение объема движения смежных суставов. При контрольной рентгенографии предплечья выявлен срастающийся перелом локтевой кости.

Обсуждение. Многокомпонентное хирургическое лечение хронического повреждения Эссекс-Лопрести обеспечивает восстановление анатомических взаимоотношений костей предплечья и коррекцию сопутствующих связочных повреждений, что значительно улучшает клинические и функциональные исходы даже при отсроченном лечении. Ранняя диагностика и вовремя начатая реконструкция структур предплечья являются основополагающими факторами для предупреждения необратимых изменений и сохранения функции верхней конечности.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует возможности применения многокомпонентного хирургического подхода в качестве одноэтапной технологии лечения пациентов с хроническим вариантом лечения повреждения Эссекс-Лопрести.

Ключевые слова: нестабильность локтевого сустава, нестабильность предплечья, лучелоктевая диссоциация, пластика межкостной мембраны предплечья, пластика дистального лучелоктевого сочленения, корригирующая остеотомия, повреждение Эссекс-Лопрести

Для цитирования: Егиазарян К.А., Ратьев А.П., Бирюков С.Н., Баранов В.В., Ершов Н.С., Власов Д.С., Батчаев К.К. Хирургическое лечение хронической продольной лучелоктевой диссоциации предплечья (повреждение Эссекс-Лопрести). *Гений ортопедии*. 2026;32(1):116-123. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-116-123.

Clinical case



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-116-123>

Surgical treatment of chronic longitudinal radioulnar dissociation (Essex-Lopresti injury)

K.A. Egiazaryan¹, A.P. Ratyev¹, S.N. Biriukov², V.V. Baranov², N.S. Ershov¹✉, D.S. Vlasov², K.K. Batchaev²

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

² Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

Corresponding author: Nikita S. Ershov, ensne@yandex.ru

Abstract

Introduction An Essex-Lopresti lesion is a fracture of the radial head and a rupture of the interosseous membrane of the forearm, resulting in disruption of the longitudinal relationship between the radius and ulna, leading to longitudinal radioulnar dissociation. Most Essex-Lopresti injuries are diagnosed late, and surgical treatment is challenging even for an experienced orthopaedic surgeon.

The **objective** was to demonstrate and analyze the results of multicomponent surgical treatment first applied for a patient with a chronic Essex-Lopresti injury.

Material and methods A 29-year-old patient was diagnosed with a chronic Essex-Lopresti injury first treated with multicomponent surgical treatment including replacement of the radial head, Adams – Berger ligament reconstruction for the distal radioulnar joint, ulnar corrective shortening osteotomy, interosseous membrane reconstruction using synthetic graft, lateral ulnar collateral ligament reconstruction with an autograft.

Results Pain improved and range of motion increased in adjacent joints at six months. A follow-up X-ray of the forearm showed a consolidating fracture of the ulna.

Discussion Multicomponent surgical treatment of chronic Essex-Lopresti injury ensures restoration of the anatomical relationships of the forearm bones and correction of associated ligamentous injuries improving clinical and functional outcomes even with delayed treatment. Early diagnosis and timely reconstruction of the forearm structures are essential for prevention of irreversible changes providing functionality of the upper limb.

Conclusion The study demonstrated the potential of a multi-component surgical approach as a single-stage treatment for patients with chronic Essex-Lopresti injury.

Keywords: elbow joint instability, forearm instability, radioulnar dissociation, reconstruction of the forearm interosseous membrane, distal radioulnar joint plasty, corrective osteotomy, Essex-Lopresti injury

For citation: Egiazaryan KA, Ratyev AP, Biriukov SN, Baranov VV, Ershov NS, Vlasov DS, Batchaev KK. Surgical treatment of chronic longitudinal radioulnar dissociation (Essex-Lopresti injury). *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):116-123. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-116-123.

ВВЕДЕНИЕ

Повреждение Эссекс-Лопрести, или продольная лучелоктевая диссоциация, характеризуется повреждением головки лучевой кости, межкостной мембраны и дистального лучелоктевого сочленения, причиной повреждения является высокоэнергетическая травма [1]. Повреждение Эссекс-Лопрести встречается довольно редко среди травм опорно-двигательного аппарата, — не более 1 % от всех переломов головки лучевой кости [1, 2], но является одним из наиболее тяжелых повреждений предплечья.

Стабилизация предплечья в норме обеспечивается целостностью костных и мягкотканых стабилизаторов в области локтевого сустава и дистального лучелоктевого сочленения, а также межкостной мембраной между лучевой и локтевой костями. Если повреждения этих структур вовремя не диагностировать, появляются продольная нестабильность предплечья или продольная лучелоктевая диссоциация [1]. Повреждение Эссекс-Лопрести возникает в результате осевой нагрузки на предплечье, вызванной падением на вытянутую руку, при которой механическая сила передается от запястья через кости предплечья к области локтевого сустава [2].

Данное повреждение впервые упомянуто в 1946 г. в работе J.F. Curr и W.A. Сое [3], а в 1951 г. хирург Эссекс-Лопрести описал данную травму, как перелом головки лучевой кости, разрыв межкостной мембраны и треугольного фиброзно-хрящевого комплекса [4, 5]. Однако повреждение Эссекс-Лопрести не всегда диагностируют на начальной стадии в связи с незнанием данной патологии в медицинском сообществе [6], что приводит к неудовлетворительным результатам хирургических вмешательств в 80 % случаев [7].

Для лечения пациентов с повреждениями Эссекс-Лопрести используют ряд оперативных вмешательств, среди которых: эндопротезирование головки лучевой кости [8, 9, 10]; реконструкция межкостной мембраны [11–15]; укорачивающая остеотомия локтевой кости совместно с пластикой дистального лучелоктевого сочленения [16, 17]. Однако в настоящее время не существует стандартизированного подхода к лечению пациентов с данным видом травмы.

Цель работы — продемонстрировать и проанализировать результаты первого применения многокомпонентного хирургического лечения пациента с хроническим повреждением Эссекс-Лопрести в сочетании с варусной нестабильностью локтевого сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В июне 2024 г. в отделение травматологии и ортопедии Волгоградской областной клинической больницы № 1 обратился 26-летний мужчина с жалобами на боль и ограничение движений в левой верхней конечности.

Из анамнеза: в январе 2024 г. травма левого предплечья в результате падения с высоты 2–3 м. Сразу после травмы поступил в травмпункт, где была выполнена рентгенография левого локтевого сустава, выявлен переломовывих головки левой лучевой кости. После наложения гипсовой лонгеты пострадавший направлен в стационарное отделение травматологии и ортопедии. После осмотра специалистами отделения рекомендована консервативная терапия. В течение последующих четырех месяцев пациент обращался к различным специалистам в других клиниках, где ему было рекомендовано лечение, включающее лечебную физкультуру (ЛФК), физиотерапию и удаление головки лучевой кости без каких-либо реконструктивных вмешательств.

При осмотре в отделении у пациента болевой синдром был оценен по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), значение составило 5 баллов. Локальный статус левой верхней конечности: сгибание предплечья — 120°, разгибание предплечья — 140°, пронация — 45°, супинация — 50°, разгибание кисти — 45°, сгибание кисти — 20° (рис. 1).

На компьютерной томографии костей обоих предплечий — выявлен оскольчатый консолидированный переломовывих головки левой лучевой кости, вывих головки левой локтевой кости относительно дистального конца левой лучевой кости на 7 мм (ulna «+») (рис. 2).

На основании вышеописанных жалоб, локального статуса и данных рентгенологических исследований впервые поставлен диагноз повреждения Эссекс-Лопрести [3]. Пациенту даны рекомендации о проведении комбинированной операции в объеме протезирования головки лучевой кости, восстановления дистального лучелоктевого сочленения, корригирующей остеотомии локтевой кости и пластики межкостной мембраны. Также разъяснены все возможные последствия, осложнения и получено согласие на оперативное лечение.

Операция проведена в плановом порядке 11.07.2024. Первым этапом выполнен хирургический доступ по Кохеру к головке лучевой кости. При доступе обнаружено застарелое повреждение локтевой латеральной коллатеральной связки локтевого сустава с дегенеративным изменением волокон. Головка

лучевой кости удалена. Установлены примерочные компоненты головки и ножки эндопротеза для компенсации длины потерянной костной ткани. Импактирована цементная ножка протеза с модульной головкой 24–12 мм (ChM, Warsaw, Poland) (рис. 3). Следующим этапом выполнен рентгенологический контроль лучезапястного сустава (рис. 4, а), проведены доступ в нижней трети предплечья, укорачивающая корригирующая остеотомия локтевой кости с фиксацией титановой пластиной AO LCP, пластика дистального лучелоктевого сочленения плетеной нитью FiberWire (Arthrex, Naples, FL, USA) по Адамсу – Бергеру (рис. 4, б) [17, 18]. Дополнительно дистальное лучелоктевое сочленение фиксировано спицей Киршнера.



Рис. 1. Объем движений до оперативного вмешательства: а — сгибание и разгибание предплечья; б — пронация и супинация; в — разгибание и сгибание кисти



Рис. 2. Компьютерная томография левого и правого предплечий

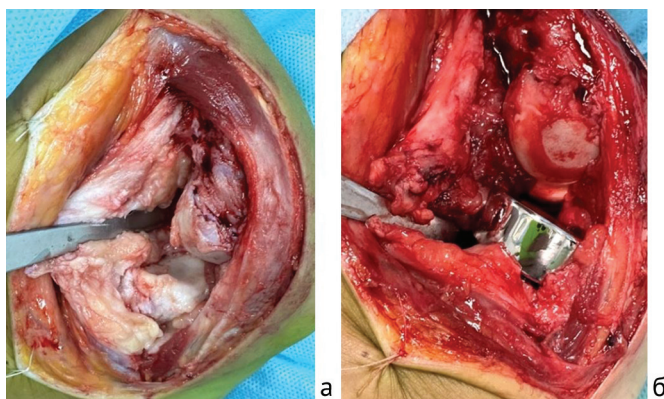


Рис. 3. Латеральный доступ к локтевому суставу: а — визуализация головки лучевой кости и мыщелка плечевой кости; б — имплантированный эндопротез головки лучевой кости

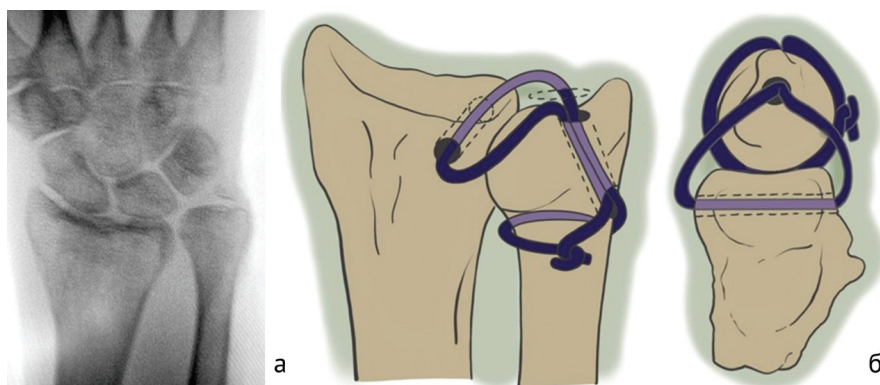


Рис. 4. Рентгенограмма до остеотомии и схема операции дистального лучелоктевого сочленения:
а — на прямой проекции рентгенограммы кистевого сустава определяется ulna “+”;
б — схематичная техника операции по Адамсу – Бергеру

Затем выполнен доступ к средней трети лучевой кости. Через лучевую и локтевую кости проведены по одной спице Киршнера таким образом, чтобы после формирования отверстий для проведения трансплантата угол относительно длинной оси локтевой кости составил примерно 21° , что соответствует вектору силы центрального пучка межкостной мембраны. Места выхода спиц из кортикальных слоёв, обращенных к межкостной мембране, располагались на 35 % длины локтевой кости и на 55 % длины лучевой кости от их шиловидных отростков, что соответствует анатомии центральной части межкостной мембраны [11]. Через спицы канюлированным сверлом созданы костные туннели. Установлен искусственный трансплантат с пуговицами TightRope (Arthrex) в нейтральном положении предплечья (рис. 5).

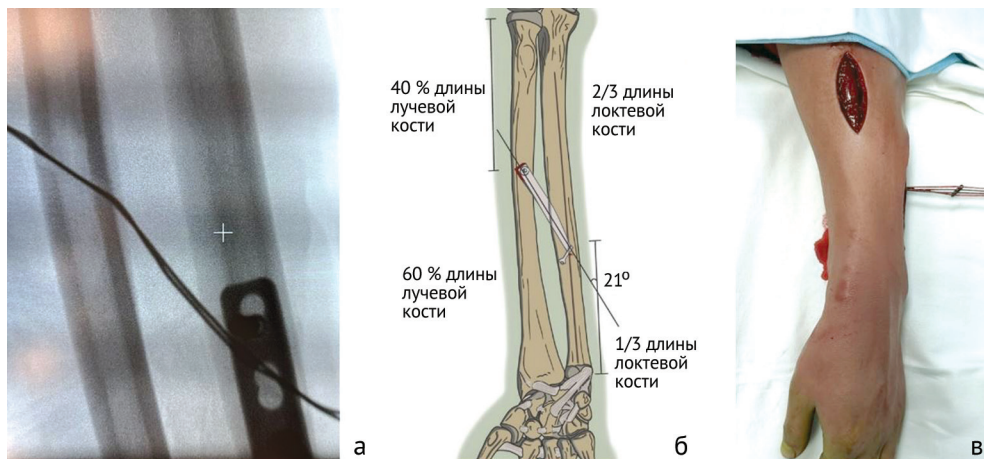


Рис. 5. Реконструкция межкостной мембраны:
а — проводник для проведения межкостной связки;
б — схематичное расположение трансплантата межкостной связки;
в — имплантированный искусственный трансплантат межкостной связки

Последний этап — аутопластика локтевой латеральной коллатеральной связки с помощью фрагмента апоневроза трехглавой мышцы плеча с фиксацией титановыми анкерами Corkscrew (Arthrex) к плечевой и локтевой костям (рис. 6). Проведен рентгенологический контроль (рис. 7). После операции наложена гипсовая иммобилизация от верхней трети плеча до головок пястных костей в положении в локтевом суставе 90° и разгибания кисти 15° .

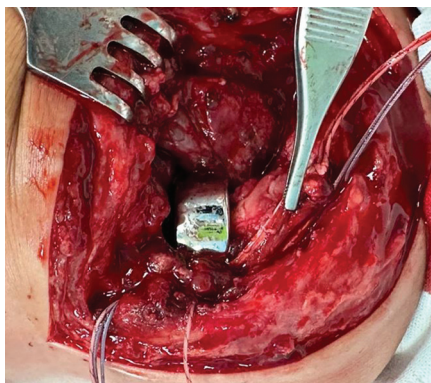


Рис. 6. Пластика локтевой латеральной коллатеральной связки фрагментом апоневроза трехглавой мышцы плеча. Эндопротез головки лучевой кости, нити якорных фиксаторов



Рис. 7. Послеоперационные рентгенограммы предплечья

РЕЗУЛЬТАТЫ

Послеоперационный период проходил без осложнений. На 12-е сутки сняли швы с ран. Через две недели назначили ЛФК локтевого сустава. На шестой неделе удалили спицу Киршнера и начали ЛФК кистевого сустава.

После хирургического вмешательства пациент проходил реабилитацию на протяжении шести месяцев. Контрольные рентгенограммы и компьютерная томография выполнили через полгода с момента операции. На рентгенограммах предплечья отметили срастающийся перелом локтевой кости (рис. 8).

При осмотре выраженность боли составила 1 балл по ВАШ. По шкале Мейо, описывающей функцию запястья, результат оценен как «хороший» [19]. Отмечено увеличение объема движений в левой руке: сгибание предплечья — 160°, разгибание предплечья — 170°, пронация — 85°, супинация — 75°, разгибание кисти — 65°, сгибание кисти — 45° (рис. 9). Пациент полностью адаптировался к бытовой жизни и вернулся к профессиональной деятельности мастера тентового производства.

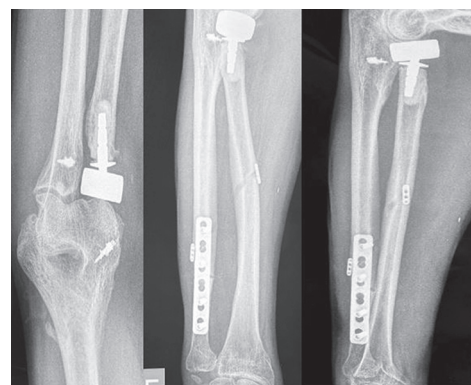


Рис. 8. Рентгенограммы верхней конечности через шесть месяцев после операции



Рис. 9. Объем движений через шесть месяцев после операции: а — сгибание и разгибание предплечья; б — пронация и супинация; в — разгибание и сгибание кисти

ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановление стабильности предплечья после повреждения Эссекс-Лопрести является сложной и полностью не решенной задачей, так как на сегодняшний день не существует окончательной стратегии лечения [5]. Невозможно предсказать результат недиагностированной травмы Эссекс-Лопрести в каждом индивидуальном случае, что связано с редкой встречаемостью, малой осведомленностью врачами и невыполнением дополнительных методов исследования (компьютерной томографии, рентгенография соседних суставов).

Представленное клиническое наблюдение демонстрирует успешный подход к лечению хронической, ранее не диагностированной травмы Эссекс-Лопрести, развившейся вследствие неадекватной первоначальной тактики.

Ключевым элементом предложенного хирургического подхода является одномоментное выполнение пяти взаимодополняющих друг друга вмешательств:

- восстановление конгруэнтности в проксимальном лучелоктевом сочленении, что было достигнуто путем протезирования головки лучевой кости [8–10];
- реконструкция межкостной мембраны [11–15];

- пластика дистального лучелоктевого сочленения по Адамсу – Бергеру [16,17];
- остеотомия локтевой кости [16,17];
- аутопластика латеральной локтевой коллатеральной связки [20].

Важно отметить, что комбинация всех пяти компонентов в рамках одной операции в доступной литературе ранее не описывалась, что подчеркивает новизну представленного случая.

Одним из ключевых аспектов лечения пациентов с повреждением Эссекс-Лопрести является восстановление межкостной мембраны, поскольку она ответственна за продольную стабильность предплечья. В литературе предлагаются разнообразные методики восстановления межкостной мембраны: одно- или двухпучковая техника с помощью нитей [12], использование аллотрансплантата широкой фасции [13], аутопластика из хамстрингов при невозможности использования аллотрансплантата [14], использование трансплантата сухожилия надколенника по типу ВТВ (*англ.*: bone-tendo-bone) [15]. В нашем случае мы использовали искусственный трансплантат с пуговицами TightRope (Arthrex). Важно учитывать сопутствующие повреждения связочных стабилизаторов локтевого сустава, в случае повреждения необходимо их восстановление [20, 21]. В данном клиническом наблюдении пациенту выполнили аутопластику латеральной локтевой коллатеральной связки. Комплексное восстановление всех основных стабилизаторов предплечья предотвращает рецидив нестабильности и является важным фактором, препятствующим развитию посттравматического артроза [22].

Результаты шестимесячного наблюдения показали значительное увеличение объема движения, уменьшение выраженности болевого синдрома и возвращение пациента к повседневной деятельности без значительных ограничений в работе и быту, что подтверждает эффективность примененного комплексного подхода.

Несмотря на ограничения, связанные с форматом единичного наблюдения, полученные результаты обнадеживают и указывают на потенциальную ценность данного комплексного подхода к лечению пациентов в подобных сложных случаях. В свою очередь операционная бригада должна быть готовой к возможному расширению оперативного вмешательства для реконструкции наибольшего количества стабилизаторов предплечья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее клиническое наблюдение впервые демонстрирует возможность и эффективность одномоментного многокомпонентного хирургического вмешательства при лечении пациента с хроническим повреждением Эссекс-Лопрести. Уникальность подхода заключается в синергичном сочетании протезирования головки лучевой кости, реконструкции межкостной мембраны искусственным трансплантатом, пластики дистального лучелоктевого сочленения по Адамсу – Бергеру, остеотомии локтевой кости и аутопластики локтевой латеральной коллатеральной связки.

Примененная тактика привела к значительному функциональному улучшению у конкретного пациента, обеспечив стабильность предплечья и купирование болевого синдрома.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование проведено без спонсорской поддержки

Этическая экспертиза. Исследование проведено в соответствии с этическими стандартами и нормами законодательства РФ.

Информированное согласие. Пациент дал информированное согласие на участие в исследовании и публикацию данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ратьев А.П., Егиазарян К.А., Жаворонков Е.А., Масленникова А.А. Оперативное лечение повреждений Эссекс-Лопрести. *Хирургическая практика*. 2014;(1):89-93.
2. Wegmann K, Dargel J, Burkhart KJ, et al. The Essex-Lopresti lesion. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2012;7(3):131-139. doi: 10.1007/s11751-012-0149-0.
3. Curr JF, Coe WA. Dislocation of the inferior radio-ulnar joint. *Br J Surg*. 1946;34:74-77. doi: 10.1002/bjs.18003413312.
4. Essex-Lopresti P. Fractures of the radial head with distal radio-ulnar dislocation; report of two cases. *J Bone Joint Surg Br*. 1951;33B(2):244-247.
5. Dodds SD, Yeh PC, Slade JF 3rd. Essex-lopresti injuries. *Hand Clin*. 2008;24(1):125-137. doi: 10.1016/j.hcl.2007.11.009.
6. Artiaco S, Fusini F, Colzani G, Massè A, Battiston B. Chronic Essex-Lopresti injury: a systematic review of current treatment options. *Int Orthop*. 2019;43(6):1413-1420. doi: 10.1007/s00264-018-3888-9.
7. Ruch DS, Chang DS, Koman LA. Reconstruction of longitudinal stability of the forearm after disruption of interosseous ligament and radial head excision (Essex-Lopresti lesion). *J South Orthop Assoc*. 1999;8(1):47-52.
8. Jungbluth P, Frangen TM, Arens S, et al. The undiagnosed Essex-Lopresti injury. *J Bone Joint Surg Br*. 2006;88(12):1629-1633. doi: 10.1302/0301-620X.88B12.17780.
9. Barret H, Favard L, Mansat P, et al. Results of radial head prostheses implanted during Essex-Lopresti syndrome in multicentric study. *Int Orthop*. 2021;45(6):1549-1557. doi: 10.1007/s00264-021-04987-6.
10. Heifner JJ, Gray RRL. The Essex-Lopresti Injury. *J Orthop Trauma*. 2024;38(9S):S11-S14. doi: 10.1097/BOT.0000000000002857.

11. Gaspar MP, Kane PM, Pflug EM, Jacoby SM, Osterman AL, Culp RW. Interosseous membrane reconstruction with a suture-button construct for treatment of chronic forearm instability. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016;25(9):1491-1500. doi: 10.1016/j.jse.2016.04.018.
12. Hackl M, Andermahr J, Staat M, et al. Suture button reconstruction of the central band of the interosseous membrane in Essex-Lopresti lesions: a comparative biomechanical investigation. *J Hand Surg Eur Vol.* 2017;42(4):370-376. doi: 10.1177/1753193416665943.
13. Bigazzi P, Marenghi L, Biondi M, et al. Surgical Treatment of Chronic Essex-Lopresti Lesion: Interosseous Membrane Reconstruction and Radial Head Prosthesis. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2017;21(1):2-7. doi: 10.1097/BTH.000000000000143.
14. Miller AJ, Naik TU, Seigerman DA, Ilyas AM. Anatomic Interosseus Membrane Reconstruction Utilizing the Biceps Button and Screw Tenodesis for Essex-Lopresti Injuries. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2016;20(1):6-13. doi: 10.1097/BTH.000000000000107.
15. Rubin TA, Gluck MJ, Hausman MR. A Novel Algorithmic Approach to Chronic Forearm Longitudinal Instability. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2018;22(3):81-88. doi: 10.1097/BTH.000000000000195.
16. Trousdale RT, Amadio PC, Cooney WP, Morrey BF. Radio-ulnar dissociation. A review of twenty cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74(10):1486-1497.
17. Gillis JA, Soreide E, Khouri JS, et al. Outcomes of the Adams-Berger Ligament Reconstruction for the Distal Radioulnar Joint Instability in 95 Consecutive Cases. *J Wrist Surg.* 2019;8(4):268-275. doi: 10.1055/s-0039-1685235.
18. Masouras PT, Apergis EP, Babis GC, et al. Essex-Lopresti injuries: an update. *EFORT Open Rev.* 2019;4(4):143-150. doi: 10.1302/2058-5241.4.180072.
19. Yu H, Wang T, Wang Y, Zhu Y. Ulnar shortening osteotomy vs. wafer resection for ulnar impaction syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2022;104:106725. doi: 10.1016/j.ijsu.2022.106725.
20. Данилов М.А., Ершов Д.С., Лядова М.В. и др. Лечение простой хронической нестабильности локтевого сустава. *Хирургическая практика.* 2022;(1):14-21. doi: 10.38181/2223-2427-2022-1-14-21.
21. Егиазарян К.А., Ратьев А. П., Лазишвили Г.Д. и др. *Локтевой сустав. Учебное пособие.* М.: Медицинское информационное агентство; 2019:464.
22. Ратьев А.П., Егиазарян К.А., Жаворонков Е.А., Мельников В.С. Лечение остеоартроза локтевого сустава. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* 2014;(2):50-60.

Статья поступила 11.07.2025; одобрена после рецензирования 18.11.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 11.07.2025; approved after reviewing 18.11.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Карен Альбертович Егиазарян — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, врач — травматолог-ортопед, директор Университетской клиники травматологии и ортопедии, egkar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>;

Андрей Петрович Ратьев — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, врач — травматолог-ортопед, ar@ratev.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>;

Сергей Николаевич Бирюков — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, врач — травматолог-ортопед, sergbir220786@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8556-8326>;

Владимир Валерьевич Баранов — ассистент кафедры, врач — травматолог-ортопед, Vladimirbaranov1987@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9559-4935>;

Никита Сергеевич Ершов — ассистент кафедры, врач — травматолог-ортопед, ensne@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-3201>;

Даниил Сергеевич Власов — аспирант, врач ЛФК и спортивной медицины, физиотерапевт, Danilvlasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6321-7205>;

Карим Канаматович Батчаев — ординатор, KBatchaev9@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2908-8239>.

Information about the authors:

Karen A. Egiazaryan — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, orthopaedic surgeon, Director of the University Clinic of Traumatology and Orthopedics, egkar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>;

Andrey P. Ratyev — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, orthopaedic surgeon, ar@ratev.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>;

Sergey N. Biriukov — Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor of the Department, orthopaedic surgeon, sergbir220786@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8556-8326>;

Vladimir V. Baranov — Assistant of the Department, orthopaedic surgeon, Vladimirbaranov1987@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9559-4935>;

Nikita S. Ershov — Assistant of the Department, orthopaedic surgeon, ensne@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-3201>;

Daniil S. Vlasov — Postgraduate Student, Exercise Therapist and Sports Medicine, Physiotherapist, Danilvlasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6321-7205>;

Karim K. Batchaev — resident, KBatchaev9@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2908-8239>.

Вклад авторов:

Егиазарян К.А., Ратьев А.П. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования; анализ и интерпретация данных; редактирование текста статьи для важного интеллектуального содержания; утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Бирюков С.Н. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования; сбор, анализ и интерпретация данных; написание первоначального текста статьи, редактирование текста статьи для важного интеллектуального содержания; утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Баранов В.В. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования; анализ и интерпретация данных; редактирование текста статьи для важного интеллектуального содержания; утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Ершов Н.С., Власов Д.С., Батчаев К.К. — сбор, анализ и интерпретация данных; редактирование текста статьи для важного интеллектуального содержания; утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Все авторы дали согласие нести ответственность за все аспекты статьи, обеспечивая надлежащее расследование и решение вопросов, связанных с точностью или целостностью любой части работы.



Полисегментарный дистракционный остеосинтез в комбинации с телескопическим трансфизарным стержнем при болезни Олье

Н.С. Гвоздев , А.М. Аранович, А.М. Абдуллоев, Д.А. Попков

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Сергеевич Гвоздев, nikitozgvozdev@mail.ru

Аннотация

Введение. Использование для удлинения длинных трубчатых костей комбинированных методик у пациентов с болезнью Олье представляет интерес с точки зрения как сокращения времени использования аппарата внешней фиксации, так и продленного повышения прочностных свойств удлиненной кости. Уникальность представленного клинического случая обусловлена сочетанием одновременного удлинения бедра и голени поверх титанового телескопического стержня, установленного в бедренную и большеберцовую кости одновременно с выполнением внешнего остеосинтеза и остеотомий.

Цель работы — продемонстрировать этапы и результаты полисегментарного удлинения ребенка с болезнью Олье комбинированной методикой, сочетающей аппарат Илизарова и титановый телескопический стержень.

Материалы и методы. Рассмотрен клинический случай пятилетнего пациента с болезнью Олье без сопутствующих заболеваний с выраженной разницей в длине нижних конечностей, нарушениями в опороспособности и биомеханике ходьбы. Хирургическое лечение включало в себя полисегментарное удлинение бедра и голени поверх титанового телескопического стержня, установленного ретроградным способом в бедренную кость и антеградным способом в большеберцовую кость, одновременно с выполнением остеотомий и установки спице-стержневого аппарата внешней фиксации.

Результаты. Получены исключительные данные, подтверждающие возможность расхождения титанового телескопического стержня в процессе дистракции на величину более 20 % без блокирования и потере фиксации резьбовых частей в эпифизах. Величина удлинения составила 11,4 см (бедро — 5,8 см, голень — 5,6 см). Общий индекс внешней фиксации составил 12,02 дн/см. При контрольном осмотре через 12 месяцев после демонтажа аппарата Илизарова отмечается продолжение роста удлиненных костей и телескопирование стержня бедра.

Обсуждение. Комбинированные методики соответствуют современной концепции телескопического продленного армирования у детей с генетическими заболеваниями. Расхождение частей титанового стержня как в период дистракции, так и на протяжении первого года после завершения удлинения конечности показывает целесообразность данного сочетания и надежность применения телескопического стержня из титанового сплава. Впервые доказано, что быстрое расхождение не предрасполагает к блокированию титановых стержней и продолжается при продолжении роста.

Заключение. Данный случай показывает эффективность применения комбинации телескопических интрамедуллярных титановых стержней и внешней фиксации при одновременном удлинении двух связанных сегментов у ребенка с болезнью Олье. Получены уникальные данные о продолжении естественного роста удлиненных сегментов с телескопированием оставленных стержней.

Ключевые слова: телескопический стержень, болезнь Олье, удлинение конечности

Для цитирования: Гвоздев Н.С., Аранович А.М., Абдуллоев А.М., Попков Д.А. Полисегментарный дистракционный остеосинтез в комбинации с телескопическим трансфизарным стержнем при болезни Олье. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):124-131. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-124-131.

Clinical case



<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-124-131>

Polysegmental distraction osteosynthesis in combination with a telescopic transphyseal rod for Ollier's disease

N.S. Gvozdev✉, A.M. Aranovich, A.M. Abdulloev, D.A. Popkov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Nikita S. Gvozdev, nikitozgvozdev@mail.ru

Abstract

Introduction The use of combined techniques for long bone lengthening in patients with Ollier disease is of interest due to issues of both external fixation time reduction and improvement in the strength properties of the lengthened bone. The uniqueness of the presented clinical case is simultaneous femur and tibia lengthening over a titanium telescopic rod in the femur and tibia combined with external osteosynthesis and osteotomies.

The **purpose** of this study is to demonstrate the stages and results of polysegmental bone lengthening in a child with Ollier disease using a technique combining the Ilizarov fixator and a titanium telescopic rod.

Material and methods This clinical case is a five-year-old patient with Ollier disease without comorbidities, but with a significant discrepancy in the length of the lower limbs, impaired weight-bearing ability, and impaired gait biomechanics. Surgical treatment included multisegmental femur and tibia lengthening over a titanium telescopic rod inserted retrograde into the femur and antegrade into the tibia, simultaneous osteotomies and placement of a wire-and-halfpin external fixator.

Results Exceptional data were obtained confirming the possibility of the titanium telescopic rod extension during distraction by more than 20 % without locking or loss of fixation of the threaded parts in the epiphyses. The elongation amounted to 11.4 cm (femur: 5.8 cm; tibia: 5.6 cm). The overall external fixation index was 12.02 days/cm. At a 12-month follow-up after dismantling the Ilizarov apparatus, growth of the elongated bones and telescoping of the femoral rod continued.

Discussion This combined technique is consistent with the current concept of extended telescopic reinforcement in children with genetic diseases. The divergence of the titanium rod components both during the distraction period and during the first year after completion of limb lengthening demonstrates the feasibility of this combination and the reliability of using a telescopic titanium rod. This study demonstrates for the first time that rapid divergence does not predispose to locking of titanium rods and continues with growth.

Conclusion This case demonstrates the effectiveness of using a combination of telescopic intramedullary titanium rods and external fixation for simultaneous lengthening of two adjacent segments in a child with Ollier disease. The findings on further natural growth of the lengthened segments along with telescoping of the rod are unique.

Keywords: telescopic rod, Ollier disease, limb lengthening

For citation: Gvozdev NS, Aranovich AM, Abdulloev AM, Popkov DA. Polysegmental distraction osteosynthesis in combination with a telescopic transphyseal rod for Ollier's disease. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):124-131. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-124-131.

ВВЕДЕНИЕ

Множественный энхондроматоз, или болезнь Олье, является редкой (один случай на 100 000) патологией скелета человека, характеризующейся наличием множественных энхондром или хрящевых масс в области метафизов и диафизов длинных и/или коротких трубчатых костей конечностей [1–4]. Лечение заболеваний, сопровождающихся низкими прочностными свойствами костей (болезнь Олье, несовершенный остеогенез, полиоссальная фиброзная дисплазия, метаболические остеопатии), является симптоматическим и направлен на устранение и профилактику появления критически важных для жизни деформаций костей, где интрамедуллярные телескопические конструкции являются ключевым элементом остеосинтеза [5–10]. В зарубежной и отечественной литературе описаны технологии армирования при одновременном использовании внешней фиксации [8–12]. Удлинение на ригидном стержне внешним фиксатором или его аналогах, практически полностью устраняет риск переломов после снятия аппарата внешней фиксации и существенно сокращает период реабилитации [13–16]. В детской ортопедии телескопические стержни, введенные трансфизарно при коррекции деформаций и фиксированные в проксимальном и дистальном эпифизах, обеспечивают армирование кости на всем протяжении в период роста [6, 16–18]. Уникальность представленного клинического случая обусловлена сочетанием одновременного удлинения бедра и голени поверх титанового телескопического стержня, установленного в бедренную и большеберцовую кость одновременно с выполнением внешнего остеосинтеза и остеотомий.

Цель работы — продемонстрировать этапы и результаты полисегментарного удлинения ребенка с болезнью Олье комбинированной методикой, сочетающей аппарат Илизарова и титановый телескопический стержень.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациент с рентгенологически и генетически подтвержденной болезнью Олье, без сопутствующих соматических заболеваний в возрасте пяти лет впервые поступил на хирургическое лечение. До обращения в Центр Илизарова пациент не получал оперативного лечения. Укорочение бедра и голени нарастало в процессе роста ребенка и на момент госпитализации составляло 18 см.

Хондроматозные очаги располагались в области проксимальных и дистальных отделов бедренной и берцовых костей, затрагивая эпиметафизарные зоны и представляя собой утолщенные отделы костей с типичным нарушением минерализации и чередованием участком минерализации и рентгенпрозрачных включений (рис. 1). Функциональные ограничения отражались в снижении способности ходьбы, необходимости посторонней помощи и использовании обуви с большой компенсацией укорочения левой нижней конечности.

При изучении результатов лечения ребенка мы определили ключевые точки обследования: при поступлении, операция, этапы дистракции 10 дней, 30 дней, окончание дистракции, достижение сращения, период непосредственно после снятия аппарата внешней фиксации (АВФ), шесть месяцев от момента снятия АВФ и 12 месяцев от момента снятия АВФ. На каждом из них осуществляли рентгенографические исследования в прямой и боковой проекциях, клинический осмотр ребенка, измерение величины диастаза удлинения, а также изучали особенности формирования дистракционных регенератов, оценивали положение концов телескопического стержня, сопоставляли длины расхождения костных отломков и частей стержня.

Для телескопического армирования применяли Стержень интрамедуллярный телескопический, титановый (ПУ № РЗН 2017/5875 от 10 июля 2017 года, входящий в набор имплантов и инструментов для их установления для детской ортопедии «Ортокид» (Orthokid), ТУ 9437-001-73747729-2014).

Этапы хирургической техники удлинения с телескопическим стержнем

Первоначально выполнили ретроградное трансфизарное армирование бедренной кости через медиальный парапателлярный доступ. После введения спицы-гида под контролем электронно-оптического преобразователя через вершину межмышечковой ямки по костномозговому каналу до уровня антекурвационной деформации в нижней трети бедренной кости через разрез кожи 1 см, выполненна остеотомия долотом на вершине деформации. Дальнейшее проведение спицы-гида произведено

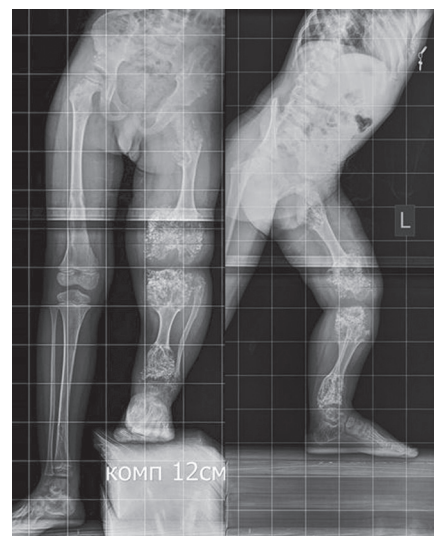


Рис. 1. Рентгенограммы нижних конечностей при поступлении

до проксимального отдела бедра. По спице произведено рассверливание канала канюлированным сверлом диаметром 5,7 мм из набора. Далее производили удаление спицы-гида и введение внутренней части телескопического стержня до зоны роста большого вертела Т-образной рукояткой. Последующее введение наружной (полой) части телескопического стержня диаметром 5,5 мм с погружением резьбовой части строго только в дистальный эпифиз. Отметим, что длина внешней части определялась во время операции и соответственно укорачивалась. Завершающим этапом на бедре было вкручивание внутренней части стержня в большой вертел таким образом, чтобы вся резьбовая часть оказалась проксимальнее его ростковой зоны. Выстоящая часть внутреннего элемента скусывалась насколько можно короче. Рана для остеотомии промывалась и послойно ушивалась.

Из того же парапателлярного доступа производилось антеградное введение спицы-гида под рентгеновским контролем со входом через межмышечковую зону по костно-мозговому каналу до уровня деформации в верхней трети большеберцовой кости. Остеотомия на вершине деформации выполнялась из доступа 1 см. Дополнительно в нижней трети голени через разрез кожи до 1 см выполнена остеотомия малоберцовой кости. Далее по спице-гиду производили рассверливание канала канюлированным сверлом диаметром 5,8 мм до дистального метафиза, введение внутренней части телескопического стержня до уровня непосредственно над дистальной зоной роста. Далее следовало введение соответственно укороченной внешней части диаметром 5,5 мм с вкручиванием резьбовой части канюлированной отверткой в проксимальный эпифиз большеберцовой кости, не заходя за линию зоны роста. Заключительным этапом размещения телескопического стержня большеберцовой кости было вкручивание резьбовой части в дистальный эпифиз таким образом, чтобы вся резьба оказалась дистальнее линии зоны роста. Скусывание выступающего отдела внутренней части выполняли непосредственно перед промыванием и послойным ушиванием парапателлярного доступа. Рентгеновский контроль целой конечности подтвердил корректное расположение телескопических стержней (рис. 2).

Спице-стержневого аппарат внешней фиксации, состоял из 2 кольцевых опор на голени, и кольцевой опоры в нижней трети бедра и сегментарной короткой дуги в верхней трети сегмента. В дистальной кольцевой опоре бедра и дистальной кольцевой опоре голени применяли лишь спицы диаметром 1,8 мм, проведенные на метафизарном уровне. В проксимальной дуге бедра применяли только стержни-шурупы диаметром 4,5 мм, введенные в проксимальный метафиз, а в проксимальной опоре голени — комбинация спиц и стержня-шурупа, расположенных также на метафизарном уровне (рис. 3). На уровне коленного сустава для соединения опор применяли шарнирные узлы.



Рис. 2. Рентгенограмма, выполненная в процессе оперативного вмешательства на этапе после остеотомий, установки интродуцера стержней и до наложения аппарата внешней фиксации

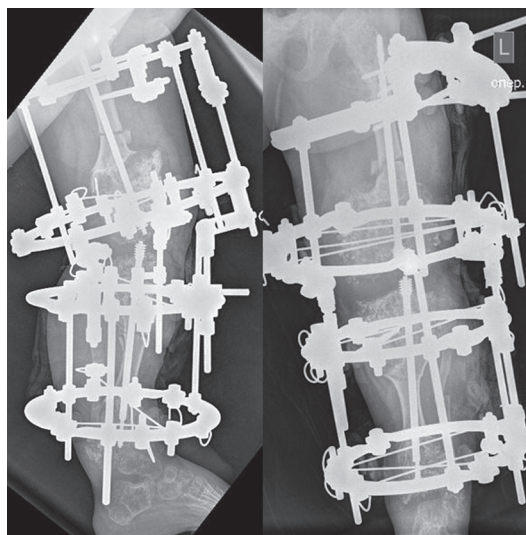


Рис. 3. Рентгенограммы, выполненные после завершения комбинированного остеосинтеза

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ближайший послеоперационный период протекал благополучно. Пациент вертикализирован на вторые сутки после операции с посторонней помощью. Через три дня после оперативного вмешательства была начата дистракция на уровне бедра и голени. Заданный исходно темп дистракции был 1 мм в сутки.

На снимке через 10 дней выявлено отсутствие расхождения отломков малоберцовой кости, что было расценено как преждевременная консолидация, что потребовало повторной остеотомии и проведения дополнительной спицы, фиксирующей проксимальный фрагмент малоберцовой кости (рис. 4). На последующих рентгенограммах расхождение костных фрагментов происходило благополучно (рис. 5). Структура дистракционного регенерата была представлена продольными тяжами с высокой степенью

минерализации, явно был выражен периостальный компонент формирующейся костной мозоли. Расхождение частей телескопических стержней происходило без какого-либо блокирования и, соответственно, без потери фиксации резьбовых участков в эпифизах и апофизе большого вертела.

В конце второго месяца удлинения, учитывая совокупное относительное удлинение более трети длины нижней конечности, дистракция была остановлена. Весь период дистракции пациент сохранял возможность перемещения с костылями с функциональной опорой на оперированную конечность.

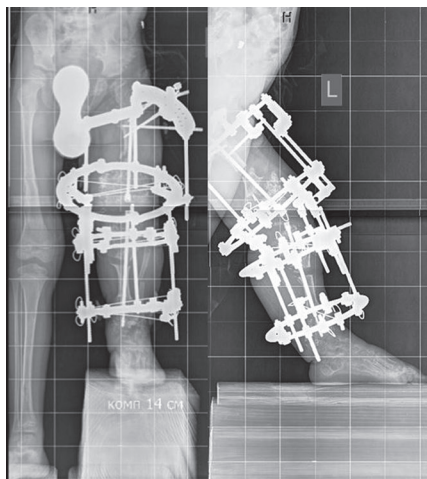


Рис. 4. Рентгенограммы на 10-ый день удлинения

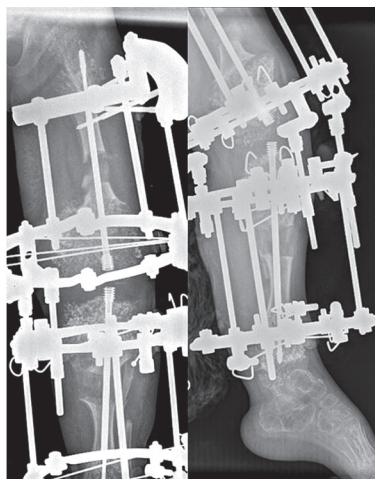
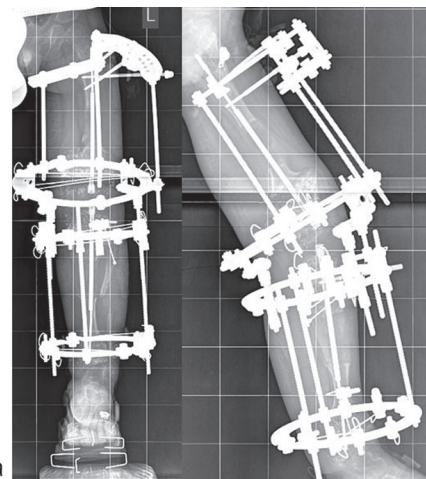


Рис. 5. Рентгенограммы в период дистракции: а — 30 дней дистракции, б — 60 дней дистракции



Период фиксации пациент провел по месту жительства. Контроль состояния пациента осуществлялся дистанционно, по переписке, с выполнением рентгенограмм каждые 30 дней. Костное сращение было констатировано по рентгенограммам через 30 дней фиксации (рис. 6). Однако явиться для снятия аппарата, учитывая отдаленное место проживания от Центра Илизарова, пациент смог лишь спустя определенный период.

Демонтаж аппарата произведен под общей анестезией, титановые телескопические стержни оставлены *in situ* (рис. 7). На рентгенограммах после снятия отмечена корректная позиция телескопических стержней, адекватное удлинению их расхождение и сохранение фиксации резьбовых частей в эпифизах и апофизе большого вертела. Наложена дисциплинирующая гипсовая лонгета на 10 дней. Вертикализация с нагрузкой на конечность была разрешена на первый день после операции.

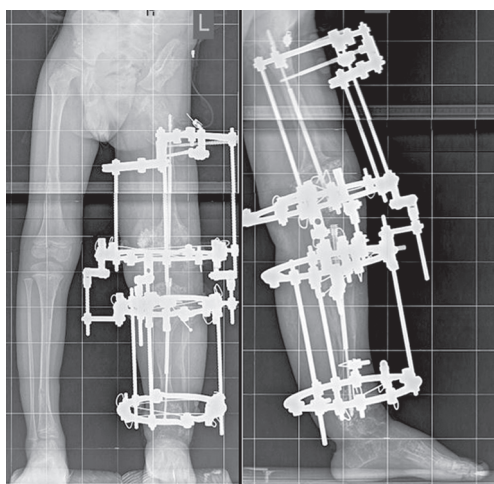


Рис. 6. Рентгенограммы нижней конечности, 30 дней периода фиксации



Рис. 7. Рентгенограммы после демонтажа АВФ

Контрольные осмотры производили через шесть и через 12 месяцев после демонтажа аппарата внешней фиксации. Отмечен продолжающийся рост удлиненных сегментов, отсутствие рецидива деформаций и корректное телескопирование титановых телескопических стержней, без блокирования расхождения и без протрузии в коленный или голеностопный суставы. Ремоделирование костной мозоли имело все признаки перестройки здоровой костной ткани без включения хондроматозных очагов в ее структуру (рис. 8).

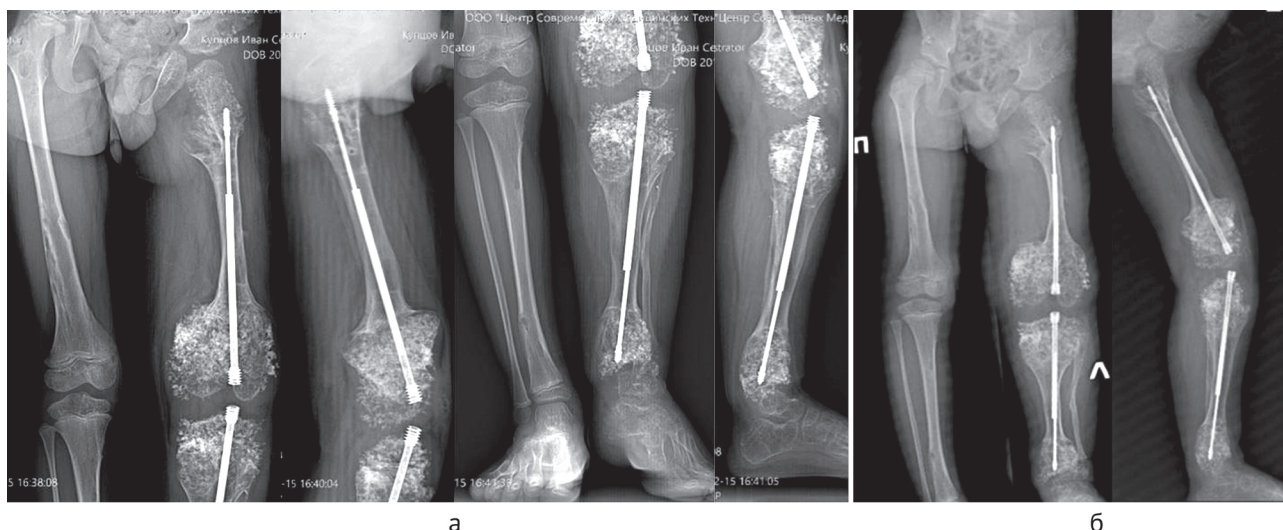


Рис. 8. Рентгенограммы через шесть месяцев (а) и 12 месяцев (б) после демонтажа аппарата Илизарова

В итоге, количественные параметры лечения составили:

- удлинение бедра 5,8 см, удлинение голени 5,6 см, что суммарно составило 24,5 % от исходной длины конечности,
- суммарный индекс внешней фиксации составил 12,02 дн/см,
- учитывая исход лечения, а также встретившееся осложнение, которое потребовало выполнения незапланированного вмешательства в период до демонтажа аппарата Илизарова, но не повлекшее ухудшения достигнутого результата, исход удлинения можно классифицировать как соответствующий степени IIa по классификации Lascombes [19].

ОБСУЖДЕНИЕ

Удлинение длинных трубчатых костей у детей при заболеваниях сопровождающихся низкими прочностными свойствами костей (болезнь Олье, несовершенный остеогенез, полиоссальная фиброзная дисплазия, метаболические остеопатии) нечасто применяется в хирургической практике, что обусловлено сложностью выполнения внешнего остеосинтеза, который должен долго оставаться на месте, что может оказаться невозможным при сниженных прочностных свойствах костной ткани [20–22].

С другой стороны, телескопическое трансфизарное армирование является методом выбора для механического укрепления длинных трубчатых костей при таких состояниях [7, 15, 16]. Сложностями при применении телескопических стержней являются случаи их нерасхождения, блокирования, потери фиксации резьбовых частей в эпифизах [22, 23].

Возможность комбинации интрамедуллярного армирования и внешней фиксации при коррекции деформаций у детей с несовершенным остеогенезом была показана: такая комбинация обеспечивает как механические преимущества, так и функциональные [5, 24, 25].

Дальнейшее развитие данного направления предполагалось в использовании комбинированной методики не только при коррекции деформаций, но и удлинении конечностей.

Данный клинический случай показал возможность такого подхода без ущерба для формирования дистракционного регенерата и сроков его созревания при больших величинах удлинения (полисегментарный дистракционный остеосинтез). Кроме того, клинический случай продемонстрировал безопасность применения титанового телескопического стержня как внутреннего фиксатора без риска его деформации и/или блокирования при ускоренном телескопировании даже в период дистракции. Хотя умозрительные сомнения в таком качестве стержня высказывались, обосновываясь на характере сплава изготовления.

Успех операций подобного объема зависит как от прецизионности самого вмешательства (корректного расположения телескопического стержня, минимизация кровопотери и травматичности за счет использования одного доступа для установки двух телескопических стержней, восстановление приемлемых анатомических взаимоотношений в оперированных сегментах), так и от обеспечения устойчивой фиксации аппаратом и опороспособности н/конечности для обеспечения ранней осевой нагрузки. Используя данный подход, нам удалось существенно укоротить срок аппаратного лечения необходи-

мого для удлинения 2х сегментов, предвосхитить осложнения в виде смещения костных отломков в послеоперационном периоде и появления рецидивов деформации в долгосрочном периоде при естественном росте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный клинический случай продемонстрировал возможность удлинения длинных трубчатых костей у пациентов с болезнью Олье аппаратом внешней фиксации с одновременным размещением трансфизарного титанового телескопического стержня. Исследование данного удлинения впервые показало, что «ускоренное» расхождение частей стержня в период distraction не приводит к блокированию скольжения и, соответственно, к потере требуемой фиксации резьбовых частей в эпифизах. Кроме того, не обнаружено замедления формирования и созревания distractionного регенерата. В период одного года после демонтажа аппарата Илизарова отмечалось продолжение роста удлинённых сегментов и расхождение частей телескопических стержней, что отражает сохранённую функцию продлённого армирования конечностей и после реконструктивных вмешательств и при наличии трансфизарного армирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Источник финансирования. Отсутствует.

Этическая экспертиза. Проведение данного исследования одобрено решением Этического комитета Центра Илизарова (протокол от 29.11.2024 № 1(76)).

Информированное согласие. Полномочные представители пациента дали письменное информированное согласие на оперативное вмешательство и обработку анонимизированных данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Huvos AG. *Bone Tumors: diagnosis, treatment and prognosis*. 2 ed. Philadelphia: WB Saunders; 1991:253-293.
- Замилов М.М., Меньшиков К.В., Мусин Ш.И. и др. Клинический случай лечения вторичной хондросаркомы кости, развившейся на фоне болезни Олье. *Саркомы костей мягких тканей и опухоли кожи*. 2023;15(1):66-71. doi: 10.17650/2219-4614-2023-15-1-66-71.
- Kumar A, Jain VK, Bharadwaj M, Arya RK. Ollier Disease: Pathogenesis, Diagnosis, and Management. *Orthopedics*. 2015;38(6):e497-506. doi: 10.3928/01477447-20150603-58.
- Pannier S, Legeai-Mallet L. Hereditary multiple exostoses and enchondromatosis. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2008;22(1):45-54. doi: 10.1016/j.berh.2007.12.004.
- Popkov D, Dolganova T, Mingazov E, et al. Combined technique of titanium telescopic rods and external fixation in osteogenesis imperfecta patients: First 12 consecutive cases. *J Orthop*. 2020;22:316-325. doi: 10.1016/j.jor.2020.05.017.
- Fassier F. Fassier-Duval Telescopic System: How I Do It? *J Pediatr Orthop*. 2017;37(6 Suppl 2):S48-S51. doi: 10.1097/BPO.0000000000001024.
- Sułko J, Oberc A. Advantages and Complications Following Fassier-Duval Intramedullary Rodding in Children. Pilot Study. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2015;17(5):523-530. doi: 10.5604/15093492.1186830.
- Schiedel F, Elsner U, Goshager G, et al. Prophylactic titanium elastic nailing (TEN) following femoral lengthening (Lengthening then rodding) with one or two nails reduces the risk for secondary interventions after regenerate fractures: a cohort study in monolateral vs. bilateral lengthening procedures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14:302. doi: 10.1186/1471-2474-14-302.
- Lampasi M, Launay F, Jouve JL, Bollini G. Femoral lengthening over elastic stable intramedullary nailing in children using the monolateral external fixator. *Chir Organi Mov*. 2009;93(2):57-64. doi: 10.1007/s12306-009-0032-4.
- Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, Bhav A. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(10):1464-1480. doi: 10.2106/00004623-199710000-00003.
- Black SR, Kwon MS, Cherkashin AM, et al. Lengthening in Congenital Femoral Deficiency: A Comparison of Circular External Fixation and a Motorized Intramedullary Nail. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(17):1432-40. doi: 10.2106/JBJS.N.00932.
- Huser AJ, Hoellwarth JS, Coppa V, et al. Lengthening the Lower Extremities of Children with Ollier's and Maffucci's Enchondromatosis Using Implantable Lengthening Nails. *Children (Basel)*. 2021;8(6):502. doi: 10.3390/children8060502.
- Horn J, Steen H, Huhnstock S, et al. Limb lengthening and deformity correction of congenital and acquired deformities in children using the Taylor Spatial Frame. *Acta Orthop*. 2017;88(3):334-340. doi: 10.1080/17453674.2017.1295706.
- Masci G, Palmacci O, Vitiello R, et al. Limb lengthening with PRECICE magnetic nail in pediatric patients: A systematic review. *World J Orthop*. 2021;12(8):575-583. doi: 10.5312/wjo.v12.i8.575.
- Popkov A, Aranovich A, Antonov A, et al. Lower limb lengthening and deformity correction in polyostotic fibrous dysplasia using external fixation and flexible intramedullary nailing. *J Orthop*. 2020;21:192-198. doi: 10.1016/j.jor.2020.03.014.
- Popkov D, Journeau P, Popkov A, et al. Ollier's disease limb lengthening: should intramedullary nailing be combined with circular external fixation? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010;96(4):348-353. doi: 10.1016/j.otsr.2010.01.002.
- Fassier FR. Osteogenesis Imperfecta-Who Needs Rodding Surgery? *Curr Osteoporos Rep*. 2021;19(3):264-270. doi: 10.1007/s11914-021-00665-z.
- Wirth T. The orthopaedic management of long bone deformities in genetically and acquired generalized bone weakening conditions. *J Child Orthop*. 2019;13(1):12-21. doi: 10.1302/1863-2548.13.180184.
- Lascombes P, Popkov D, Huber H, et al. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98(6):629-637. doi: 10.1016/j.otsr.2012.05.010.
- Ibrahim MA, Nik-Mohamed N, Munajat I, et al. Treatment of Malrotation and Limb Length Discrepancy in Osteogenesis Imperfecta Patients: Report of Two Cases. *Malays Orthop J*. 2022;16(1):112-114. doi: 10.5704/MOJ.2203.016.
- Sułko J, Radło W. Limb lengthening in children with osteogenesis imperfecta. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*. 2005;70(4):243-247. (In Polish)
- Yong B, De Wouters S, Howard A. Complications of Elongating Intramedullary Rods in the Treatment of Lower Extremity Fractures for Osteogenesis Imperfecta: A Meta-Analysis of 594 Patients in 40 Years. *J Pediatr Orthop*. 2022;42(3):e301-e308. doi: 10.1097/BPO.0000000000002040.

23. Cox I, Al Mouazzen L, Bleibleh S, et al. Combined two-centre experience of single-entry telescopic rods identifies characteristic modes of failure. *Bone Joint J.* 2020;102-B(8):1048-1055. doi: 10.1302/0301-620X.102B8.BJJ-2020-0131.R1.
24. Popkov D. Use of flexible intramedullary nailing in combination with an external fixator for a postoperative defect and pseudarthrosis of femur in a girl with osteogenesis imperfecta type VIII: a case report. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2018;13(3):191-197. doi: 10.1007/s11751-018-0320-3.
25. Мингазов Э.Р., Гофман Ф.Ф., Попков А.В. и др. Первый опыт применения титанового телескопического стержня при коррекции деформаций конечностей у детей с несовершенным остеогенезом. *Гений ортопедии.* 2019;25(3):297-303. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-297-303.

Статья поступила 28.10.2025; одобрена после рецензирования 02.12.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 28.10.2025; approved after reviewing 02.12.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Никита Сергеевич Гвоздев — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, заведующий отделением, gvozdev_n.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Анна Майоровна Аранович — доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник, aranovich_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7806-7083>;

Авазбек Муроталиевич Абдуллоев — врач — травматолог-ортопед, asadiabdulloev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9957-2904>;

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, профессор РАН, Член-корр. Французской Академии медицинских наук, руководитель клиники, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

Nikita S. Gvozdev — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of the Department, gvozdev_n.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Anna M. Aranovich — Doctor of Medical Sciences, Professor, senior researcher, aranovich_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7806-7083>;

Avazbek M. Abdulloev — orthopaedic surgeon, asadiabdulloev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9957-2904>;

Dmitry A. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the French Academy of Medical Sciences, Head of the Clinic, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.



Сравнительный анализ эффективности применения обогащенной тромбоцитами плазмы и гиалуронатов при лечении остеоартрита коленного сустава: метаанализ исследований с шестимесячным наблюдением

Е.С. Приезжева¹, Н.И. Сивкова², А.В. Жилияков^{1✉}, Е.А. Волокитина¹

¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Викторович Жилияков, doctor.zhilyakov1975@yandex.ru

Аннотация

Введение. В научной литературе представлено множество исследований, сравнивающих эффективность применения PRP-терапии, или обогащенной тромбоцитами плазмы (ОТП), и препаратов гиалуроновой кислоты (ГК) при остеоартрите коленного сустава, однако результаты носят противоречивый характер из-за методологических ограничений и высокой неоднородности протоколов лечения.

Цель работы — сравнить данные научных исследований об эффективности применения ОТП и препаратов ГК средней молекулярной массы в лечении больных остеоартритом коленного сустава.

Материалы и методы. Проведен поиск рандомизированных контролируемых исследований в базах PubMed, Embase и Cochrane Library за 2017–2024 гг. по следующим ключевым словам: osteoarthritis, knee joint, intra-articular injections, platelet-rich plasma, hyaluronic acid, WOMAC, meta-analysis. Включены исследования, в которых рассматривали пациентов с диагнозом «остеоартрит коленного сустава» любой степени тяжести, получавших внутрисуставные инъекции ОТП или ГК с оценкой выраженности болевого синдрома по шкале WOMAC. После строгого отбора включены четыре исследования с идентичными протоколами лечения.

Результаты. В метаанализ включены данные 333 пациентов (164 в группе ОТП и 169 в группе ГК). Средний балл выраженности болевого синдрома по WOMAC через шесть месяцев от начала лечения (внутрисуставное введение) составил 4,52 (SD = 1,59) в группе ОТП и 4,95 (SD = 2,07) в группе ГК. Размер эффекта Hedges'g: 0,26 (95 % ДИ: –0,61–1,14; $p = 0,336$). Публикационное смещение отсутствовало (тест Эггера, $p = 0,06$).

Обсуждение. В результате нашего исследования значимых различий между применением ОТП и ГК не выявлено, что противоречит ряду предыдущих метаанализов. Возможно, данный факт обусловлен использованием при нашем анализе более строгих критериев включения и оценкой препаратов ГК только средней молекулярной массы.

Заключение. Проведенный метаанализ, направленный на сравнительную оценку эффективности применения ОТП и ГК средней молекулярной массы при лечении пациентов с остеоартритом коленного сустава, не выявил статистически значимых различий между группами при оценке выраженности болевого синдрома по шкале WOMAC через шесть месяцев от начала лечения, что свидетельствует о сопоставимой эффективности данных методов терапии.

Ключевые слова: гиалуроновая кислота, богатая тромбоцитами плазма, инъекции, внутрисуставные, остеоартрит, коленный сустав, измерение боли, результаты лечения, метаанализ

Для цитирования: Приезжева Е.С., Сивкова Н.И., Жилияков А.В., Волокитина Е.А. Сравнительный анализ эффективности применения обогащенной тромбоцитами плазмы и гиалуронатов при лечении остеоартрита коленного сустава: метаанализ исследований с шестимесячным наблюдением. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):132-143. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-132-143.



Efficacy of platelet-rich plasma in the treatment of pain syndrome in knee osteoarthritis: a meta-analysis of the studies with a 6-month follow-up

E.S. Priezzheva¹, N.I. Sivkova², A.V. Zhilyakov¹✉, E.A. Volokitina¹

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

Corresponding author: Andrey V. Zhilyakov, doctor.zhilyakov1975@yandex.ru

Abstract

Introduction The scientific literature database contains numerous studies comparing the efficacy of platelet-rich plasma (PRP) and hyaluronic acid (HA) preparations in knee osteoarthritis, but the results are contradictory due to methodological limitations and high heterogeneity of treatment protocols.

Purpose To compare the data from scientific studies on the effectiveness of using PRP and medium molecular weight HA preparations in the treatment of patients with knee osteoarthritis.

Materials and methods A search of randomized controlled trials was conducted in PubMed, Embase, and the Cochrane Library published in the period 2017–2024 using the following keywords: osteoarthritis, knee joint, intra-articular injections, platelet-rich plasma, hyaluronic acid, WOMAC, and meta-analysis. Studies that examined patients diagnosed with knee osteoarthritis of any severity who received intra-articular injections of PRP or HA and assessed pain using the WOMAC were reviewed. After rigorous selection, four studies with identical treatment protocols were included.

Results The meta-analysis included 4 studies involving 333 patients (164 in the PRP group and 169 in the HA group). The mean WOMAC pain score at 6 months after the start of treatment was 4.52 (SD = 1.59) in the PRP group and 4.95 (SD = 2.07) in the HA group. The effect size of Hedges' g was 0.26 (95 % CI: –0.61 to 1.14; $p = 0.336$). Egger's test did not reveal a statistically significant publication bias ($p = 0.06$).

Discussion Our study revealed no significant differences between the use of PRP and HA, which contradicts several previous meta-analyses. This may be due to the use of more stringent inclusion criteria in our analysis and the evaluation of HA preparations with only medium molecular weight.

Conclusion This meta-analysis was aimed to compare the effectiveness of using PRP and medium molecular weight HA in the treatment of patients with knee osteoarthritis and did not reveal statistically significant differences between the groups in severity of pain using the WOMAC system six months after the start of treatment, which indicates comparable effectiveness of these therapy methods.

Keywords: hyaluronic acid, platelet-rich plasma, injections, intra-articular, osteoarthritis, knee, pain measurement, treatment outcome, meta analysis

For citation: Priezzheva ES, Sivkova NI, Zhilyakov AV, Volokitina EA. Efficacy of platelet-rich plasma in the treatment of pain syndrome in knee osteoarthritis: a meta-analysis of the studies with a 6-month follow-up. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):132-143. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-132-143.

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит (ОА) коленного сустава является распространенным дегенеративно-дистрофическим заболеванием с прогрессирующим разрушением суставного хряща, поражением субхондральной кости, синовиальной оболочки и связочного аппарата, а также одной из ведущих причин хронической боли и инвалидности среди взрослого населения во всем мире [1]. Проблема диагностики и лечения ОА крупных суставов социально значима, поскольку заболевание приводит к значительному снижению качества жизни, ограничению повседневной активности, потере трудоспособности. По данным эпидемиологических исследований, распространенность ОА коленного сустава среди взрослого населения варьирует от 10 до 30 %, причем заболеваемость чаще встречается у женщин и лиц пожилого возраста [2]. Основными симптомами ОА являются боль, скованность, хромота и ограничение подвижности, что существенно снижает качество жизни пациентов.

На сегодняшний день для лечения пациентов с ОА используют как консервативные, так и хирургические методы. Консервативное лечение направлено на уменьшение болевого синдрома, улучшение функции сустава и замедление прогрессирования заболевания. К числу консервативных методов относится медикаментозная терапия, включающая применение нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП), анальгетиков, симптоматических препаратов замедленного действия, а также физиотерапия, лечебная физкультура, ортезирование и внутрисуставные инъекции [3, 4]. Современные хирургические методы, такие как высокие корригирующие остеотомии и тотальное эндопротезирование, эффективны при поздних стадиях заболевания при наличии деформаций сустава, значительного ограничения подвижности и выраженного болевого синдрома. Однако хирургическое вмешательство сопряжено с такими рисками, как инфекционные осложнения, тромбоэмболия и развитие нестабильности эндопротеза. Реабилитационный период после операции не всегда приводит к полному восстановлению функции сустава.

При ранних стадиях заболевания консервативное лечение является предпочтительным. На сегодняшний день при консервативном лечении широко применяют внутрисуставные инъекции гиалуроновой кислоты (ГК). ГК является естественным компонентом синовиальной жидкости, обеспечивает смазку, амортизацию и питание суставного хряща. Введение экзогенной ГК может улучшить вязкоэластичные свойства синовиальной жидкости, а также стимулировать естественные процессы восстановления, способствуя регенерации хрящевой ткани и поддерживая гомеостаз синовиальной среды [5, 6]. ГК уменьшает болевой синдром, снижает воспаление и улучшает подвижность сустава. Однако эффект от инъекций ГК носит временный характер, — от нескольких недель до нескольких месяцев.

В последние годы в лечении пациентов с ОА коленного сустава стали применять обогащенную тромбоцитами плазму (ОТП), которая представляет собой аутологичный биологический препарат, получаемый из крови самого пациента путем центрифугирования. ОТП отличается высокой концентрацией тромбоцитов, которые при активации выделяют разнообразные факторы роста, стимулирующие регенерацию хрящевой ткани [7, 8]. Инъекции ОТП способны уменьшить болевой синдром, улучшить функцию сустава и замедлить прогрессирование дегенеративных изменений. Клинические исследования S.A. Raeissadat et al. и G. Filardo et al. показали, что инъекции ОТП существенно уменьшают боль и улучшают подвижность сустава по сравнению с контрольными группами, при этом эффект сохраняется в течение 6–12 месяцев после лечения [9, 10].

В научной литературе представлено множество исследований, направленных на сравнение эффективности ОТП (PRP-терапии) и препаратов ГК при ОА коленного сустава. Тем не менее, результаты исследований остаются противоречивыми из-за методологических ограничений, таких как отсутствие стандартизированных протоколов, небольшие размеры выборок, недостаточное ослепление и кратковременное наблюдение [11–13]. Кроме того, выявлена высокая неоднородность протоколов приготовления ОТП, существуют различия в концентрации тромбоцитов, в методах активации и алгоритмах внутрисуставного введения, а также в частоте и продолжительности курсов лечения. Эти факторы существенно затрудняют сопоставление результатов исследований и являются основными источниками противоречий при сравнении эффективности применения ОТП и ГК при ОА коленного сустава [14]. Ожидается, что результаты нашего исследования позволят определить, какой из методов обеспечивает более выраженное и длительное купирование болевого синдрома при ОА коленного сустава, что имеет критически важное значение для выбора оптимальной стратегии лечения.

Цель работы — сравнить данные научных исследований об эффективности применения ОТП и препаратов ГК средней молекулярной массы в лечении больных остеоартритом коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метаанализ проведен в соответствии с рекомендациями PRISMA (англ.: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Протокол исследования зарегистрирован в международном реестре PROSPERO. Поиск литературы проведен в трех основных электронных базах данных PubMed, Embase, и Cochrane Library за период с января 2018 г. по декабрь 2024 г. Поисковая стратегия включа-

ла комбинацию следующих MeSH-терминов и ключевых слов: osteoarthritis, knee joint, intra-articular injections, platelet-rich plasma, hyaluronic acid, WOMAC, meta-analysis. Термины объединяли с помощью булевых операторов AND/OR для создания оптимальной поисковой строки. Дополнительно проведен «ручной» поиск по спискам источников отобранных статей. Выраженность болевого синдрома в анализируемых исследованиях оценивали по шкале WOMAC через шесть месяцев от начала применения внутрисуставных инъекций при ОА коленного сустава.

Критерии включения и исключения

Критерии включения статей в исследование: пациенты с подтвержденным диагнозом «остеоартрит коленного сустава» любой степени тяжести; вмешательства — инъекции ОТП (для группы лечения) и инъекции ГК (контрольная группа); основные исходы — оценка выраженности болевого синдрома по шкале WOMAC через шесть месяцев; вторичные исходы — по шкалам IKDC, Леккена и VAS. Для анализа отобраны только рандомизированные контролируемые клинические исследования.

Критерии исключения: исследования пациентов с билатеральным остеоартритом коленного сустава, а также нерандомизированные исследования и публикации, из которых невозможно извлечь данные для анализа.

Отбор публикаций проводили в четыре этапа:

1. Идентификация: найдено 192 публикации в электронных базах данных; дополнительно выявлено четыре публикации из других источников; общее количество идентифицированных публикаций — 196.
2. Скрининг: на этом этапе два независимых исследователя проводили первичный скрининг по названиям и аннотациям выявленных статей с целью исключения нерелевантных публикаций на основании следующих критериев: отсутствие данных о целевых вмешательствах, популяция, не соответствующая теме исследования, результаты, не связанные с задачами анализа. После удаления дубликатов осталось 170 публикаций. Все публикации прошли скрининг по заголовкам и аннотациям. Критериям включения соответствовали 11 полнотекстовых статей, на этапе скрининга из исследования исключено 159 публикаций.
3. Окончательный отбор: полные тексты статей, прошедших первичный отбор, анализировали на соответствие критериям включения и исключения; в случае разногласий между исследователями вопрос решали путём обсуждения, а при необходимости привлекали третьего исследователя для вынесения окончательного решения.

Публикации исключали по следующим причинам: отсутствие данных по шкале WOMAC через шесть месяцев наблюдения ($n = 2$); отсутствие данных по общему показателю WOMAC ($n = 1$); отсутствие контрольной группы в дизайне исследования ($n = 2$); обзорные статьи без оригинальных данных ($n = 2$).

4. Итог: четыре исследования соответствовали всем критериям включения и были использованы для количественного синтеза (метаанализа).

Процесс отбора исследований схематически представлен на диаграмме PRISMA (рис. 1).

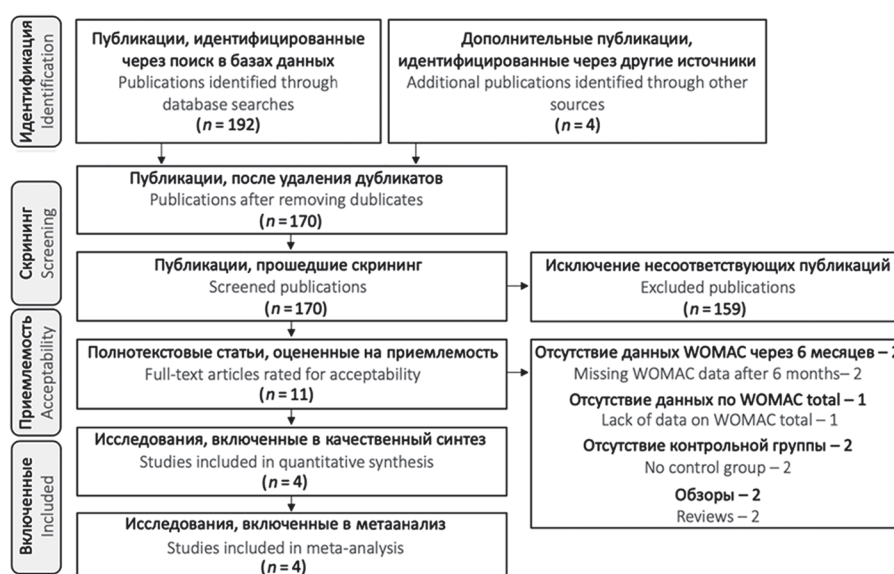


Рис. 1. Блок-схема PRISMA процесса отбора исследований для включения в метаанализ эффективности внутрисуставных инъекций при остеоартрите коленного сустава

Извлечение данных

Извлечение данных проводили два независимых исследователя с использованием стандартизированной формы, включающей следующие данные: автор, год публикации, страна, количество участников, возраст, пол, индекс массы тела (ИМТ), классификация, длительность наблюдения, дозировка и количество инъекций. Параметр WOMAC выбран для оценки эффективности лечения, поскольку является общепризнанным комплексным показателем, охватывающим данные о болевом синдроме и функциональных ограничениях у пациентов с ОА. Если в публикации приведены не абсолютные значения, а относительные (например, разница в значениях WOMAC между началом исследования и через шесть месяцев), данные пересчитывали в абсолютные значения, что унифицировало результаты и обеспечивало их корректное обобщение. В частности, такое действие выполнено с данными статьи S.A. Raeissadat [9]. Также для унифицирования результатов все временные значения, измеренные в месяцах или днях, конвертированы в недели. Остальные сведения, такие как демографические характеристики и дозировки, были необходимы для контроля потенциальных факторов, влияющих на результаты, и для оценки однородности исследуемых групп.

Оценка риска систематической ошибки

Оценку риска систематической ошибки проводили независимо два исследователя с использованием Кокрановского инструмента оценки риска смещения. Были рассмотрены такие аспекты, как генерация случайной последовательности, скрытое распределение, ослепление участников и персонала, неполные данные о результатах, а также избирательность публикаций. Данный подход позволял минимизировать предвзятость и увеличить надежность полученных данных.

Статистический анализ

Для анализа данных использовался программный пакет Stata 12.0 (StataCorp., College Station, TX, США). Основные результаты (болевые ощущения и функции по шкале WOMAC) рассчитывали с использованием стандартного среднего различия (SMD) с 95 % доверительным интервалом. Использование SMD выбрано для учета различий в масштабах измерений между исследованиями, что делает его предпочтительным методом для метаанализа данных из источников, применявших различные шкалы оценки. Неоднородность оценивали с использованием статистики I^2 с показателями 25 %, 50 % и 75 %, интерпретируемыми как низкий, средний и высокий уровни гетерогенности, соответственно. Для проведения метаанализа использовали метод случайных эффектов, который учитывает потенциальную неоднородность между исследованиями и позволяет делать более обобщенные выводы. Значение $p < 0,05$ считали статистически значимым, что обеспечивало достаточную уверенность в результатах анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Включенные в метаанализ исследования охватывали данные о 333 пациентах, получавших лечение при ОА коленного сустава: 164 пациента в группе ОТП и 169 пациентов в группе ГК.

Метаанализ показал отсутствие статистически значимой разницы в исходном уровне боли между группами ОТП и ГК (Hedges'g = 0,25, стандартная ошибка = 0,20, 95 % ДИ: -0,38 – 0,88; $p = 0,205$). Среднее значение уровня болевых ощущений исходно различно ввиду искажения восприятия болевых ощущений в зависимости от исследуемой исходной стадии заболевания, а также наличия сопутствующихотягчающих патологических состояний. Так, в некоторых публикациях данные о степени тяжести основного заболевания либо не представлены, либо представлены частично. Исходные данные по показателю WOMAC (боль) по каждому исследованию представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение средних значений по шкале WOMAC (боль) перед началом терапии

Автор, год, номер источника	ОТП			ГК			Вес исследования, %	Доля случаев (95 % ДИ)
	М	SD	Всего пациентов	М	SD	Всего пациентов		
Duymus T.M., 2017 [20]	15,40	2	33	16,6	1,10	34	23,15	0,74 [0,25;1,25]
Raeissadat S.A., 2021 [9]	9,69	1,30	52	9,44	1,60	49	27,25	0,00 [-0,39;0,39]
Su K., 2018 [21]	9,57	1,45	25	9,60	1,19	30	21,86	-0,17 [-0,71;0,37]
Wang Y.C., 2022 [22]	4,2	0,42	54	4,38	0,43	56	27,75	0,42 [0,04;0,80]

Примечание: М — среднее значение; SD — стандартное отклонение; ДИ — доверительный интервал.

Через шесть месяцев после начала лечения средний балл боли по шкале WOMAC (боль) снизился как в группе ОТП, так и в группе ГК. Средний балл боли составил 4,52 (SD = 1,59) в группе ОТП и 4,95 (SD = 2,07) в группе ГК. Однако разница между группами по уровню боли через шесть месяцев не достигла статистической значимости ($p = 0,336$). Размер эффекта Hedges'g составил 0,26 (95 % ДИ: -0,61 – 1,14). Результаты по каждому исследованию, включенному в метаанализ, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение средних значений по шкале WOMAC (боль) через шесть месяцев от начала лечения

Автор, год, номер источника	ОТП			ГК			Вес исследования, %	Доля случаев (95 % ДИ)
	M	SD	Всего пациентов	M	SD	Всего пациентов		
Duymus T.M., 2017 [20]	9,4	1,70	33	9,7	1,60	34	24,43	0,18 [-0,30;0,67]
Raeissadat S.A., 2021 [9]	4,69	0,90	52	5,64	0,70	49	26,44	0,12 [-0,27;0,51]
Su K., 2018 [21]	4,7	0,70	25	5,56	0,82	30	22,35	1,10 [0,54;1,70]
Wang Y.C., 2022 [22]	2,87	0,35	54	2,79	0,38	56	26,78	-0,22 [-0,60;0,16]

Примечание: M — среднее значение; SD — стандартное отклонение; ДИ — доверительный интервал.

При анализе результатов исследования S.A. Raeissadat et al. обращает на себя внимание система количественной оценки эффективности терапии, где изменения показателей болевого синдрома по шкале WOMAC представлены в виде отрицательных значений относительно исходного уровня, что потребовало применения метода стандартизации данных для обеспечения сопоставимости результатов [9].

Метаанализ показал, что через шесть месяцев после начала лечения величина эффекта Hedges'g по общему значению WOMAC увеличилась до 0,79 по сравнению с исходным уровнем. Однако данный эффект не был статистически значимым ($p = 0,282$).

Для оценки возможного публикационного смещения использован тест Эггера, результаты которого представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты теста Эггера

Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	95 % ДИ
Константа (Intercept)	11,14	3,48	0,05–22,23
Наклон (Slope)	-2,26	0,77	-4,70–0,18

Примечание: t-критерий = 3,20; p-значение = 0,086.

Тест Эггера не выявил статистически значимого публикационного смещения ($p = 0,086$), что графически подтверждено на рис. 2.

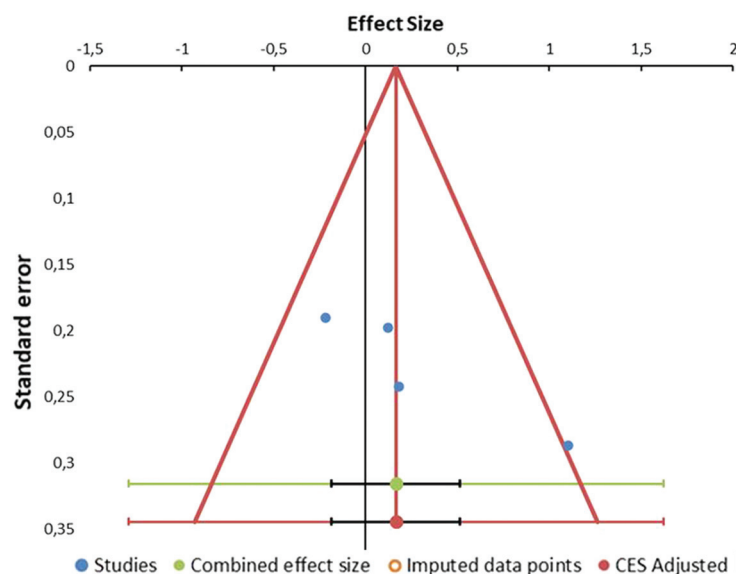


Рис. 2. Воронкообразная диаграмма

Воронкообразная диаграмма — графический метод оценки публикационного смещения. В идеальном случае, когда публикационное смещение отсутствует, точки на диаграмме должны быть распределены симметрично вокруг вертикальной линии, проходящей через суммарный размер эффекта. Асимметрия воронкообразной диаграммы может свидетельствовать о публикационном смещении. В настоящем метаанализе воронкообразная диаграмма выглядит относительно симметричной, что может свидетельствовать об отсутствии публикационного смещения и коррелирует с результатами теста Эггера.

ОБСУЖДЕНИЕ

Цель данного метаанализа состояла в оценке эффективности применения ОТП по сравнению с ГК в снижении болевого синдрома при ОА коленного сустава через шесть месяцев после начала лечения. Включенные данные обследования 333 пациентов из четырех рандомизированных контролируемых исследований на основе анализа показателя WOMAC (оценка боли) не выявили статистически значимых различий между двумя методами, что подчеркивает необходимость более глубокого анализа факторов, влияющих на исходы лечения. Возможно, что такие факторы, как особенности пациентов и методологические различия в подходах, могли повлиять на результаты, сглаживая потенциальные различия.

Эффективность применения ОТП и ГК может зависеть от тяжести ОА: пациенты с ранней стадией заболевания часто реагируют на оба метода лечения одинаково хорошо, при поздних стадиях ОА реакция на введение ОТП и ГК может отличаться. Включение в метаанализ информации о пациентах с разной степенью тяжести ОА могло привести к тому, что различия в эффективности ОТП и ГК были нивелированы. Например, исследования с участием пациентов с начальной стадией остеоартрита показали, что инъекции ГК менее эффективны у пациентов с более тяжелыми стадиями заболевания [15–22].

Индивидуальные характеристики пациента, такие как возраст, пол, генетическая предрасположенность, сопутствующие заболевания, образ жизни и уровень физической активности, также могут оказывать влияние на результат применения ОТП и ГК [23–28]. Пациенты пожилого возраста часто имеют замедленный регенеративный потенциал, что снижает эффективность ОТП. Мужчины и женщины по-разному реагируют на лечение из-за различий в гормональном фоне. Генетическая предрасположенность также влияет на способность тканей к восстановлению. Пациенты с сопутствующими заболеваниями, такими как диабет, могут иметь повышенный уровень воспалительных реакций, что ухудшает результаты лечения. Образ жизни, включая уровень физической активности, также критически важен: активные пациенты могут лучше реагировать на терапию за счет улучшенного кровообращения и метаболизма, а пациенты с ожирением или сахарным диабетом реагируют хуже из-за выраженности воспалительного процесса в суставах.

Авторы анализируемых публикаций не всегда учитывали генетическую предрасположенность и индивидуальные различия в регенеративном потенциале, что могло повлиять на точность результатов. Важно проводить исследования, которые принимают во внимание особенности пациентов, чтобы определить, кому из них терапия ОТП или ГК может принести наибольшую пользу, и каким образом можно персонализировать лечение [29, 30].

Отсутствие стандартизации протоколов приготовления и введения ОТП также является важным фактором, влияющим на результаты лечения. Для стандартизации протоколов необходимо определить оптимальные параметры центрифугирования, концентрацию тромбоцитов и содержание лейкоцитов, а также единообразные методы введения ОТП. Введение стандартизированных инструкций позволит снизить вариабельность и повысить сопоставимость результатов между исследованиями. В рассматриваемых публикациях использованы различные методы приготовления ОТП и центрифугирования, с различной концентрацией тромбоцитов и лейкоцитов [29–32]. K. Su et al. [21] применяли ОТП без лейкоцитов, тогда как другие исследователи использовали ОТП с различным содержанием лейкоцитов, что могло влиять на результаты, так как лейкоциты способствуют развитию воспалительных реакций [26]. Также различие методов введения ОТП (объем и количество инъекций, интервалы между ними) могло сказаться на степени эффективности лечения [32–34]. Использование разных антикоагулянтов также могло повлиять на биологическую активность ОТП [19, 24, 36].

Качество плазмы, получаемой для ОТП, может различаться в зависимости от оборудования и методов, применяемых в лабораториях. Даже небольшие изменения в скорости или времени центрифугирования могут существенно изменить состав конечного продукта, что напрямую влияет на эффективность лечения [37]. Важно стандартизировать не только основные этапы приготовления ОТП, но и вспомогательные процессы, такие как сбор образцов и их обработка. Введение стандартизированных рекомендаций для подготовки пациента также может снизить вариабельность результатов. Например, прием антикоагулянтов или других препаратов до процедуры может изменять реактивность тромбоцитов и тем самым повлиять на результат лечения [38–40].

Методы введения ОТП зависят от техники врача, места инъекции (внутрисуставная или периартикулярная) и даже глубины введения [41]. Это еще один аспект, требующий стандартизации. Разработка детальных рекомендаций по технике инъекций могла бы минимизировать эти различия и способствовать повышению воспроизводимости результатов лечения. Таким образом, необходимость стандартизации охватывает весь процесс от подготовки плазмы до взаимодействия с пациентом и выполнения процедуры, требует комплексного подхода и участия специалистов из разных областей, — клиницистов, исследователей и реабилитологов.

Ограничением данного метаанализа является небольшое количество включенных исследований (всего четыре), что снижает статистическую мощность и увеличивает риск случайных ошибок. Небольшое количество исследований увеличивает вероятность того, что результаты могут быть случайными и не отражать истинную картину эффективности методов лечения. Для повышения статистической надежности необходимо провести более масштабные исследования, чтобы обеспечить достаточную для достоверных выводов выборку. Высокая гетерогенность ($I^2 = 79,74\%$) свидетельствует о значительных различиях в дизайне исследований, характеристиках пациентов и применяемых методах лечения [32, 35–39, 42]: возраст участников, стадия ОА, наличие сопутствующих заболеваний, уровень физической активности. Усугубить неоднородность данных могли и различия в методах приготовления и введения ОТП. Разные подходы к отбору пациентов также внесли свою лепту: в одних исследованиях участвовали пациенты с минимальными симптомами, в других — с тяжелыми формами остеоартрита [40–47].

Некоторые исследования оказывали значительное влияние на общий эффект [21, 22], вероятно, из-за различий в методологии и стадии заболевания участников. Это подчеркивает необходимость проведения анализа чувствительности, который позволил бы выявить источники гетерогенности и их вклад в результаты метаанализа. Неоднородность также может быть связана с методами оценки эффективности лечения, использование разных шкал для оценки боли и функциональности затрудняет сопоставление результатов [48–51]. Для устранения этих недостатков необходимы крупные, хорошо спланированные исследования с более однородными характеристиками участников и стандартизированными протоколами лечения.

Следует учитывать и потенциальное публикационное смещение, так как результаты с положительными исходами публикуют чаще, чем нейтральные или отрицательные. Это приводит к искажению представления об эффективности вмешательств. Проведение регистрации протоколов исследований и обеспечение прозрачности исследований могут помочь снизить риск публикационного смещения и улучшить качество метаанализов [52]. Для повышения статистической мощности и достоверности результатов необходимы крупные многоцентровые исследования, которые позволят собрать больше данных и предоставить более надежные выводы [37, 53–55].

Данный метаанализ оценивал эффект лечения через шесть месяцев после начала инъекционной терапии, однако для выявления более устойчивых различий между группами требуется более длительное наблюдение (12 месяцев и более). Длительное наблюдение позволит обнаружить отложенные эффекты, которые не проявляются в краткосрочной перспективе, а также оценить стабильность достигнутых улучшений и потенциальные долгосрочные изменения в состоянии хрящевой ткани. Исследования показали, что эффект от ОТП может сохраняться дольше, чем от ГК, особенно при наблюдении свыше шести месяцев [56–58]. Такие исследования помогут оценить возможные отложенные побочные эффекты и изменения в структуре хрящевой ткани и определить, возможно ли накопление положительных эффектов при повторных инъекциях [38, 47, 58–62].

Повторные курсы терапии могут усиливать регенеративный эффект и улучшать клинические результаты. Долгосрочные исследования помогут лучше понять, как индивидуальные факторы, такие как генетическая предрасположенность и уровень физической активности, влияют на продолжительность и стабильность эффекта лечения [63–66]. Кроме уменьшения боли, следует также оценивать изменения в хрящевой ткани, улучшение подвижности суставов и общее качество жизни пациентов.

Для оценки возможного публикационного смещения в метаанализе использованы тесты Эггера и Begg & Mazumdar, которые не выявили статистически значимого смещения ($p = 0,06$ для теста Эггера). Анализ методом Trim and Fill также подтвердил стабильность результатов. Однако стоит помнить, что у этих методов есть ограничения, и их интерпретация должна проводиться осторожно [41]. Необходимо применять дополнительные подходы для минимизации предвзятости и обеспечения максимальной достоверности и устойчивости выводов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на несколько ключевых аспектов. Во-первых, необходимо изучить влияние тяжести остеоартрита на эффективность ОТП и ГК, стратифицируя пациентов по степени тяжести, чтобы разработать более таргетированные стратегии лечения. Во-вторых,

следует учитывать индивидуальные факторы (возраст, пол, индекс массы тела, сопутствующие заболевания, образ жизни и генетическая предрасположенность) для создания персонализированных подходов к терапии [44, 67, 68].

Необходимы стандартизированные протоколы приготовления и введения ОТП для снижения неоднородности данных и более точной оценки эффективности терапии. Важно стандартизировать все этапы процесса — от сбора и обработки крови до параметров центрифугирования и методов введения [16]. Стандартизация должна включать контроль за качеством плазмы, концентрацией тромбоцитов, содержанием лейкоцитов и использованием антикоагулянтов. Рекомендации по подготовке пациентов перед процедурой также могут улучшить воспроизводимость результатов.

Наконец, требуется проведение крупных, многоцентровых исследований с длительным периодом наблюдения, чтобы оценить долгосрочные эффекты ОТП и ГК, а также их влияние на функциональные показатели и качество жизни пациентов [69–71]. Такие исследования должны быть направлены на выявление преимуществ комбинированного лечения и изучение влияния повторных курсов терапии.

Таким образом, основная цель консервативного лечения при ОА — стабилизация дегенеративно-воспалительных процессов в суставе, которая сможет способствовать продлению сроков работоспособности сустава и отдалению сроков выполнения тотальной артропластики [72]. Именно в этом ключе многоцентровые исследования помогут улучшить понимание механизмов действия ОТП и ГК и способствовать разработке рекомендаций, направленных на повышение эффективности лечения и улучшение качества жизни пациентов с ОА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метаанализ сравнительной оценки эффективности применения ОТП и ГК средней молекулярной массы при лечении больных ОА коленного сустава не выявил статистически значимых различий между группами пациентов при оценке выраженности болевого синдрома по шкале WOMAC через шесть месяцев от начала лечения, что свидетельствует о сопоставимой эффективности данных методов терапии.

Однако необходимо учитывать ограниченное количество включенных в анализ исследований, высокую гетерогенность между ними и отсутствие стандартизированных протоколов приготовления и введения ОТП. Для более точной сравнительной оценки эффективности ОТП и ГК необходимы дальнейшие крупные, хорошо спланированные исследования с длительным периодом наблюдения, учетом тяжести заболевания, особенностей пациентов и стандартизированными методами приготовления и введения ОТП.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении данной работы.

Соответствие принципам этики. В связи с выбранным дизайном исследования разрешения локального этического комитета не требуется.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wang MN, Liu L, Zhao LP, et al. Research of inflammatory factors and signaling pathways in knee osteoarthritis. *Zhongguo Gu Shang*. 2020;33(4):388–392. (In Chin.) doi: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.04.020.
2. Миронов С.П., Омеляненко Н.П., Орлецкий А.К. и др. Остеоартроз: современное состояние проблемы (аналитический обзор). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2001;8(2):96–99. doi: 10.17816/vto98472.
3. Conrozier T. How to Treat Osteoarthritis in Obese Patients? *Curr Rheumatol Rev*. 2020;16(2):99–104. doi: 10.2174/1573397115666190625105759.
4. Andia I, Abate M. Knee osteoarthritis: Hyaluronic acid, platelet-rich plasma or both in association? *Expert Opin Biol Ther*. 2014;14(5):635–649. doi: 10.1517/14712598.2014.889677.
5. Saito T, Tanaka S. Molecular mechanisms underlying osteoarthritis development: Notch and NF- κ B. *Arthritis Res Ther*. 2017;19(1):94. doi: 10.1186/s13075-017-1296-y.
6. Wang M, Shen J, Jin H, et al. Recent progress in understanding molecular mechanisms of cartilage degeneration during osteoarthritis. *Ann N Y Acad Sci*. 2011;1240:61–69. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06258.x.
7. Lisi C, Perotti C, Scudeller L, et al. Treatment of knee osteoarthritis: platelet-derived growth factors vs. hyaluronic acid. A randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2018;32(3):330–339. doi: 10.1177/0269215517724193.
8. Papalia R, Zampogna B, Russo F, et al. Comparing hybrid hyaluronic acid with PRP in end career athletes with degenerative cartilage lesions of the knee. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2016;30(4 Suppl 1):17–23.
9. Raeissadat SA, Ghazi Hosseini P, Bahrami MH, et al. The comparison effects of intra-articular injection of Platelet Rich Plasma (PRP), Plasma Rich in Growth Factor (PRGF), Hyaluronic Acid (HA), and ozone in knee osteoarthritis; a one year randomized clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):134. doi: 10.1186/s12891-021-04017-x.
10. Filardo G, Kon E, Buda R, et al. Platelet-rich plasma intra-articular knee injections for the treatment of degenerative cartilage lesions and osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(4):528–535. doi: 10.1007/s00167-010-1238-6.
11. Spaková T, Rosocha J, Lacko M, et al. Treatment of knee joint osteoarthritis with autologous platelet-rich plasma in comparison with hyaluronic acid. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91(5):411–417. doi: 10.1097/PHM.0b013e3182aab72.

12. Filardo G, Kon E, Di Martino A, et al. Platelet-rich plasma vs hyaluronic acid to treat knee degenerative pathology: study design and preliminary results of a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012;13:229. doi: 10.1186/1471-2474-13-229.
13. Laudy AB, Bakker EW, Rekers M, Moen MH. Efficacy of platelet-rich plasma injections in osteoarthritis of the knee: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2015;49(10):657-672. doi: 10.1136/bjsports-2014-094036.
14. Dai WL, Zhou AG, Zhang H, Zhang J. Efficacy of Platelet-Rich Plasma in the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy.* 2017;33(3):659-670.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2016.09.024.
15. Gaonkar K, Gaonkar N, Gupta K, et al. Role of arthroscopy in osteoarthritis of the knee joint. *Int J Clin Trials.* 2015;421(3):42-49. doi: 10.5455/2349-3259.ijct20150503.
16. Zaripova L, Tazhibayeva D, Kabdualieva N, et al. Osteoarthritis: A contemporary view of the problem, the possibilities of therapy and prospects for further research. *J Clin Med Kaz.* 2022;19(6):6-12. doi: 10.23950/jcmk/12629.
17. Eymard F, Ornetti P, Mailliet J, et al. Intra-articular injections of platelet-rich plasma in symptomatic knee osteoarthritis: a consensus statement from French-speaking experts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(10):3195-3210. doi: 10.1007/s00167-020-06102-5.
18. Gilat R, Haunschild ED, Knapik DM, et al. Hyaluronic acid and platelet-rich plasma for the management of knee osteoarthritis. *Int Orthop.* 2021;45(2):345-354. doi: 10.1007/s00264-020-04801-9.
19. Raeissadat SA, Ghorbani E, Sanei Taheri M, et al. MRI Changes After Platelet Rich Plasma Injection in Knee Osteoarthritis (Randomized Clinical Trial). *J Pain Res.* 2020;13:65-73. doi: 10.2147/JPR.S204788.
20. Duymus TM, Mutlu S, Dernek B, et al. Choice of intra-articular injection in treatment of knee osteoarthritis: platelet-rich plasma, hyaluronic acid or ozone options. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(2):485-492. doi: 10.1007/s00167-016-4110-5.
21. Su K, Bai Y, Wang J, et al. Comparison of hyaluronic acid and PRP intra-articular injection with combined intra-articular and intraosseous PRP injections to treat patients with knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol.* 2018;37(5):1341-1350. doi: 10.1007/s10067-018-3985-6.
22. Wang YC, Lee CL, Chen YJ, et al. Comparing the Efficacy of Intra-Articular Single Platelet-Rich Plasma (PRP) versus Novel Crosslinked Hyaluronic Acid for Early-Stage Knee Osteoarthritis: A Prospective, Double-Blind, Randomized Controlled Trial. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(8):1028. doi: 10.3390/medicina58081028.
23. Cole BJ, Karas V, Hussey K, et al. Hyaluronic Acid Versus Platelet-Rich Plasma: A Prospective, Double-Blind Randomized Controlled Trial Comparing Clinical Outcomes and Effects on Intra-articular Biology for the Treatment of Knee Osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2017;45(2):339-346. doi: 10.1177/0363546516665809.
24. Lu M, Jin Y. Efficacy Evaluation of the Combined Platelet-Rich Plasma and Hyaluronic Acid after Arthroscopic Joint Debridement in Treating Knee Osteoarthritis. *Scanning.* 2022;2022:6994017. doi: 10.1155/2022/6994017.
25. Louis ML, Magalon J, Jouve E, et al. Growth Factors Levels Determine Efficacy of Platelets Rich Plasma Injection in Knee Osteoarthritis: A Randomized Double Blind Noninferiority Trial Compared With Viscosupplementation. *Arthroscopy.* 2018;34(5):1530-1540.e2. doi: 10.1016/j.arthro.2017.11.035.
26. Zhao J, Huang H, Liang G, et al. Effects and safety of the combination of platelet-rich plasma (PRP) and hyaluronic acid (HA) in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):224. doi: 10.1186/s12891-020-03262-w.
27. Filardo G, Previtali D, Napoli F, et al. PRP Injections for the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Cartilage.* 2021;13(1 suppl):364S-375S. doi: 10.1177/1947603520931170.
28. Barakat AS, Ibrahim NM, Elghobashy O, et al. Prevention of post-traumatic osteoarthritis after intra-articular knee fractures using hyaluronic acid: a randomized prospective pilot study. *Int Orthop.* 2019;43(11):2437-2445. doi: 10.1007/s00264-019-04360-8.
29. de Sire A, Stagno D, Minetto MA, et al. Long-term effects of intra-articular oxygen-ozone therapy versus hyaluronic acid in older people affected by knee osteoarthritis: A randomized single-blind extension study. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2020;33(3):347-354. doi: 10.3233/BMR-181294.
30. Li M, Huang Z, Wang S, et al. Intra-articular injections of platelet-rich plasma vs. hyaluronic acid in patients with knee osteoarthritis: Preliminary follow-up results at 6-months. *Exp Ther Med.* 2021;21(6):598. doi: 10.3892/etm.2021.10030.
31. Desai MJ, Safriel Y. MRI for in vivo Analysis of Ablation Zones Formed by Cooled Radiofrequency Neurotomy to Treat Chronic Joint Pain Across Multiple Axial Spine Sites. *J Pain Res.* 2022;15:423-430. doi: 10.2147/JPR.S342795.
32. Suurmond R, van Rhee H, Hak T. Introduction, comparison, and validation of Meta-Essentials: A free and simple tool for meta-analysis. *Res Synth Methods.* 2017;8(4):537-553. doi: 10.1002/jrsm.1260.
33. Dwan K, Li T, Altman DG, Elbourne D. CONSORT 2010 statement: extension to randomised crossover trials. *BMJ.* 2019;366:l4378. doi: 10.1136/bmj.l4378.
34. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Syst Rev.* 2016;5(1):210. doi: 10.1186/s13643-016-0384-4.
35. Partan RU, Putra KM, Hafizzanovian H, et al. Clinical Outcome of Multiple Platelet-Rich Plasma Injection and Correlation with PDGF-BB in the Treatment of Knee Osteoarthritis. *J Pers Med.* 2024;14(2):183. doi: 10.3390/jpm14020183.
36. Assirelli E, Filardo G, Mariani E, et al. Effect of two different preparations of platelet-rich plasma on synoviocytes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(9):2690-2703. doi: 10.1007/s00167-014-3113-3.
37. Lin KY, Yang CC, Hsu CJ, et al. Intra-articular Injection of Platelet-Rich Plasma Is Superior to Hyaluronic Acid or Saline Solution in the Treatment of Mild to Moderate Knee Osteoarthritis: A Randomized, Double-Blind, Triple-Parallel, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Arthroscopy.* 2019;35(1):106-117. doi: 10.1016/j.arthro.2018.06.035.
38. De Marziani L, Sangiorgio A, Bensa A, et al. Intra-articular injections in sport-active patients with degenerative cartilage lesions or osteoarthritis of the knee: a systematic review. *J Exp Orthop.* 2023;10(1):112. doi: 10.1186/s40634-023-00674-0.
39. Arden NK, Åkermarck C, Andersson M, et al. A randomized saline-controlled trial of NASHA hyaluronic acid for knee osteoarthritis. *Curr Med Res Opin.* 2014;30(2):279-286. doi: 10.1185/03007995.2013.855631.
40. Di Martino A, Di Matteo B, Papio T, et al. Platelet-Rich Plasma Versus Hyaluronic Acid Injections for the Treatment of Knee Osteoarthritis: Results at 5 Years of a Double-Blind, Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):347-354. doi: 10.1177/0363546518814532.

41. Cortet B, Lombion S, Naissant B, et al. Non-Inferiority of a Single Injection of Sodium Hyaluronate Plus Sorbitol to Hylan G-F20: A 6-Month Randomized Controlled Trial. *Adv Ther.* 2021;38(5):2271-2283. doi: 10.1007/s12325-021-01648-3.
42. Conrozier T, Eymard F, Chouk M, Chevalier X. Impact of obesity, structural severity and their combination on the efficacy of viscosupplementation in patients with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):376. doi: 10.1186/s12891-019-2748-0.
43. Fernández-Ferro M, Fernández-Sanromán J, Blanco-Carrión A, et al. Comparison of intra-articular injection of plasma rich in growth factors versus hyaluronic acid following arthroscopy in the treatment of temporomandibular dysfunction: A randomised prospective study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2017;45(4):449-454. doi: 10.1016/j.jcms.2017.01.010.
44. Anitua E, Sánchez M, Orive G, Andía I. The potential impact of the preparation rich in growth factors (PRGF) in different medical fields. *Biomaterials.* 2007;28(31):4551-4560. doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.06.037.
45. Simental-Mendía M, Vilchez-Cavazos JF, Peña-Martínez VM, et al. Leukocyte-poor platelet-rich plasma is more effective than the conventional therapy with acetaminophen for the treatment of early knee osteoarthritis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(12):1723-1732. doi: 10.1007/s00402-016-2545-2.
46. Riboh JC, Saltzman BM, Yanke AB, et al. Effect of Leukocyte Concentration on the Efficacy of Platelet-Rich Plasma in the Treatment of Knee Osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2016;44(3):792-800. doi: 10.1177/0363546515580787.
47. Adams ME, Atkinson MH, Lussier AJ, et al. The role of viscosupplementation with hylan G-F 20 (Synvisc) in the treatment of osteoarthritis of the knee: a Canadian multicenter trial comparing hylan G-F 20 alone, hylan G-F 20 with non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and NSAIDs alone. *Osteoarthritis Cartilage.* 1995;3(4):213-225. doi: 10.1016/s1063-4584(05)80013-5.
48. Altman RD, Rosen JE, Bloch DA, et al. A double-blind, randomized, saline-controlled study of the efficacy and safety of Euflexxa for treatment of painful osteoarthritis of the knee, with an open-label safety extension (the FLEXX trial). *Semin Arthritis Rheum.* 2009;39(1):1-9. doi: 10.1016/j.semarthrit.2009.04.001.
49. Sdeek M, Sabry D, El-Sdeek H, Darweash A. Intra-articular injection of Platelet rich plasma versus Hyaluronic acid for moderate knee osteoarthritis. A prospective, double-blind randomized controlled trial on 189 patients with follow-up for three years. *Acta Orthop Belg.* 2021;87(4):729-734. doi: 10.52628/87.4.18.
50. Saornil JV, Sánchez Milá Z, Campón Chekroun AM, et al. Comparative Study of the Efficacy of Hyaluronic Acid, Dry Needling and Combined Treatment in Patellar Osteoarthritis-Single-Blind Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(17):10912. doi: 10.3390/ijerph191710912.
51. Bettonville M, Léon M, Margaux J, et al. Safety and efficacy of a single intra-articular injection of a novel enhanced protein solution (JTA-004) compared to hylan G-F 20 in symptomatic knee osteoarthritis: a randomized, double-blind, controlled phase II/III study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):888. doi: 10.1186/s12891-021-04750-3.
52. Conrozier T, Eymard F, Afif N, et al. Safety and efficacy of intra-articular injections of a combination of hyaluronic acid and mannitol (HANOX-M) in patients with symptomatic knee osteoarthritis: Results of a double-blind, controlled, multicenter, randomized trial. *Knee.* 2016;23(5):842-848. doi: 10.1016/j.knee.2016.05.015.
53. Askari A, Gholami T, NaghiZadeh MM, et al. Hyaluronic acid compared with corticosteroid injections for the treatment of osteoarthritis of the knee: a randomized control trail. *Springerplus.* 2016;5:442. doi: 10.1186/s40064-016-2020-0.
54. Paterson KL, Nicholls M, Bennell KL, Bates D. Intra-articular injection of photo-activated platelet-rich plasma in patients with knee osteoarthritis: a double-blind, randomized controlled pilot study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:67. doi: 10.1186/s12891-016-0920-3.
55. Bahrami MH, Raeissadat SA, Cheraghi M, et al. Efficacy of single high-molecular-weight versus triple low-molecular-weight hyaluronic acid intra-articular injection among knee osteoarthritis patients. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):550. doi: 10.1186/s12891-020-03577-8.
56. Campos ALS, E Albuquerque RSP, da Silva EB, et al. Viscosupplementation in patients with severe osteoarthritis of the knee: six month follow-up of a randomized, double-blind clinical trial. *Int Orthop.* 2017;41(11):2273-2280. doi: 10.1007/s00264-017-3625-9.
57. Farr J, Gomoll AH, Yanke AB, et al. A Randomized Controlled Single-Blind Study Demonstrating Superiority of Amniotic Suspension Allograft Injection Over Hyaluronic Acid and Saline Control for Modification of Knee Osteoarthritis Symptoms. *J Knee Surg.* 2019;32(11):1143-1154. doi: 10.1055/s-0039-1696672.
58. Gobbi A, Morales M, Avio G, D'Ambrosi R. Double-blinded prospective randomized clinical trial in knee joint osteoarthritis treatment: safety assessment and performance of trehalose hyaluronic acid versus standard infiltrative therapy based on medium-weight sodium hyaluronate. *J Cartil Joint Preserv.* 2022;2(3):100043. doi: 10.1016/j.jcjp.2022.100043.
59. Goncars V, Jakobsons E, Blums K, et al. The comparison of knee osteoarthritis treatment with single-dose bone marrow-derived mononuclear cells vs. hyaluronic acid injections. *Medicina (Kaunas).* 2017;53(2):101-108. doi: 10.1016/j.medic.2017.02.002.
60. Bowden J, Davey Smith G, Burgess S. Mendelian randomization with invalid instruments: effect estimation and bias detection through Egger regression. *Int J Epidemiol.* 2015;44(2):512-525. doi: 10.1093/ije/dyv080.
61. Almalik O, Zhan Z, van den Heuvel ER. Tests for publication bias are unreliable in case of heteroscedasticity. *Contemp Clin Trials Commun.* 2021;22:100781. doi: 10.1016/j.conctc.2021.100781.
62. Gjerdevik M, Heuch I. Improving the error rates of the Begg and Mazumdar test for publication bias in fixed effects meta-analysis. *BMC Med Res Methodol.* 2014;14:109. doi: 10.1186/1471-2288-14-109.
63. Shi L, Lin L. The trim-and-fill method for publication bias: practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(23):e15987. doi: 10.1097/MD.00000000000015987.
64. Peters JL, Sutton AJ, Jones DR, et al. Performance of the trim and fill method in the presence of publication bias and between-study heterogeneity. *Stat Med.* 2007;26(25):4544-4562. doi: 10.1002/sim.2889.
65. Crowther M, Lim W, Crowther MA. Systematic review and meta-analysis methodology. *Blood.* 2010;116(17):3140-3146. doi: 10.1182/blood-2010-05-280883.
66. Čehovin G, Bosnjak M, Lozar Manfreda K. Meta-Analyses in Survey Methodology: A Systematic Review. *Public Opinion Quarterly.* 2018;82(2):641-660. doi: 10.1093/poq/nfy042.
67. Miller LE. Towards reaching consensus on hyaluronic acid efficacy in knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol.* 2019;38(10):2881-2883. doi: 10.1007/s10067-019-04597-z.

68. Raeissadat SA, Babaee M, Rayegani SM, et al. An overview of platelet products (PRP, PRGF, PRF, etc.) in the Iranian studies. *Future Sci OA*. 2017;3(4):FSO231. doi: 10.4155/fsoa-2017-0045.
69. Vannabouathong C, Bhandari M, Bedi A, et al. Nonoperative Treatments for Knee Osteoarthritis: An Evaluation of Treatment Characteristics and the Intra-Articular Placebo Effect: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2018;6(7):e5. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00167.
70. Filardo G, Kon E, Pereira Ruiz MT, et al. Platelet-rich plasma intra-articular injections for cartilage degeneration and osteoarthritis: single- versus double-spinning approach. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(10):2082-2091. doi: 10.1007/s00167-011-1837-x.
71. Yaradilmis YU, Demirkale I, Safa Tagral A, et al. Comparison of two platelet rich plasma formulations with viscosupplementation in treatment of moderate grade gonarthrosis: A prospective randomized controlled study. *J Orthop*. 2020;20:240-246. doi: 10.1016/j.jor.2020.01.041.
72. Третьяков А.А., Зиновкин Д.А., Карпенко Ф.Н. и др. Патоморфологическая оценка эффективности внутрисуставного применения растворимых факторов тромбоцитов для лечения экспериментального остеоартрита. *Гений ортопедии*. 2024;30(1):90-98. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-90-98.

Статья поступила 08.11.2024; одобрена после рецензирования 11.02.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 08.11.2024; approved after reviewing 11.02.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Елена Сергеевна Приезжева — врач общей практики, ординатор, elena_priezjeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3958-5349>;
Надежда Ивановна Сивкова — кандидат социологических наук, доцент кафедры, letica@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6331-0124>;

Андрей Викторович Жилияков — доктор медицинских наук, доцент кафедры, doctor-zhilyakov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1261-3712>;

Елена Александровна Волокитина — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой, volokitina_elena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>.

Information about the authors:

Elena S. Priezheva — General practitioner, resident, elena_priezjeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3958-5349>;

Nadezhda I. Sivkova — Candidate of Social Sciences, Associate Professor, letica@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6331-0124>;

Andrey V. Zhilyakov — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, doctor-zhilyakov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1261-3712>;

Elena A. Volokitina — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, volokitina_elena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>.

Вклад авторов:

Приезжева Е.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста.

Сивкова Н.И. — сбор и обработка материала, статистическая обработка.

Жилияков А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, редактирование и утверждение окончательного варианта статьи.

Волокитина Е.А. — редактирование и утверждение окончательного варианта статьи.

Главный редактор А.В. Бурцев

Компьютерная верстка М.А. Беляева

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Подписано в печать 17.02.2026. Дата выхода 27.02.2026

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 16.74

Тираж 75 экз. Заказ № 18740. Свободная цена

Адрес издателя, редакции журнала «Гений ортопедии»

640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

<http://ilizarov-journal.com>

Отпечатано в Типографии «Эталон». 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Трефолева, 2 литера БН, помещение 3-Н, офис 1

ilizarov-journal.com