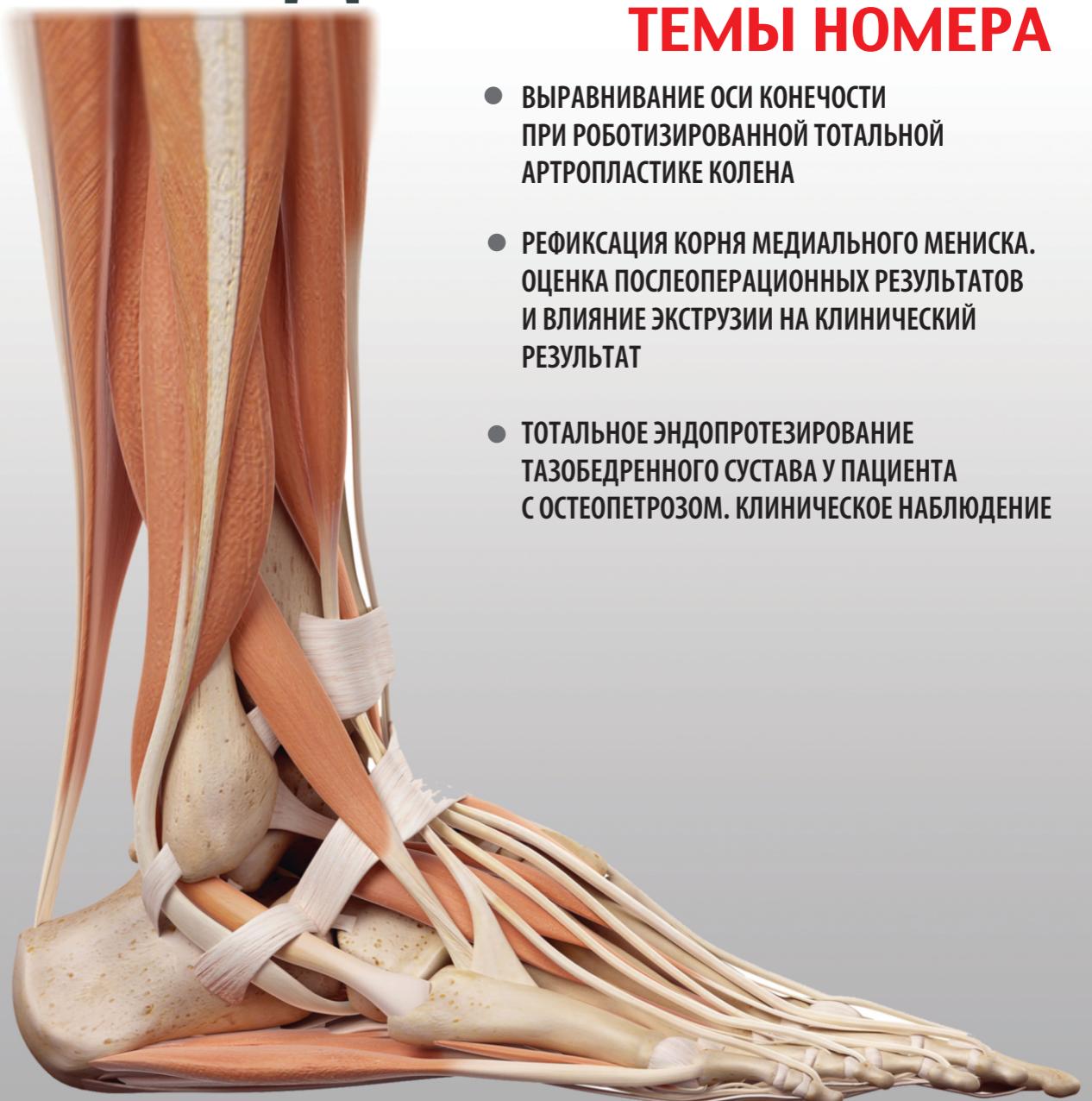


# КАФЕДРА ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

## ТЕМЫ НОМЕРА

- ВЫРАВНИВАНИЕ ОСИ КОНЕЧНОСТИ ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТОТАЛЬНОЙ АРТРОПЛАСТИКЕ КОЛЕНА
- РЕФИКАЦИЯ КОРНЯ МЕДИАЛЬНОГО МЕНИСКА. ОЦЕНКА ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИИ НА КЛИНИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ
- ТОТАЛЬНОЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТА С ОСТЕОПЕТРОЗОМ. КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ



№ 4

Журнал включен ВАК в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.



# ИЗИТЕНС®

## биомедицинский клеточный продукт

РУ: БМКП №1 от 12.12.2023  
Культивированные *in vitro*  
аутологичные хондроциты

### Производство Изитенс®

- Максимальная безопасность и прослеживаемость продукта на всех этапах производственного цикла
- Практически исключены риски контаминации и нежелательные иммунные реакции
- Все основные этапы производственного процесса стандартизованы и валидированы
- Весь процесс получения продукта занимает в среднем 5–8 недель
- Для имплантации используются хондросфера – хрящеподобные структуры с архитектурой сфероидов, выращенные в 3D условиях *in vitro*

### Применение Изитенс®

- Для восстановления повреждений хряща коленного сустава III или IV степени (ICRS) с размером дефекта от 1 до 10 кв. см
- Малоинвазивная процедура биопсии и имплантации
- Продолжительность реабилитации 3–12 месяцев по рекомендации врача<sup>1</sup>

1. Инструкция по медицинскому применению БМКП Изитенс®. 2. Хобург А., Нимейер П., Ляуте В. и др. Устойчивое превосходство по подшкам KOOS после имплантации матрикс-ассоциированных хондроцитов с использованием сфероидов по сравнению с микропереломом. Хирургия коленного сустава. Спортивная травматология, Артроскопия 31, 2482–2493 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07194-x>; Hoburg, A., Niemeyer, P., Laute, V. et al. Sustained superiority in KOOS subscores after matrix-associated chondrocyte implantation using spheroids compared to microfracture. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 31, 2482–2493 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07194-x>.

Материал предназначен для специалистов здравоохранения

АО «ГЕНЕРИУМ», 123112, г. Москва, ул. Тестовская, д. 10, подъезд 2  
Тел./факс: +7 (495) 988-47-94, [www.generium.ru](http://www.generium.ru).

ПЕРЕД ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЯЗАТЕЛЬНО ОЗНАКОМЬТЕСЬ С ПОЛНОЙ ИНСТРУКЦИЕЙ ПО МЕДИЦИНСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ БИОМЕДИЦИНСКОГО КЛЕТОЧНОГО ПРОДУКТА ИЗИТЕНС®



# ПРОФОРТОПЕДИЯ

ТРАДИЦИИ • РАЗВИТИЕ • ИННОВАЦИИ

PRIUS®



Capitole®



Stemsys®



FREELINER®

ПРОФОРТОПЕДИЯ

+7.495.230.05.84  
info@profort.ru

E v o l u t i s  
C R E A T E U R F A B R I C A N T

Реклама

# **Кафедра травматологии и ортопедии (Zhurnal kafedra travmatologii i ortopedii)**

№4 · 2025

Основан в 2012 году

Учредители: ФГАОУ ВО ПЕРВЫЙ МГМУ ИМ. И.М.СЕЧЕНОВА МИНЗДРАВА РОССИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ), ООО «ПРОФИЛЬ — 2С», 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78; тел./факс +7 (916) 229 03 11; E-mail: sp@profill.ru

Издатель: ООО «ПРОФИЛЬ — 2С»  
123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78;  
тел./факс +7 (916) 229 03 11;  
E-mail: sp@profill.ru

Периодичность издания:  
1 раз в 3 месяца

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и связи 28 февраля 2012 года (регистрационное удостоверение № ПИ ФС 77-48698).

Префикс DOI: 10.17238/issn2226-2016

Адрес редакции:  
123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78;  
тел./факс +7 (916) 229 03 11;  
E-mail: sp@profill.ru;  
<http://www.jkto.ru>

Журнал включен ВАК в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Материалы журнала распространяются по лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 License.



Отпечатано: Типография «КАНЦЛЕР», 150044, г. Ярославль, Полушкина роща 16, стр. 66а.

Тираж: 1 000 экз

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается только с разрешения редакции. При использовании материалов ссылка на журнал обязательна. Присланные материалы не возвращаются. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. Редакция не несет ответственности за достоверность рекламной информации.

© Кафедра травматологии и ортопедии, 2022  
Подписной индекс 88210 в объединенном каталоге «Пресса России»

Цена договорная

Подписано в печать: .12.2025

Рецензируемый научно-практический журнал "Кафедра травматологии и ортопедии" является печатным органом. Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и связи 28 февраля 2012 года (регистрационное удостоверение № ПИ ФС 77-48698). Дата подписи первого выпуска в печать 30.03.2012 г. Журнал не переименовывался.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора медицинских наук.

Журнал выходит с периодичностью 4 выпуска в год.

Распространение: Россия, зарубежные страны.

Цель журнала – освещение современных тенденций и технологий лечения повреждений и заболеваний опорно-двигательного аппарата, основанных на экспериментальных, теоретических и клинических исследованиях, проводимых как в отечественных, так и в зарубежных научно-клинических центрах

Журнал предназначен для практикующих врачей травматологов-ортопедов, преподавателей, студентов, интернов, ординаторов и аспирантов высших учебных заведений, врачей смежных специальностей (анестезиологов-реаниматологов, реабилитологов, нейрохирургов и др.)

## **Главный редактор**

**Лычагин Алексей Владимирович** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва, РОССИЯ.

## **Научный редактор**

**Кавалерский Геннадий Михайлович** — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

## **Редакционная коллегия:**

**Ахтюмов Ильдар Фуатович** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний ФГАОУ ВПО Казанского государственного медицинского университета, Казань, РОССИЯ

**Бобров Дмитрий Сергеевич** — ответственный секретарь, кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

**Брижань Леонид Карлович** — д.м.н., профессор, начальник ЦТИО ФГКУ «Главный военный клинический госпиталь им. Бурденко», профессор кафедры хирургии с курсами травматологии, ортопедии и хирургической эндокринологии НМХЦ им.Н.И. Пирогова, Москва, РОССИЯ

**Гаркави Андрей Владимирович** — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

**Грицюк Андрей Анатольевич** — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), РОССИЯ

**Дубров Вадим Эрикович** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой общей и специализированной хирургии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Главный травматолог г. Москвы, Москва, РОССИЯ

**Егиазарян Карен Альбертович** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии ФГАОУ ВО "Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, РОССИЯ

**Карданов Андрей Асланович** — д.м.н., Заместитель главного врача, АО «Европейский Медицинский Центр», Москва, РОССИЯ

**Королёв Андрей Вадимович** — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии и ортопедии Российского университета дружбы народов, Москва, РОССИЯ

**Минасов Булат Шамильевич** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ИДПО Башкирского государственного медицинского университета, заслуженный деятель науки РФ, УФА, РОССИЯ

**Мурылёв Валерий Юрьевич** — д.м.н., профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России» (Сеченовский Университет), РОССИЯ

**Процко Виктор Геннадьевич** — д.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Москва, Россия; руководитель центра хирургии стопы ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.С. Юдина» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, РОССИЯ

**Самодай Валерий Григорьевич** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и ВПХ Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко, Воронеж, РОССИЯ

**Слиняков Леонид Юрьевич** — д.м.н., доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

**Шубкина Алёна Александровна**, секретарь журнала, врач травматолог-ортопед отделения медицинской реабилитации УКБ №2 ФГАОУ ВО им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

### **Редакционный совет:**

**Хофманн Зигфрид** — д.м.н., доцент кафедры ортопедической хирургии, глава учебного центра эндопротезирования коленного сустава, LKH Штольцальпе 8852 Штольцальпе, АВСТРИЯ

**Моррей Бернард Ф.**, доктор медицины, профессор кафедры ортопедической хирургии, почетный председатель кафедры ортопедии университета фундаментального медицинского образования и науки клиники Мэйо в Миннесоте, США

**Кон Елизавета**, профессор, д.м.н., руководитель центра биологической реконструкции, трансляционной ортопедии коленного сустава, научно-исследовательского госпиталя Humanitas, Милан, ИТАЛИЯ

**Ярвела Тимо**, Профессор, д.м.н., травматолог - ортопед, Университетская клиника г. Тампере, центр артроскопии и ортопедии г. Хатанпяа, ФИНЛЯНДИЯ

# The Department of Traumatology and Orthopedics

No4. 2025

Founded in 2012

Founders: I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) LLC «Profill — 2S» 123007, Moskow, Khoroshevskoe highway, 78; tel/fax +7 (916) 229 03 11, E-mail: sp@profill.ru

Publisher: LLC «Profill — 2S» 123007, Moskow, Khoroshevskoe highway, 78; tel/fax +7 (916) 229 03 11, E-mail: sp@profill.ru

Periodicity of publication:  
1 time in 3 months

Registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Communications on June 9, 2008 (registration certificate No. PI FS 77-32248).

Prefix DOI: 10.17238/issn2226-2016

## Editorial Office address:

123007, Moskow, Khoroshevskoe highway, 78; tel/fax +7 (916) 229 03 11, e-mail: sp@profill.ru

<http://www.jkto.ru>

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of Sciences should be published.

The materials of the journal are distributed under the Creative Commons Attribution-Noncommercial-NoDerivatives 4.0 License.



Printed in Printing house «KANTSLER», 150044, Yaroslavl, Polushkina grove 16, build. 66a

Circulation 1000 copy

The reprint of the materials published in magazine is supposed only with the permission of edition. At use of materials the reference to magazine is obligatory. The sent materials do not come back. The point of view of authors can not coincide with opinion of edition. Edition does not bear responsibility for reliability of the advertising information.

© The Department of Traumatology and Orthopedics, 2022

Subscription index 88210 in the incorporated catalogue «Press of Russia»

The price contractual

Sent for press: .12.2025

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal "THE DEPARTMENT OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS" is the official publication. The Journa lis registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Communications on February 28, 2012 (registration certificate № PI FS 77-48698).

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications by the Higher Attestation Commission, in which the main results of dissertations for the degree of PhDs and MDs should be published.

Frequency: 4 issues per year.

Distribution: RUSSIA, foreign countries.

The purpose of the journal is to highlight current trends and technologies for the treatment of injuries and diseases of the musculoskeletal system based on experimental, theoretical and clinical studies conducted both in domestic and foreign scientific and clinical centers

The journal is intended for practicing orthopedic traumatologists, teachers, students, interns, residents and postgraduates of higher educational institutions, doctors of related specialties (anesthesiologists, resuscitators, rehabilitologists, neurosurgeons, etc.)

## Chief editor:

**Alexey V. Lychagin**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA.

## Scientific editor:

**Gennadiy M. Kavalsky**, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

## Editorial board:

**Ildar F. Akhtyamov**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Surgery of extreme states of Kazan State Medical University, Kazan, RUSSIA

**Dmitry S. Bobrov**, secretary-in-charge, Cand. of Med. Sci., Associate Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

**Leonid K. Brizhan**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of CTiO FGKU «Main Military Hospital Burdenko», Professor of Department of Surgery with the course of traumatology, orthopedics and surgical endocrinology Federal State Institution «The National Medical and Surgical Center named NI Pirogov «the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, RUSSIA

**Andrey V. Garkavi**, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

**Andrey A. Gritsyuk**, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

**Vadim E. Dubrov**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of General and Specialized Surgery, Faculty of Fundamental Medicine of Lomonosov Moscow State University, Chief Traumatologist of Moscow, Moscow, RUSSIA

**Karen A. Eghiazaryan**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, RUSSIA

**Andrey A. Kardanov**, Dr. of Med. Sc., Deputy Chief Medical Officer European Medical Center, Moscow, RUSSIA

**Andrey V. Korolev**, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, RUSSIA

**Bulat S. Minasov**, Dr. of med. Sci, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics IDPO Bashkir State Medical University, Honored Scientist, UFA, RUSSIA

**Valery Yu. Murylev**, Dr. Sci. Med., Professor, of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, Russia; Head of Moscow City Arthroplasty Center, Botkin City Clinical Hospital, Moscow, RUSSIA

**Viktor G. Protcko**, Dr. of Med. Sci., Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation; Surgeon, Chief of Foot Surgery Centre City Clinical Hospital named after S.S. Yudin, Moscow, RUSSIA

**Valery G. Samoday**, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Military Field Surgery of Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, RUSSIA

**Leonid Yu. Slinyakov**, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

**Alena A. Shubkina**, secretary of the journal, orthopedist-traumatologist of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

### ***Editorial Council:***

**Siegfried Hofmann**, Dr. of Med. Sci., Associate Professor Orthopedic Surgery of Head Knee Training Center, LKH Stolzalpe, 8852 Stolzalpe, AUSTRIA

**Bernard F. Morrey**, Dr. of Med. Sci., Professor of Orthopedic Surgery, Mayo Clinic, Rochester, Minnesota; Professor of Orthopedics, University of Texas Health Center, San Antonio, Texas, USA

**Elizaveta Kon**, Dr. of Med. Sci., Associate Professor Orthopedics, Chief of Translational Orthopedics of Knee Functional and Biological Reconstruction Center, Humanitas Research Hospital, Milano, ITALY

**Timo Järvelä** Dr. of Med. Sci., PhD, Professor, Tampere University Hospital, Hatanpää Arthroscopic Center and Othopaedic Department, FINLAND

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<b>А.А. КЕРИМОВ, И.В. ХОМИНЦ, К.К. БЕКШОКОВ, А.А. МАКСИМОВ, А.А. ГРИЦЮК, Е.А. КУКУШКО, В.Д. БЕСЕДИН, А. З. АРСОМАКОВ</b>	
РОЛЬ МАРКЕРОВ ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ ПЕРЕЛОМОВ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ:	7
ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ .....	7
<b>В.М. ЕРМИШИН, А.Н. НИКОЛАЕНКО, Д.А. ДОЛГУШКИН, А.П. БОРИСОВ, Д.Г. ФЕДОРОВ, С.Д. КАРПУШИН</b>	
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КУЛЬТИ У ЖИВОТНЫХ ДЛЯ УСТАНОВКИ ОСТЕОИНТЕГРИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТОВ .....	16
<b>И. М.-Х. ГАЙРАБЕКОВ, С.В. КАГРАМАНОВ, Н.В. ЗАГОРОДНИЙ, Д.С. ГОРБАТЮК, Г.А. ЧРАГЯН, Г.И. ЭСЕДОВ, Р.Х. ЯВЛИЕВА</b>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОГО И ТРАДИЦИОННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА:	
ПРОСПЕКТИВНОЕ РАНДОМИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ .....	26
<b>А.В. ЛЫЧАГИН, А.А. СВИСТУНОВ, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, А.В. ГАРКАВИ, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ, Т.Р. КУДРАЧЕВ, Ю.Р. ГОНЧАРУК, К.М. АЗАРКИН,</b>	
<b>Д.А. ПОГОСЯН, Э.Э. МУРДАЛОВ</b>	
КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИМПЛАНТАЦИИ СФЕРОИДОВ АУТОЛОГИЧНЫХ ХОНДРОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ХРЯЩА	
КОЛЕННОГО СУСТАВА .....	39
<b>А.В. ЛЫЧАГИН, А.А. ГРИЦЮК, М.П. ЕЛИЗАРОВ, К.Х. ТОМБОИДИ, М.М. ХАЛИМОВ</b>	
ВЫРАВНИВАНИЕ ОСИ КОНЕЧНОСТИ ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТОТАЛЬНОЙ АРТРОПЛАСТИКЕ КОЛЕНА .....	53
<b>С.Н. ЛЕОНОВА, И.В. УСОЛЬЦЕВ, М.А. КОСАРЕВА</b>	
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТЕОТОМИИ ПО HELAL ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ МОЛОТКООБРАЗНОГО ПАЛЬЦА СТОПЫ .....	62
<b>И.Ю. ЛИСИЦКИЙ, В.А. ХОМЕНКО, А.В. ЛЫЧАГИН, А.Ю. ЗАРОВ, А.Л. КОРКУНОВ, В.Г. ЧЕРЕПАНОВ, И.А. ВЯЗАНКИН, Е.Ю. ЦЕЛИЩЕВА, П.И. ПЕТРОВ,</b>	
<b>А.В. ГАРКАВИ, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ</b>	
ЗАДНЕБОКОВОЙ БИЛАТЕРАЛЬНЫЙ ЭКСТРАПЛЕВРАЛЬНЫЙ ДОСТУП ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ СПОНДИЛИТОВ	
ВЕРХНЕГРУДНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ 12 НАБЛЮДЕНИЙ .....	71
<b>В.В. ОСТРОВСКИЙ, С.Е. ГРИШИН, С.П. БАЖАНОВ, А.С. ФЕДОННИКОВ, В.Ю. УЛЬЯНОВ, Д.М. ПУЧИНЬЯН, И.А. НОРКИН</b>	
80 ЛЕТ НИИ ТРАВМАТОЛОГИИ, ОРТОПЕДИИ И НЕЙРОХИРУРГИИ СГМУ: РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ НА ОСНОВЕ 15-ЛЕТНЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ	
АРХИВНЫХ ДАННЫХ .....	80
<b>А.А. РИМСКИЙ, А.В. ГАРКАВИ, Д.А. РОМАНОВ, Д.А. НАЙДА, Л.О. КНЕЛЛЕР, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ</b>	
РЕФИКАСИЯ КОРНЯ МЕДИАЛЬНОГО МЕНИСКА. ОЦЕНКА ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИИ	
НА КЛИНИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ .....	92
<b>В. С. ЗУБИКОВ, Е. О. ПЕРЕЦМАНАС, И. А. ГЕРАСИМОВ, Я. А. РУКИН</b>	
ВЛИЯНИЕ ВИЧ ИНФЕКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХЭТАПНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ПРИ СЕПТИЧЕСКОМ	
КОКСИТЕ .....	102
<b>Г.К. СЕРГЕЕВ, В.А. МАЛЬЧЕВСКИЙ, К.С. СЕРГЕЕВ, И.А. ЛЕБЕДЕВ, А.Б. ВЛАДИМИРОВ, В.И. АРХИПЕНКО, М.С. АЛЬФАЙЮМІ</b>	
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТА ИМПЛАНТАЦИИ ВНУТРИКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С МЕДЬСОДЕРЖАЩИМ ПОКРЫТИЕМ В УСЛОВИЯХ	
ЭКСПЕРИМЕНТА У ЖИВОТНЫХ ПРИ ГЛУБОКОЙ ГРАМ-ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ИНФЕКЦИИ БЕДРА .....	112
<b>В. В. СКРЕБЦОВ, В. Г. ПРОЦКО, А. В. СКРЕБЦОВ, С. К. ТАМОЕВ, В. К. НИКИТИНА</b>	
ОРИГИНАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ГЕМИЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ПЛАСТИКОЙ ПЛЮСНЕ-СЕСАМОВИДНОГО СУСТАВА	
КОЛЛАГЕНОВОЙ МЕМБРАНОЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОСТЕОАРТРИТА ПЕРВОГО ПЛЮСНЕФАЛАНГОВОГО СУСТАВА 3-4 СТАДИИ .....	119
<b>А. А. Р. ХАБИЗ, Б.М. КАЛИНСКИЙ, А.А. ГРИЦЮК, А.В. ЛЫЧАГИН, И.Н. ТАРАБАРКО, А.В. ГАРКАВИ, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ</b>	
ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ПАТЕЛЛОФЕМОРАЛЬНОГО АРТРОЗА .....	126
<b>А.В. ЛЫЧАГИН, В.Г. ЧЕРЕПАНОВ, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ, А.В. ГАРКАВИ, А.Р. ДРОГИН, И.А. ВЯЗАНКИН, А.Д. ЕФРЕМОВ, Т.Т. СУЛТАН, А.А. УЗАЕВ,</b>	
<b>Ж.Н. НАДДАФ</b>	
ЛАЗЕРНАЯ ДЕНЕРВАЦИЯ ПРОТИВ ПРП ПРИ ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ГОНАРТРОЗА: ПРОСПЕКТИВНОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ .....	134
<b>КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ</b>	
<b>В.В. КАРЕЛКИН, Е.А. ЙОНКИНА</b>	
ТОТАЛЬНОЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТА С ОСТЕОПЕТРОЗОМ. КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ .....	142
<b>ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b>	
<b>В.Н. ХАБАРОВ, В.А. БЕЛЯЕВСКИЙ</b>	
МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИНИЦИРОВАНИЯ И ПРОГРЕССИРОВАНИЯ СУСТАВНЫХ ПАТОЛОГИЙ .....	146

## CONTENTS

### ORIGINAL RESEARCH

*A. N. A. N. KERIMOV, I. N. V. N. KHOMINETS, K. N. K. BEKSHOKOV, A. N. A. N. MAKSIMOV, A. N. A. N. GRITSYUK, E. N. A. N. KUKUSHKO, V. N. D. BESEDIN, A. N. Z. ARSOMAKOV*

THE ROLE OF INFLAMMATORY MARKERS IN THE SEQUENTIAL OSTEOSYNTHESIS OF GUNSHOT FRACTURES OF THE EXTREMITIES: PROSPECTIVE STUDY .....	7
<i>V. M. ERMISHIN, A. N. NIKOLAENKO, D. A. DOLGUSHKIN, A. P. BORISOV, D. G. FEDOROV, S. D. KARPUSHIN</i>	
FEATURES OF ANIMAL STUMP MODELING FOR THE INSTALLATION OF OSTEOINTEGRABLE IMPLANTS .....	16
<i>M. N. PRIZE WINNER- H. GAYRABEKOV, S. N. V. N. KAGRAMANOV, N. V. N. ZAGORODNY, D. N. ACCORDING TO S. N. GORBATYUK, G. N. A. N. CHRAGYAN, G. N. PRIZE WINNER NAMED AFTER ESEDOV, R. N. H. YAVLIEVA</i>	
COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ROBOTIC AND TRADITIONAL KNEE ARTHROPLASTY: A PROSPECTIVE RANDOMIZED TRIAL .....	26
<i>A. V. LYCHAGIN, A. A. SVISTUNOV, E. B. KALINSKIY, A. V. GARKAVI, G. M. KAVALERSKY, T. R. KUDRACHEV, YU. R. GONCHARUK, K. M. AZARKIN, D. A. POGHOSYAN, E. E. MURDALOV</i>	
CLINICAL EXPERIENCE OF IMPLANTATION OF HUMAN AUTOLOGOUS CHONDROCYTE SPHEROIDS FOR THE TREATMENT OF KNEE CARTILAGE DEFECTS .....	39
<i>A. V. LYCHAGIN, A. A. GRITSYUK, M. P. ELIZAROV, K. H. TOMBOIDI, M. M. KHALIMOV</i>	
ALIGNMENT OF THE LIMB AXIS DURING ROBOTIC TOTAL KNEE ARTHROPLASTY .....	53
<i>S. N. LEONOVA, I. V. USOLTSEV, M. A. KOSAREVA</i>	
RESULTS OF USING HELAL OSTEOTOMY FOR SURGICAL CORRECTION OF THE MALLEOID TOE .....	62
<i>I. Y. LISITSKY, V. A. KHOMESENKO, A. V. LYCHAGIN, A. Y. ZAROV, A. L. KORKUNOV, V. G. CHEREPANOV, I. A. VYAZANKIN, E. Y. TSSELISHCHEVA, P. I. PETROV, A. V. GARKAVI, G. M. KAVALERSKY</i>	
POSTEROLATERAL BILATERAL EXTRAPLEURAL ACCESS IN THE SURGICAL TREATMENT OF NONSPECIFIC Spondylitis OF THE UPPER THORACIC SPINE: A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF 12 OBSERVATIONS .....	71
<i>V. V. OSTROVSKY, S. E. GRISHIN, S. P. BAZHANOV, A. S. FEDONNIKOV, V. Y. ULYANOV, D. M. PUCHINYAN, I. A. NORKIN</i>	
80 YEARS OF THE SSMU RESEARCH INSTITUTE OF TRAUMATOLOGY, ORTHOPEDICS AND NEUROSURGERY: RECONSTRUCTION OF HISTORY BASED ON A 15-YEAR STUDY OF ARCHIVAL DATA .....	80
<i>A. A. RIMSKY, A. V. GARKAVI, D. A. ROMANOV, D. A. NAYDA, L. O. KNELLER, G. M. KAVALERSKY</i>	
REFIXATION OF THE MEDIAL MENISCUS ROOT. ASSESSMENT OF POSTOPERATIVE RESULTS AND THE EFFECT OF EXTRUSION ON CLINICAL OUTCOME .....	92
<i>V. S. ZUBIKOV, E. O. PERETSMANAS, I. A. GERASIMOV, YA. A. RUKIN</i>	
THE EFFECT OF HIV INFECTION ON THE RESULTS OF TWO-STAGE HIP REPLACEMENT IN SEPTIC COXITIS .....	102
<i>G. K. SERGEEV, V. A. MALCHEVSKY, K. S. SERGEEV, I. A. LEBEDEV, A. B. VLADIMIROV, V. I. ARKHIPENKO, M. S. ALFAYUMI</i>	
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE RESULT OF IMPLANTATION OF COPPER-COATED INTRASSEOUS STRUCTURES IN EXPERIMENTAL ANIMALS WITH DEEP GRAM-NEGATIVE HIP INFECTION .....	112
<i>V. V. SKREBTSOV, V. G. PROTOKO, A. V. SKREBTSOV, S. K. TAMOEV, V. K. NIKITINA</i>	
AN ORIGINAL TECHNIQUE OF HEMIENDOPROSTHETICS IN COMBINATION WITH METATARSAL-SESAMOID JOINT PLASTY WITH A COLLAGEN MEMBRANE IN THE TREATMENT OF OSTEOARTHRITIS OF THE FIRST METATARSOPHALANGEAL JOINT OF STAGE 3-4 .....	119
<i>A. V. LYCHAGIN, V. G. CHEREPANOV, G. M. KAVALERSKY, A. V. GARKAVI, A. R. DROGYN, I. A. VYAZANKIN, A. D. EFREMOV, T. T. SULTAN, A. A. UZAEV, G. N. NADDAF</i>	
LASER DENERVATION VERSUS PRP FOR LATE-STAGE KNEE OSTEOARTHRITIS: A PROSPECTIVE CONTROLLED STUDY .....	134
 <b>CLINICAL CASE</b>	
<i>V. V. KARELKIN, E. A. YUNKINA</i>	
TOTAL HIP REPLACEMENT IN A PATIENT WITH OSTEOFETROSIS. CLINICAL OBSERVATION .....	142
 <b>LITERATURE REVIEW</b>	
<i>V. N. KHABAROV, V. A. BELYAEVSKY</i>	
MOLECULAR AND CELLULAR MECHANISMS OF INITIATION AND PROGRESSION OF JOINT PATHOLOGIES .....	146

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



УДК 617-7

© Керимов А.А., Хоминец И.В., Бекшоков К.К., Максимов А.А., Грицюк А.А., Кукушко Е.А.,  
Беседин В.Д., Арсомаков А.З., 2025

Оригинальное исследование / Original research

### РОЛЬ МАРКЕРОВ ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ ПЕРЕЛОМОВ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**А.А. КЕРИМОВ<sup>1</sup>, И.В. ХОМИНЕЦ<sup>1\*</sup>, К.К. БЕКШОКОВ<sup>1</sup>, А.А. МАКСИМОВ<sup>1</sup>, А.А. ГРИЦЮК<sup>1,2</sup>, Е.А. КУКУШКО<sup>1</sup>,  
В.Д. БЕСЕДИН<sup>1</sup>, А.З. АРСОМАКОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, 105094, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

<sup>3</sup> Ингушетский государственный университет, 386001, Магас, Республика Ингушетия, Россия

#### **Аннотация**

**Обоснование:** поиск достоверных диагностических лабораторных маркеров развития инфекционно-воспалительных процессов является актуальной темой для научных исследований. При этом, показатели чувствительности и специфичности у применяемых в настоящее время биомаркеров воспаления зачастую являются недостаточными для своевременного принятия решений в процессе лечения пациентов с рисками развития подобных осложнений. На сегодняшний день имеются данные об использовании в качестве нового биомаркера инфекционных осложнений фрагмента трансмембранных белка CD14 пресепсина (ПСП), обладающего почти 100 % чувствительностью и 98 % специфичностью, что может быть успешно использовано при прогнозировании риска развития инфекционных осложнений в послеоперационном периоде.

**Цель:** целью настоящего клинического исследования является сравнительная оценка значимости пресепсина в сравнении с традиционными лабораторными маркерами воспаления при прогнозировании риска развития инфекционных осложнений после проведения последовательного остеосинтеза огнестрельных переломов длинных трубчатых костей конечностей.

**Материалы и методы:** у 113 раненых мы определяли показатели: С-реактивного белка (СРБ), прокальцитонина (ПКТ), ПСП, скорости оседания эритроцитов (СОЭ) и количество лейкоцитов в сыворотке/плазме крови. Прогностические характеристики лабораторных маркеров оценивали на основании использования пороговых значений концентрации, полученных при изучении биомаркеров. Прогностическую ценность уровня всех анализируемых биомаркеров по отношению к возникновению инфекционных осложнений оценивали по показателям чувствительности и специфичности на основании ROC-анализа и определения предельных значений исследуемых маркеров до и после выполнения операции последовательного остеосинтеза.

**Результаты:** на основании проведенного ROC-анализа, были установлены предельные значения СРБ, ПСП, ПКТ, СОЭ и лейкоцитов для исследуемых пациентов. При этом, наилучшим соотношением специфичность/чувствительность обладали показатели СРБ и СОЭ, а наименее оптимальным – показатели прокальцитонина и пресепсина.

**Вывод:** при прогнозировании риска развития инфекционных осложнений при последовательном остеосинтезе огнестрельных переломов длинных трубчатых костей пресепсин и прокальцитонин не показали достоверной прогностической способности. При этом, показатели СРБ, СОЭ, а также динамические значения числа лейкоцитов в общем анализе крови в послеоперационном периоде демонстрируют высокую предиктивную способность.

**Ключевые слова:** огнестрельные переломы; последовательный остеосинтез; пресепсин; биомаркеры; инфекционные осложнения.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Керимов А.А., Хоминец И.В., Бекшоков К.К., Максимов А.А., Грицюк А.А., Кукушко Е.А., Беседин В.Д., Арсомаков А.З., Роль маркеров воспаления при последовательном остеосинтезе огнестрельных переломов костей конечностей: проспективное исследование. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 7–15.

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

## THE ROLE OF INFLAMMATORY MARKERS IN SEQUENTIAL OSTEOSYNTHESIS OF GUNSHOT FRACTURES OF EXTREMITY BONES: A PROSPECTIVE STUDY

**ARTUR A. KERIMOV<sup>1</sup>, IGOR V. KHOMINETS<sup>\*1</sup>, KAZBEK K BEKSHOKOV<sup>1</sup>, ANDREY A. MAKSIMOV<sup>1</sup>, ANDREY A. GRITSYUK<sup>1,2</sup>, EVGENIY A. KUKUSHKO<sup>1</sup>, VLADIMIR D. BESEDIN<sup>1</sup>, ADAM Z. ARSOMAKOV<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Institution "GVKG named after N.N. Burdenko" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 105094, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Ingush State University, 386001, Magas, Republic of Ingushetia, Russia

### Abstract

**Background:** the search for reliable diagnostic laboratory markers of the development of infectious and inflammatory processes is an urgent topic for scientific research. At the same time, the sensitivity and specificity indicators of currently used biomarkers of inflammation are often insufficient for timely decision-making in the treatment of patients at risk of developing such complications. To date, there is evidence of the use of a fragment of the CD14 transmembrane protein presepsin (PSP) as a new biomarker of infectious complications, which has almost 100% sensitivity and 98% specificity, which can be successfully used in predicting the risk of developing infectious complications in the postoperative period.

**Objective:** the aim of this clinical study is to compare the value of presepsin with traditional laboratory markers of inflammation in predicting the risk of infectious complications after sequential osteosynthesis of gunshot fractures of long tubular bones.

**Materials and methods:** in 113 wounded, we determined the following parameters: C-reactive protein (CRP), procalcitonin (PCT), PSP, erythrocyte sedimentation rate (ESR) and the number of leukocytes in serum/plasma. The prognostic characteristics of laboratory markers were evaluated based on the use of concentration thresholds obtained during the study of biomarkers. The prognostic value of the level of all analyzed biomarkers in relation to the occurrence of infectious complications was assessed by sensitivity and specificity based on ROC analysis and determination of the limit values of the studied markers before and after sequential osteosynthesis surgery.

**Results:** based on the ROC analysis, cutoff values for CRP, PSP, PCT, ESR, and leukocyte counts were established for the study patients. Moreover, CRP and ESR demonstrated the best specificity/sensitivity ratio, while procalcitonin and presepsin demonstrated the least optimal.

**Conclusion:** presepsin and procalcitonin did not demonstrate significant predictive value in predicting the risk of infectious complications during sequential osteosynthesis of gunshot fractures of long tubular bones. However, CRP, ESR, and dynamic leukocyte counts in a complete blood count during the postoperative period demonstrated high predictive value.

**Key words:** gunshot fractures; sequential osteosynthesis; presepsin; biomarkers; infectious complications.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Kerimov A.A., Khominets I.V., Bekshokov K.K., Maksimov A.A., Gritsyuk A.A., Kukushko E.A., Besedin V.D., Arsomakov A.Z. The role of inflammatory markers in sequential osteosynthesis of gunshot fractures of extremity bones: a prospective study. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 7–15.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.7-15

### Введение

Лечение пациентов с огнестрельными ранениями конечностей является одной из актуальнейших задач военной травматологии и ортопедии. В тоже время, тяжесть повреждений тканей при данных ранениях напрямую влияет на тактику лечения и количество осложнений [1]. Так, по данным литературы, при ведении боевых действий в современных локальных вооруженных конфликтах доля тяжелых и крайне тяжелых ранений достигает до 34,6 % [2].

Особенности огнестрельных ранений заключаются в сложной конфигурации раневого канала, значительном объеме некротизированных паравульварных тканей, а также частое сочетание данных ранений с переломами костей и повреждениями сосудов и нервов. Современные боевые ранения характеризуются увеличением частоты осколоч-

ных огнестрельных ранений, что приводит к возрастанию количества обширных первичных костных и мягкотканых дефектов, которые вызывают развитие тяжелой гипоксии окружающих тканей, замедляют течение reparatивных процессов и увеличивают риск развития инфекционных осложнений [2, 3, 4].

Выполнение реконструктивно-восстановительных операций (остеосинтез, эндопротезирование и др.) при огнестрельных переломах возможно только после стабилизации общего состояния пациента, при удовлетворительном состоянии мягких тканей, неосложненном течении раневого процесса и соблюдении строгих рекомендации по переходу на внутреннюю фиксацию [5, 6]. Однако, даже в случае соблюдения данных требований при проведении последовательно-

го остеосинтеза сохраняется высокий риск возникновения инфекционных осложнений как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде [7].

На сегодняшний день одним из важнейших направлений в совершенствовании стратегии последовательного остеосинтеза раненым с огнестрельными переломами является разработка системы прогнозирования риска развития инфекционных осложнений. С данной целью в клинической практике уже длительное время успешно применяются такие биомаркеры воспалительной реакции как уровень лейкоцитов в крови, СРБ, СОЭ и прокальцитонин. Главным преимуществом упомянутых биомаркеров является возможность их быстрого и достоверного измерения при помощи автоматизированных анализаторов [6, 8, 9].

При диагностике гноино-септических осложнений все чаще используется открытый в 2004 году лабораторный маркер пресепсин (ПСП), оценка которого в сочетании с другими биомаркерами воспалительных реакций является ценным прогностическим инструментом при лечении пациентов с рисками развития инфекционных осложнений [10].

Пресепсин (sCD14-ST) представляет собой растворимый N-концевой фрагмент трансмембранного белка дифференцировки CD14 размером ~13 кДа, который является растворимой формой рецептора липополисахарида (ЛПС), члена семейства Toll-подобных рецепторов, задача которых состоит в распознавании патоген-ассоциированных молекулярных паттернов и инициации реакции врожденного иммунного ответа. ЛПС является компонентом клеточной стенки грамотрицательных бактерий, который стимулирует врожденный иммунитет, тем самым внося свой вклад в патогенез развития сепсиса [10]. В процессе воспаления происходит расщепление растворимых фрагментов CD14 (пресепсина), которые можно легко измерить при помощи хемилюминесцентного иммуноферментного анализа, а поскольку уровень пресепсина повышается в случае развития бактериальных инфекций, то в клинической практике он может быть полезен в качестве биомаркера в целях диагностики и определения вероятности развития инфекционных осложнений [11]. Однако, на сегодняшний день в мировой литературе отсутствуют исследовательские работы, определяющие роль данного биомаркера при прогнозировании риска развития инфекционных осложнений у пациентов травматолого-ортопедического профиля.

### Методы исследования

Мы исследовали пять биомаркеров (пресепсин, СРБ, прокальцитонин, СОЭ и уровень лейкоцитов) и определили их эффективность в оценке рисков развития инфекционных осложнений после проведения последовательного внутреннего остеосинтеза у пациентов с огнестрельными переломами длинных костей конечностей, при котором

осуществлялся переход с внеочаговых методов фиксации костных отломков на погружные конструкции.

В настоящее проспективное исследование было включено 113 пациентов с огнестрельными переломами длинных костей конечностей, госпитализированных в ГВГК имени Н.Н. Бурденко с этапов медицинской эвакуации в период с 01.09.2024 по 01.09.2025. Всем раненым, включенным в данное исследование, на первом этапе лечения была проведена первичная хирургическая обработка огнестрельных ран, антибиотикотерапия и лечебно-транспортная иммобилизация переломов с использованием стержневых аппаратов внешней фиксации (АВФ).

Критериями включения являлись:

- Наличие у пациентов перелома длинной кости конечности (плечевая, бедренная, большеберцовая), полученного в результате воздействия поражающих факторов огнестрельного оружия (пули, осколки корпусов и вторично-поражающие элементы боеприпасов взрывного действия) в сроки не позднее 1 месяца с даты поступления в ГВГК им. Н.Н. Бурденко;
- Оказание пациентам на передовых этапах эвакуации полноценной медицинской помощи, включающей в себя первичную хирургическую обработку в сроки до 48 часов от момента ранения, введение антибактериальных препаратов и проведение лечебно-транспортной иммобилизации с использованием стержневых АВФ;
- Проведение последовательного остеосинтеза переломов в сроки до 1 месяца с момента поступления в ГВГК им. Н.Н. Бурденко.

Критерий невключения:

- пациенты с множественным, сочетанным и комбинированным характером травмы;
- пациенты с признаками воспаления в области ранения и мест проведения внешних фиксаторов;
- пациенты, имеющие хронические заболевания, увеличивающие вероятность развития инфекционных осложнений в периоперационном периоде (ВИЧ-инфекция, вирусные гепатиты и др.).

Критерий исключения:

- пациенты, отказавшиеся от дальнейшего участия в исследовании после включения в него;
- нарушение пациентами протокола программы наблюдения и реабилитации после выписки из стационара.

Все пациенты, включенные в исследование, являлись военнослужащими мужского пола, возраст которых составил от 22 до 59 лет (средний возраст —  $34,3 \pm 8,24$  года). Тяжесть и характер повреждений у всех раненых были сопоставимы. После стабилизации общего состояния и заживления ран мягких тканей пациентам был выполнен последовательный интрамедуллярный остеосинтез при помощи стандартных титановых штифтов. Средний срок от момента получения ранения до проведения остеосинтеза по минимально инвазивной методике составил  $14,3 \pm 3,80$ .

Анализы крови были взяты у пациентов при их поступлении в госпиталь, а также за сутки до проведения оперативного вмешательства и спустя 48 часов после выполнения последовательного остеосинтеза. Исследование образцов сыворотки/плазмы крови пациентов осуществлялось на базе экспресс-лаборатории ГВКГ им. Н.Н. Бурденко. Общий анализ крови выполнялся на автоматическом гематологическом анализаторе Sysmex XN-350 (Sysmex Corporation). Уровень СРБ измерялся на автоматическом биохимическом анализаторе Sat 450 (Analyzer Medical System). Значения СОЭ измерялись на автоматическом гематологическом анализаторе ERS 3000. Для исследования концентрации ПКТ использовался автоматизированный иммунный анализатор COMPACT IMMUNO-ANALYZER. Уровень биомаркера ПСП измеряли на автоматическом анализаторе PATHFAST™ (LSI Medience Corporation).

Для оценки прогностической способности уровня всех анализируемых биомаркеров по отношению к исходу (инфекционные осложнения/отсутствие осложнений), а также для клинической оценки точности диагностических тестов, определения оптимального соотношения чувствительности и специфичности нами был выполнен ROC-анализ в программе Jamovi. На основании кривых рабочих характеристик ROC были определены предельные значения лейкоцитов, СОЭ, СРБ, ПСП и ПКТ в предоперационном периоде и спустя 48 часов после выполнения последовательного остеосинтеза.

#### Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.8.8 (разработчик - ООО "Статтех", Россия), а также пакета программ Jamovi, версия 2.6.17 с открытым кодом с использованием модулей «Разведочный», Statcat, DiagROC.

Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии. Для оценки дискриминационной способности количественных признаков при прогнозировании определенного исхода применялся метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off (диагностический порог, выше или ниже которого считается, что у пациента присутствует или отсутствует интересующее заболевание/осложнение) определялось по наивысшему значению индекса Юдена (разница между долей истинно-положительных и ложноположительных результатов). Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

#### Результаты

При анализе результатов лечения 113 включенных в данное исследование пациентов у 8 (7,07 %) в послеоперационном периоде после проведения последовательного остеосинтеза были выявлены инфекционные осложнения в виде поверхностной инфекции в зоне проведения оперативного вме-

шательства у 6 (5,31 %), и свищевой формы остеомиелита у 2 (1,76 %) пациентов, вызванного полирезистентной микрофлорой (*P. Aeruginosa*, MRSA, *K. Pneumonia*, *A. Baumannii*).

В ходе проведения статистического анализа все исследуемые лабораторные маркеры воспаления были оценены по отношению к событию (инфекционные осложнения/отсутствие осложнений) в качестве возможных прогностических факторов.

На основании проведенного статистического анализа качественно предиктивной способности исследуемых маркеров в пред-и послеоперационном периоде были получены следующие результаты (таблица 1 и 2).

Таблица 1\*

#### ROC-анализ предиктивной способности лабораторных маркеров

в предоперационном периоде по отношению к исходу

Показатель	Cut-off point	Youden's Index	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	AUC	p-value
Лейкоциты	5,73	0,229	100,0	22,9	9,0	100,0	0,599	0,364
СОЭ	5,0	0,5333	100,0	53,3	14,0	100,0	0,789	<0,01
СРБ	32,30	0,433	50,0	93,3	36,4	96,1	0,773	<0,01
ПКТ	0,0350	0,2738	75,0	52,4	10,7	96,5	0,622	0,265
ПСП	123,5	0,1107	62,5	48,6	8,5	94,4	0,465	0,747

\*Примечание: cut-off point – диагностический порог, выше или ниже которого считается, что у пациента присутствует или отсутствует интересующее заболевание/осложнение; Youden's Index – индекс Юдена; Se – диагностическая чувствительность; Sp – диагностическая специфичность; PPV (от англ. Positive predictive value/предсказательная ценность положительного результата) – вероятность того, что заболевание присутствует, когда тест положительный; NPV (от англ. Negative predictive value/предсказательная ценность отрицательного результата) – вероятность того, что заболевание отсутствует, когда тест отрицательный; AUC – площадь под ROC-кривой; p-value – взаимосвязь между развитием инфекционных осложнений и концентрацией маркеров воспаления в анализах.

Таблица 2\*

#### ROC-анализ предиктивной способности лабораторных маркеров

в послеоперационном периоде по отношению к исходу

Показатель	Cut-off point	Youden's Index	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	AUC	p-value
Лейкоциты	12,55	0,674	75,0	92,4	42,9	98,0	0,886	<0,01
СОЭ	14,5	0,6845	87,5	81,0	25,9	98,8	0,805	<0,01

## Окончание Таблицы 2

По-каза-тель	Cut-off point	Youden's Index	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	AUC	p-value
СРБ	33,2	0,686	100,0	68,6	19,5	100,0	0,911	<0,01
ПКТ	0,0350	0,3012	62,5	67,6	12,8	95,9	0,600	0,463
ПСП	161,5	0,429	100,0	42,9	11,8	100,0	0,708	0,015

\*Примечание: cut-off point – диагностический порог, выше или ниже которого считается, что у пациента присутствует или отсутствует интересующее заболевание/осложнение; Youden's Index – индекс Юдена; Se – диагностическая чувствительность; Sp – диагностическая специфичность; PPV (от англ. Positive predictive value/предсказательная ценность положительного результата) – вероятность того, что заболевание присутствует, когда тест положительный; NPV (от англ. Negative predictive value/предсказательная ценность отрицательного результата) – вероятность того, что заболевание отсутствует, когда тест отрицательный; AUC – площадь под ROC-кривой; p-value- взаимосвязь между развитием инфекционных осложнений и концентрацией маркеров воспаления в анализах.

Из таблицы 1 следует, что на основании проведенного статистического анализа при следующих значениях маркеров воспаления в предоперационном периоде: лейкоциты  $<5,7 \times 10^9 / \text{л}$ , СОЭ  $<5,0 \text{ мм}/\text{ч}$ , СРБ  $<32,30 \text{ мг}/\text{л}$ , ПКТ  $< 0,0350 \text{ нг}/\text{мл}$ , ПСП  $< 123,5 \text{ пг}/\text{мл}$ , можно судить об отсутствии значимого риска развития инфекционных осложнений и мы считали выполнение операции интрамедуллярного остеосинтеза возможным (нет противопоказаний). При этом, из всех анализируемых биомаркеров только средние показатели СРБ были выше референтных значений, что связано с характером полученной травмы, а также с наличием установленного ранее АВФ на поврежденную конечность.

В послеоперационном периоде (таблица 2) при уровне лейкоцитов  $>12,55 \times 10^9 / \text{л}$ , СОЭ  $>14,5 \text{ мм}/\text{ч}$ , СРБ  $>33,2 \text{ мг}/\text{л}$  и следующих значениях индекса Юдена: лейкоциты-0,674, СОЭ-0,6845, СРБ-0,686 была статистически значимой вероятность развития инфекционных осложнений ( $p < 0,01$ ). Наилучшим соотношением специфичность/чувствительность, что характеризуется наибольшей площадью под ROC-кривой AUC, при этом обладали такие маркеры как СРБ после операции (AUC-0,911), СОЭ после операции (AUC-0,805) и лейкоциты в послеоперационном периоде (AUC-0,886) ((при  $p < 0,01$  у всех переменных), а наименее оптимальным (наименьшая площадь под ROC-кривой) – показатели ПКТ после операции (AUC-0,708) и ПСП после операции (AUC -0,600) (при  $p=0,463$  и  $p=0,015$  соответственно).

Данные результаты показывают, что среди всех изученных лабораторных маркеров воспаления только показатели СРБ и СОЭ в предоперационном периоде и спустя 48 часов после выполнения последовательного остеосинтеза огнестрельных

переломов длинных трубчатых костей являются статистически значимыми предикторами развития инфекционных осложнений в послеоперационном периоде. Кроме того, аналогичные выводы можно сделать и для показателя количества лейкоцитов в общем анализе крови.

## Обсуждение

При интерпретации результатов ROC-анализа наиболее важным показателем, дающим объективную оценку качества прогностической способности исследуемой количественной переменной, принято считать площадь под ROC-кривой (AUC). AUC может принимать значения в интервале от 0,5 до 1. Следовательно, чем ближе величина AUC находится к 1, тем выше прогностическая способность модели [12, 13].

В ходе проведения статистического анализа предиктивной способности пресепсина в прогнозировании рисков развития инфекционных осложнений в послеоперационном периоде нами было выявлено, что данный показатель не является универсальным маркером, однако он может являться хорошим вспомогательным показателем при комплексной оценке с другими биомаркерами (рисунок 1 и 2). По нашему мнению, данные результаты могут быть объяснены тем фактом, что всем пациентам, включенными в исследование в обязательном порядке на этапах медицинской эвакуации, проводилась первичная хирургическая обработка ран мягких тканей и антибиотикопрофилактика цефалоспоринами II-III поколения (цефоперазон/сульбактам, цефтриаксон, цефуроксим), что приводило к значимому снижению контаминации огнестрельных ран патогенными микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности.

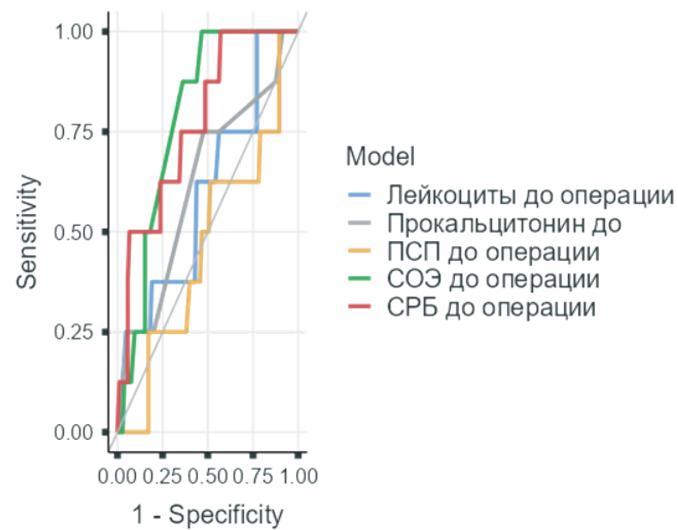
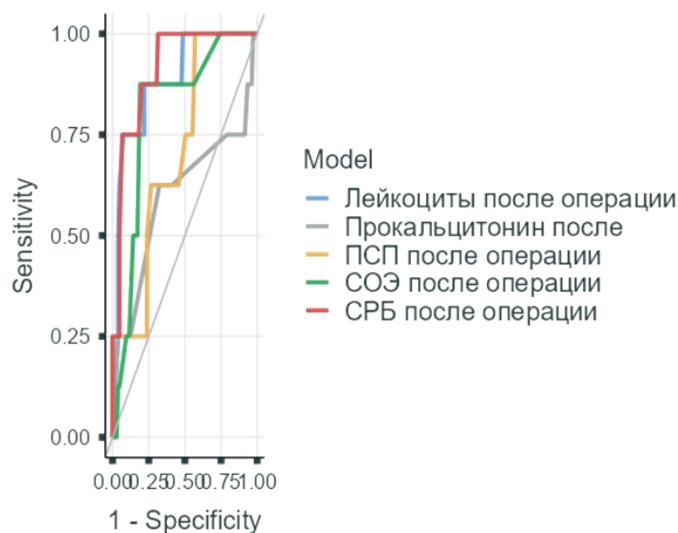


Рисунок 1. ROC-кривая, характеризующая дискриминационную способность исследуемых маркеров в предоперационном периоде при прогнозировании риска инфекционных осложнений



**Рисунок 2.** ROC-кривая, характеризующая дискриминационную способность исследуемых маркеров спустя 48 часов после проведения операции при прогнозировании риска инфекционных осложнений

Кроме того, нами установлено, что значения показателей ПКТ в до и послеоперационном периоде не являются статистически значимыми предикторами развития инфекционных осложнений при использовании методики последовательного остеосинтеза огнестрельных переломов костей конечностей. По нашему мнению, данные результаты могут быть напрямую связаны с эффективностью выполняемой на передовых этапах медицинской эвакуации хирургической обработки ран и лечебно-транспортной иммобилизации костных отломков при помощи стержневых АВФ, а также

получаемой ранеными антибиотикопрофилактикой препаратами широкого спектра действия.

Мнения различных авторов об эффективности оценки динамики развития гнойно-воспалительных осложнений на основании определения уровня пресепсина в крови являются довольно противоречивыми. Так согласно данным S. Masson et all уровень пресепсина в крови значительно снижается в случае эффективности действия получаемых пациентами антибактериальных препаратов, что позволяет в условиях реального времени оценивать эффективность проводимой антибиотикотерапии [14]. A Dimitrios Velissaris and all, рассматривая вопрос о целесообразности использования пресепсина в качестве точного прогностического маркера септических осложнений в ходе проведения систематического обзора, подчеркнули, что пресепсин не обладает явным преимуществом перед биомаркерами, обычно используемыми для оценки сепсиса, но может быть ценным при использовании в сочетании с другими общепринятыми тестами для более точного выявления пациентов с риском развития гнойно-септических осложнений [10].

Схожего мнения придерживаются и другие авторы, подчеркивая, что при использовании в качестве единственного диагностического теста пресепсин недостаточен для исключения или подтверждения инфекционных осложнений, и его диагностическую ценность следует интерпретировать только с учетом клинических данных [15].

В целях обобщения опыта и мнения различных исследователей о значимости оценки показателей упомянутых биомаркеров воспаления при диагностике и прогнозировании риска развития инфекционных осложнений нами был проведен анализ мировой литературы (таблица 3).

Таблица 3

#### Характеристика исследуемых биомаркеров воспаления с указанием их преимуществ и недостатков

Маркер	Характеристика	Преимущества	Недостатки	Ссылка
СОЭ	Неспецифический биомаркер воспаления, отражающий изменение концентрации альбуминов и глобулинов в плазме крови	СОЭ в совокупности с лейкоцитозом и изменениями в лейкоцитарной формуле является достоверным признаком наличия в организме воспалительного процесса	Не является специфическим маркером инфекции в организме и может повышаться при большом спектре состояний организма. Может оставаться повышенным на протяжении длительного времени после прекращения воздействия стрессового фактора	[16]
СРБ	Белок острой фазы, преимущественно вырабатываемый гепатоцитами, где его транскрипция индуцируется некоторыми цитокинами (ИЛ-6, ФНО- $\alpha$ , ИЛ-1 $\beta$ ) в ответ на воспаление, инфекцию и повреждение тканей	Отражает реакцию системы неспецифического иммунитета на воздействие стрессовых факторов как инфекционного, так и неинфекционного происхождения	Пик концентрации СРБ приходится на 2–3 сутки после начала воспалительной реакции, а период полувыведения составляет около 19 часов, что не позволяет использовать его для дифференциальной диагностики септических и не септических состояний	[17]

## Окончание Таблицы 3

Маркер	Характеристика	Преимущества	Недостатки	Ссылка
ПКТ	Является предшественником гормона кальцитонина и обычно вырабатывается С-клетками в щитовидной железе	Устойчивые высокие уровни или вторичное повышение являются адекватными предикторами сепсиса и полиорганной недостаточности	ПКТ быстро повышается при отсутствии инфекции в случае массовой гибели клеток, при тяжелых травмах и после хирургических вмешательств. Уровень нормализуется только спустя 3–5 дней.	[18]
ПСП	растворимый N-концевой фрагмент кластера маркерного белка дифференцировки CD14, который является растворимой формой рецептора липополисахарида, члена семейства толл-подобных рецепторов, которые распознают патоген-ассоциированные молекулярные паттерны и инициируют врожденный иммунный ответ	Является высокоспецифичным и быстрым биомаркером бактериальных и грибковых инфекций, который повышается уже через 1–2 часа после начала воспаления. Позволяет отслеживать эффективность антибактериальной терапии в реальном времени	Пресепсин является эффективным дополнительным биомаркером для диагностики сепсиса, но его недостаточно для выявления или исключения сепсиса при использовании в качестве единственного биомаркера.	[15, 18]

Тем самым, проведенный нами статистический анализ результатов исследования показал, что при прогнозировании рисков развития инфекционных осложнений в послеоперационном периоде после проведения последовательного остеосинтеза огнестрельных переломов значимыми для оценки в клинической практике лабораторными маркерами воспаления являются СРБ и СОЭ. Однако, необходимо подчеркнуть, что лабораторные методы исследования должны выступать только лишь в качестве вспомогательных методов оценки течения раневого процесса и, на текущем этапе развития биомедицинских технологий, не могут заменить ценность полноценного клинического обследования пациента.

### Выходы

При прогнозировании риска развития инфекционных осложнений при последовательном остеосинтезе огнестрельных переломов длинных трубчатых костей пресепсин и прокальцитонин не показали достоверной прогностической способности. При этом, показатели СРБ, СОЭ, а также динамические значения числа лейкоцитов в общем анализе крови в послеоперационном периоде демонстрируют высокую предиктивную способность.

### Список литературы / References:

1. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Давыдов Д.В. [и др.] Развитие концепции оказания медицинской помощи раненым с повреждениями опорно - двигательного аппарата в современных условиях. *Военно-медицинский журнал*. 2024; 345 (5): 4-11. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2024\\_345\\_5\\_4](https://doi.org/10.52424/00269050_2024_345_5_4) [Trishkin D.V., Kryukov E.V., Davyдов D.V. [et al.] Development of the concept of providing medical care to the wounded with injuries to the musculoskeletal system in modern conditions. *Military Medical Journal*. 2024; 345 (5): 4-11. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2024\\_345\\_5\\_4](https://doi.org/10.52424/00269050_2024_345_5_4)];

2. Касимов Р.Р., Просветов В.А., Самохвалов И.М. [и др.] Структура боевой хирургической травмы и особенности оказания хирургической помощи в передовых медицинских группах в активную фазу боевых действий. *Военно-медицинский журнал*. 2024; 345 (7): 4-12. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2024\\_345\\_7\\_4](https://doi.org/10.52424/00269050_2024_345_7_4) [Kasimov R.R., Prosvetov V.A., Samokhvalov I.M. [et al.] The structure of combat surgical trauma and the specifics of providing surgical care in forward medical groups during the active phase of hostilities. *Military Medical Journal*. 2024; 345 (7): 4-12. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2024\\_345\\_7\\_4](https://doi.org/10.52424/00269050_2024_345_7_4)];

3. Omid R., Stone M.A., Zalavras C.G., Marecek G.S. Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019 Apr 1; 27 (7): e301-e310. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00676>

4. Chandler H., MacLeod K., Penn-Barwell J.G. Severe Lower Extremity Combat Trauma (SeLECT) Study Group. Extremity injuries sustained by the UK military in the Iraq and Afghanistan conflicts: 2003-2014. *Injury*. 2017 Jul; 48 (7): 1439-1443. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.05.022>.

5. Хоминец В.В., Щукин А.В., Михайлов С.В. и др. Особенности лечения раненых с огнестрельными переломами длинных костей конечностей методом последовательного внутреннего остеосинтеза. *Политравма*. 2017; 3: 12-22. [Khominet V.V., Shchukin A.V., Mikhailov S.V., et al. [V.V. Khominet, A.V. Shchukin, S.V. Mikhailov, I.V. Foos. Features of the treatment of wounded patients with gunshot fractures of long bones of the extremities using the method of sequential internal osteosynthesis. *Politravma*. 2017; 3: 12-22.];

6. Хоминец В.В., Шаповалов В.М., Михайлов С.В., Брижань Л.К. Лечение раненых в конечности в войнах и вооруженных конфликтах. Монография Санкт-Петербург: Историческая иллюстрация, 2021 г. Твердый переплет, 304 стр [Khominet VV, Shapovalov VM, Mikhailov SV, Brizhan LK Treatment of patients wounded in the limbs in wars and armed conflicts. Monograph St. Petersburg: Historical Illustration, 2021. Hardcover, 304 pp.];

7. Керимов А.А., Хоминец И.В., Переходов С.Н. и др. Последовательный остеосинтез в условиях современных вооруженных конфликтов. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2025; 32 (2): 325-335. <https://doi.org/10.17816/vto643121> [Kerimov

A.A., Khominets I.V., Perekhodov S.N., et al. Sequential osteosynthesis in modern armed conflicts. *N.N. Priorov Bulletin of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 32 (2): 325–335. <https://doi.org/10.17816/vto643121>];

8. Stubljar D., Skvarc M. Effective Strategies for Diagnosis of Systemic Inflammatory Response Syndrome (SIRS) Due to Bacterial Infection in Surgical Patients. *Infect Disord Drug Targets*. 2015; 15 (1): 53–6. <https://doi.org/10.2174/1871526515666150320161804>

9. Матвеева Е.Л., Гасанова А.Г., Спиркина Е.С. [и др.]. Тематологические маркеры перипротезной инфекции при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава // Гений ортопедии. 2023; 29 (5): 512-517. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-512-517> [Matveeva E.L., Gasanova A.G., Spirkina E.S. [et al.]. Hematological markers of periprosthetic infection in revision hip arthroplasty. *Genius of Orthopedics*. 2023; 29 (5): 512-517. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-512-517>];

10. Velissaris D., Zareifopoulos N., Karamouzos V. et all. Presepsin as a Diagnostic and Prognostic Biomarker in Sepsis. *Cureus*. 2021 May 13; 13 (5): e15019. <https://doi.org/10.7759/cureus.15019>

11. Shozushima T., Takahashi G., Matsumoto N. et all. Usefulness of presepsin (sCD14-ST) measurements as a marker for the diagnosis and severity of sepsis that satisfied diagnostic criteria of systemic inflammatory response syndrome. *J Infect Chemother*. 2011 Dec; 17 (6): 764-9. <https://doi.org/10.1007/s10156-011-0254-x>

12. Kovalev A.A., Kuznetsov B.K., Yadchenko A.A., Ignatenko V.A. Оценка качества бинарного классификатора в научных исследованиях. *Проблемы Здоровья и Экологии*. 2020; 4: 105–113 [Kovalev A.A., Kuznetsov B.K., Yadchenko A.A., Ignatenko V.A. Assessment of the quality of a binary classifier in research. *Health and ecology Issues*. 2020; 4: 105–113];

13. Корнеенков А.А., Рязанцев С.В., Вяземская Е.Э. Вычисление и интерпретация показателей информативности диагностических медицинских технологий. *Медицинский совет*. 2019; (20): 45-51. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-20-45-51> [Korneenkov A.A., Ryazantsev S.V., Vyazemskaya E.E. Calculation and interpretation of indicators of informativeness of diagnostic medical technologies. *Meditinskij sovet = Medical Council*. 2019; (20): 45-51. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-20-45-51>];

14. Masson S., Caironi P., Spanuth E. et all / ALBIOS Study Investigators. Presepsin (soluble CD14 subtype) and procalcitonin levels mortality prediction in sepsis: data from the Albumin Italian Outcome Sepsis trial. *Crit Care*. 2014 Jan 7; 18 (1): R6. <https://doi.org/10.1186/cc13183>

15. Zhang J., Hu Z.D., Song J., Shao J. Diagnostic Value of Presepsin for Sepsis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2015 Nov; 94 (47): e2158. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000002158>

16. Incesoy A., Demirkiran C.B., Kaya H.B. et all. Natural course of postoperative C-reactive protein and erythrocyte sedimentation rate in unilateral and simultaneous bilateral total knee arthroplasty. *BMC Musculoskeletal Disorders* 26, 260 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08523-0>

17. Ciriello V., Gudipati S., Stavrou P.Z. et all. Biomarkers predicting sepsis in polytrauma patients: Current evidence. *Injury*. 2013 Dec; 44 (12): 1680-92. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.09.024>

18. Hoshino K., Irie Y., Mizunuma M. et all. Incidence of elevated procalcitonin and presepsin levels after severe trauma: a pilot cohort study. *Anaesth Intensive Care*. 2017 Sep; 45 (5): 600-604. <https://doi.org/10.1177/0310057X1704500510>

19. Koch C., Ruhrmann S., Pöhlmann M. et all. Longitudinal Evaluation of Plasma Concentrations of Presepsin in Patients after Severe Trauma: A Prospective Observational Study. *Surg Infect (Larchmt)*. 2018 Jul; 19 (5): 480-487. <https://doi.org/10.1089/sur.2017.266>

## Авторы

**Керимов Артур Асланович** – кандидат медицинских наук, начальник Центра травматологии и ортопедии, главный травматолог ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-5783-6958. SPIN: 3131-1308. E-mail: kerartur@yandex.ru.

**Хоминец Игорь Владимирович** – кандидат медицинских наук, начальник операционного отделения Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-0964-653X, SPIN: 5928-5370. E-mail: khominet24\_91@mail.ru.

**Бекшоков Казбек Керимович** – врач-травматолог-ортопед Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия.; ORCID: 0000-0002-2667-341X; SPIN: 8906-6553; e-mail: kazbek.bekshokov.99@mail.ru

**Максимов Андрей Андреевич** – кандидат медицинских наук, начальник реконструктивной группы Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-0891-4937, SPIN: 1378-4060, e-mail: aam.moscow.hand.72@gmail.com

**Грициук Андрей Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова, г. Москва, Россия; научный консультант ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» МО РФ; ORCID: 0000-0003-4202-4468; SPIN: 2129-7351; e-mail: drgamma@gmail.com .

**Кукушко Евгений Анатольевич** – начальник травматологического отделения (реконструктивно-восстановительное) Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. SPIN: 6736-1323. E-mail: doctrauma87@gmail.com.

**Беседин Владимир Дмитриевич** – старший ординатор операционного отделения Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. SPIN: 9908-6830. E-mail: BesedinVD@yandex.ru.

**Адам Зеудтинович Арсамаков** – кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой госпитальной хирургии ФГБОУ ВО ИнГГУ, e-mail: arsamakov-a@mail.ru

## Автор, ответственный за переписку:

**Хоминец Игорь Владимирович** – кандидат медицинских наук, начальник операционного отделения Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-0964-653X, SPIN: 5928-5370. E-mail: khominet24\_91@mail.ru.

Номер телефона: +7-911-941-60-73

## Authors

**Kerimov Artur Aslanovich**, MD, PhD, Head of the Traumatology and Orthopedics Center, Chief Traumatologist of the N.N. Burdenko

Main Military Clinical Hospital of the Russian Ministry of Defense, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-5783-6958. SPIN: 3131-1308. E-mail: kerartur@yandex.ru.

**Khominets Igor Vladimirovich**, MD, PhD, Head of the Surgical Department of the Traumatology and Orthopedics Center of the N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital of the Russian Ministry of Defense, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-0964-653X, SPIN: 5928-5370. E-mail: khominets24\_91@mail.ru.

**Bekshokov Kazbek Kerimovich**, traumatologist-orthopedist, Traumatology and Orthopedics Center, Academician N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital of the Russian Ministry of Defense, Moscow, Russia; ORCID: 0000-0002-2667-341X; SPIN: 8906-6553; e-mail: kazbek.bekshokov.99@mail.ru

**Maksimov Andrey Andreevich**, MD, PhD, Head of the Reconstructive Group, Traumatology and Orthopedics Center, Academician N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital of the Russian Ministry of Defense, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-0891-4937, SPIN: 1378-4060, e-mail: aam.moscow.hand.72@gmail.com

**Gritsyuk Andrey Anatolyevich**, MD, Professor, Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Surgery, Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia; Scientific Consultant, N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of the Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4202-4468; SPIN: 2129-7351; e-mail: drgamma@gmail.com

**Kukushko Evgeny Anatolyevich**, Head of the Traumatology Department (Reconstructive and Restorative) of the Traumatology and Orthopedics Center of the Federal State Budgetary Institution "Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia. SPIN: 6736-1323. E-mail: doctrauma87@gmail.com.

**Besedin Vladimir Dmitrievich**, Senior Resident of the Surgical Department of the Traumatology and Orthopedics Center of the Federal State Budgetary Institution "Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia. SPIN: 9908-6830. E-mail: BesedinVD@yandex.ru.

**Adam Zeudtinovich Arsomakov**, candidate of medical sciences, head of the department of hospital surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education IngSU, e-mail: arsamatkov-a@mail.ru

**Corresponding author:**

**Igor Vladimirovich Khominets**, MD, PhD, Head of the Surgical Department, Center for Traumatology and Orthopedics, N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-0964-653X, SPIN: 5928-5370. Email: khominets24\_91@mail.ru.

Phone: +7-911-941-60-73

УДК 617.584 – 617.58-77

© Ермишин В.М., Николаенко А.Н., Долгушкин Д.А., Борисов А.П., Федоров Д.Г., Карпушин С.Д., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КУЛЬТИ У ЖИВОТНЫХ ДЛЯ УСТАНОВКИ ОСТЕОИНТЕГРИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТОВ

**В.М. ЕРМИШИН, А.Н. НИКОЛАЕНКО, Д.А. ДОЛГУШКИН, А.П. БОРИСОВ\*, Д.Г. ФЕДОРОВ, С.Д. КАРПУШИН**  
ФГБУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, 443099, Самара, Россия

### Аннотация

**Обоснование.** Формирование культи с последующей имплантацией остеоинтегрируемых имплантатов является серьезной проблемой. При проведении доклинических испытаний используются различные животные модели. Мы изучили особенности моделирования культи и послеоперационное ведение на кроликах.

**Цель работы:** определить особенности моделирования культи экспериментальных животных и послеоперационное ведение для последующей установки остеоинтегрируемых имплантатов.

**Материалы и методы.** В исследование вошли 14 кроликов породы Советская шиншилла. Выполняли транстибиальную ампутацию задней конечности с формированием переднего и преобладающего по размеру заднего кожно-фасциального и мышечного лоскутов; остеотомию проводили осциллирующей пилой с охлаждением физиологическим раствором. Самонарезающую втулку устанавливали в костномозговой канал винтовыми движениями до уровня опила; рану ушивали послойно без дренирования. Нами разработана и применена индивидуальная 3D-моделированная иммобилизирующая гильза, устанавливаемая поверх асептической повязки.

**Результаты.** Разработан подробный протокол операции и этапы послеоперационного ведения животных для последующей установки остеоинтегрируемых имплантатов. Предложена новая иммобилизирующая заднюю конечность кролика гильза с использованием 3D-моделирования и аддитивных технологий. Выявлены преимущества и недостатки предложенной методики.

**Заключение.** Новый подход к моделированию кожно-мышечных лоскутов позволяет минимизировать в послеоперационном периоде травматизацию тканей и снизить частоту некрозов. Изготовление иммобилизирующей гильзы защищает культу от механических повреждений. Накопленный нами опыт формирования культуры, изготовления имплантатов и иммобилизирующих устройств, а также послеоперационного ведения может быть применен в доклинических исследованиях для тестирования новых материалов и конструкций, а также для проведения экспериментов на крупной животной модели.

**Ключевые слова:** экспериментальные животные; моделирование культуры; послеоперационное введение; иммобилизирующая гильза.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Ермишин В.М., Николаенко А.Н., Долгушкин Д.А., Борисов А.П., Федоров Д.Г., Карпушин С.Д. Особенности моделирования культуры у животных для установки остеоинтегрируемых имплантатов. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 16–25.

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено этическим комитетом (комитет по биоэтике при СамГМУ № 297 от 20.11.2024 г.).

## TITLE FEATURES OF THE MODELING OF THE STUMP IN ANIMALS FOR THE INSTALLATION OF OSTEOINTEGRATED IMPLANTS

**VLADIMIR M. ERMISHIN, ANDREY N. NIKOLAENKO, DMITRY A. DOLGUSHKIN, ALEXANDER P. BORISOV\*, DMITRY G. FEDOROV, STANISLAV D. KARPUSHIN**

*Federal State Budgetary Educational Institution of the Higher Education Samara State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russia, 443099, Samara, Russia*

### Abstract

**Introduction.** The formation of a stump, followed by implantation of osteointegrated implants, is a serious problem. During preclinical tests, various animal models are used. We studied the features of the modeling of the stump and postoperative conducting on rabbits.

The aim of the study is to determine the features of modeling the stumps of experimental animals and postoperative management for the subsequent installation of osteointegrated implants.

**Materials and methods.** The study included 14 rabbits of the Soviet chinchilla breed. Transtibial amputation of the hind limb was performed with the formation of the anterior and predominant size of the posterior fasciocutaneous and muscle flaps; osteotomy was performed with an oscillating saw with saline cooling. The self-tapping sleeve was inserted into the medullary canal by screw movements to the level of the saw; the wound was closed in layers without drainage. We have developed and applied an individual 3D-modeled immobilizing sleeve mounted on top of an aseptic bandage.

**Results.** A detailed protocol of operation and the stages of postoperative conducting animals for the subsequent installation of osteointegrated implants have been developed. A new immobilizing rear limb of the sleeve rabbit using 3D modeling and additive technologies is proposed. The advantages and disadvantages of the proposed methodology were identified.

**Conclusion.** A new approach to modeling of skin-muscle flaps allows minimizing tissue injuries in the postoperative period and reducing the frequency of necrosis. The manufacture of an immobilizing sleeve protects the stump from mechanical damage. The experience of forming a stump, the manufacture of implants and immobilizing devices, as well as postoperative management, can be used in preclinical studies to test new materials and structures, as well as for experiments on a large animal model.

**Key words:** experimental animals; stump modeling; postoperative introduction; immobilizing sleeve.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Ermishin V.M., Nikolayenko A.N., Dolgushkin D.A., Borisov A.P., Fedorov D.G., Karpushin S.D. title features of the modeling of the stump in animals for the installation of osteointegrated implants. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 16–25.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.16-25

## Введение

Ампутации конечностей представляют собой актуальную, социальную проблему, приводят к серьезным физическим нарушениям, которые значительно ухудшают качество жизни большого числа людей во всем мире [1]. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, в мире насчитывается около 40 миллионов людей с ампутированными конечностями, их число растет с каждым годом [2]. Традиционные методы протезирования, несмотря на свои преимущества, имеют ряд недостатков, чаще всего это дискомфорт, быстрая усталость после использования гильзы, а также язвы и контактный дерматит [3], что негативно сказывается на повседневной жизни пациента.

Одним из ключевых показателей эффективности системы крепления культиприемной гильзы, является минимизация вертикального смещения (эффекта поршня) внутри гильзы, что напрямую влияет на комфорт и функциональность протеза. Недостаточная фиксация негативно влияет на кожу культи, походку и комфорт пациента [3].

Проведенные анализы эффективности протезирования и качества жизни пациентов с ампутированными конечностями демонстрирует, что значительная их часть сталкивается с осложнениями, несмотря на ежедневное использование протезов у 82 % опрошенных. Наиболее распространенными проблемами выступают: потоотделение культи (72 %), дерматологические патологии (язвы, мацерации, раздражение кожи) вследствие ношения протеза (62 %), ограничения мобильности на неровных поверхностях (61 %), затруднения при быстрой ходьбе (59 %), а также болевые синдромы различной локализации – в области ампутации (51 %), фантомные (48 %), дорсальные (47 %) и в контролateralной конечности (46 %) [4]. Именно для пациентов со сложностя-

ми при использовании протезов с культиприемной гильзой, альтернативой становятся остеоинтегративные экзопротезы.

Остеоинтеграция, как биологический процесс, была открыта в 60-х годах прошлого века шведским ученым Per-Ingvar Bränemark. Данная технология предполагает прямое соединение между костной тканью и титановым имплантатом, что обеспечивает прочную фиксацию без выраженной реакции мягких тканей [5]. Эта технология начала применяться для реабилитации людей с ампутированными конечностями в 1990-х годах и показала свою эффективность, особенно для пациентов с короткой культи или проблемами с культиприемной гильзой [6].

Однако наряду с преимуществами остеоинтегративное экзопротезирование имеет и свои недостатки, такие как различные осложнения в зоне выхода имплантата из культи из-за отсутствия мягкотканой интеграции и герметичности чрескожного интерфейса [7]. Именно поэтому ученые со всего мира всесторонне изучают процессы остеоинтеграции и послеоперационного ведения пациентов. В ходе доклинических испытаний используются различные животные модели, необходимые для оценки биоактивных принципов (на клетках, соединениях и имплантатах), которые могут действовать по нескольким механизмам, а также для прогнозирования поведения животных, которое трудно предсказать только с помощью исследований *in vitro* [8].

Перед исследователями существует проблема выбора, подходящей животной модели для подобных экспериментов. Наиболее часто используемыми моделями на животных в исследованиях остеоинтегрированных имплантатов (ОИ) являются овцы, кролики и собаки [9], реже встречаются работы, выполненные на кошках [10].

### Кролики как экспериментальная модель

Кролики широко используются в доклинических исследованиях, их популярность обусловлена широкой доступностью, низкими экономическими затратами, простотой в содержании и неагрессивным характером. Однако структура костной ткани кроликов отличается от человеческой, так как их скелет претерпевает более быстрые изменения, а скорость костного обмена выше, чем у человека [11].

На данной животной модели ампутации выполнялись на уровне голени (задняя конечность) [12, 13], на уровне бедренной кости (задняя конечность) [14], а также на уровне плеча и предплечья (передняя конечность) [15, 16], с последующей имплантацией ОИ, отличных по конструкции [12, 13, 17].

Исследования разных авторов, касающиеся особенностей моделирования культи и послеоперационного ведения кроликов, суммированы в таблице 1.

Таблица 1

#### Особенности моделирования культи и послеоперационного ведения кроликов (9 исследований)

Источник (авторы, год)	Животная модель, количество в эксперименте	Оперативное вмешательство	Техника моделирования культи	Послеоперационное ведение	Основные выводы
Fearing et al., 2025 [17]	Кролики, New Zealand White, 12 особей	Транстибиальная ампутация, с последующей имплантацией эндопротеза	Циркулярный разрез тканей, без выкраивания лоскутов	Анальгетическая терапия, частые перевязи, иммобилизация конечности в попоне	Успешное заживание, минимальные осложнения. Эксперимент удачный
Crouch et al., 2022 [13]	Кролики, New Zealand White, 6 особей	Транстибиальная ампутация, с последующей имплантацией	Продольный разрез кожи от средней трети большеберцовой кости до плюснефалангового сустава. Затем циркулярный разрез на уровне плюснефалангового сустава. Часть мягких тканей фиксировали к эндопротезу	Антибактериальная и анальгетическая терапия Под кожные инфузии с целью гидратации. Подробное описание повязок не представлено	Успешная интеграция имплантата, отмечали осложнения в ходе заживления ран, в целом эксперимент удачный
Sun et al., 2022 [12]	Кролики, New Zealand White, 10 особей	Транстибиальная ампутация, с последующей имплантацией эндопротеза	Формировали задний мягкотканый лоскут, кровеносные сосуды перевязывали, мышцы подшивали к надкостнице	Антибактериальная терапия, перевязки	Раны зажили без осложнений, эксперимент удачный
Hall et al., 2020 [18]	Кролики, New Zealand White, 6 особей	Транстибиальная ампутация, с последующей имплантацией	1 группа: циркулярный разрез, без формирования лоскутов; 2 группа: лоскут формировался линейным разрезом, с мягкотканым лоскутом ниже скакательного сустава, что позволило сохранить питающие культую сосуды. Шов дополнительно армировали синтетической нитью и тканевым kleem	Антибактериальная, анальгетическая и противовоспалительная терапия. Частые перевязки, использование подкладочного материала, для демпфирования нагрузок на культую. Местно – крем с сульфадиазином серебра	В 1 группе у всех животных отмечены отрицательные результаты и плохая заживляемость 2 группы показала лучшие результаты заживления. Эксперимент удачный
Dingle et al., 2020 [19]	Кролики, New Zealand White, 6 особей	Трансфеморальная ампутация с последующей транспозицией седалищного нерва в интрамедуллярный канал	Сформированы лоскуты в форме "рыбьего рта"	Использовались мягкие воротники, ежедневный осмотр, использование лекарственной поддержки не уточняется	Успешное заживание, минимальные осложнения. Эксперимент удачный

Окончание Таблицы 1

Источник (авторы, год)	Животная модель, количество в экспери- менте	Оперативное вме- шательство	Техника моделирования культи	Послеоперационное ведение	Основные выводы
Min et al., 2022 [14]	Кролики, неизвестной породы, 6 особей	Трансфеморальная ампутация	Методика моделирования культи не освещена, однако есть уточнение, что исследо- ватели оставили достаточное количество мягких тканей (5 см проксимальнее места ампутации), для лучшего укрытия костного опила	Антибактериальная терапия, контроль температуры и света в помещении	Успешное заживле- ние, минимальные осложнения.
Kim et al., 2010 [15]	Кролики, New Zealand White, 6 особей	Ампутация на уровне плеча	Был выполнен эллиптический разрез кожи, охватывающий подмышечную складку с внутренней стороны, мышцы были сшиты вместе, чтобы закрыть яремную ямку и оставшиеся костные выступы	Антибактериальная, анальгети- ческая и противовоспалите- льная терапия. Индивиду- альные воротники на шею	Эксперимент удачный
Горбач и др., 2017 [20]	Кролики, Советская шиншилла, 6 особей	Ампутация голени, установка имплан- тата с фиксацией АВФ	Авторы не уточняют, как именно проводили ампута- цию и формирование мягкот- каных лоскутов	Антибактериальная терапия	Успешное заживле- ние, минимальные осложнения.
Frogameni et al., 1989 [16]	Кролики, New Zealand White, 6 особей	Ампутация плеча	Авторы не уточняют, как именно проводили ампута- цию и формирование мягкот- каных лоскутов	Выделены две группы живот- ных, которым накладывали мягкую или ригидную иммо- билизацию	Эксперимент удачный

Мы изучили особенности моделирования культи у кроликов и их послеоперационное ведение.

**Цель работы:** определить особенности моделирования культи экспериментальных животных и послеоперационное ведение для последующей установки остеointегрируемых имплантатов.

#### Материалы и методы

Экспериментальная часть работы выполнена на базе НИИ БиоТех ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. Объектом исследования являлись 14 кроликов породы Советская шиншилла – половозрелые самки, вес которых в среднем составил  $5\pm0,3$  кг.

Максимальный срок наблюдения за животными в основной группе (14 особей) составил 47 суток после 1 этапа операции. Максимальный срок наблюдения за животными подготовительного этапа (5 особей) не превышал 15 суток.

Оперативные вмешательства проводили в стерильных условиях с соблюдением правил асептики и антисептики под внутримышечным наркозом смеси анестетиков «Золетил 100» (Virbac С.А., Франция) в дозировке 15 мг/кг

веса и «Рометар» (Bioveta, Чехия) в дозировке 6 мг/кг веса. Для исключения иссушения роговицы на глаза животного осуществляли нанесение капель «Левомеколь».

Выполняли транстибиальную ампутацию задней конечности с формированием переднего и преобладающего по размеру заднего кожно-фасциального и мышечного лоскутов; остеотомию проводили осциллирующей пилой с охлаждением физиологическим раствором. Самонарезающую втулку устанавливали в костномозговой канал винтовыми движениями до уровня опила; рану ушивали послойно без дренирования. Нами разработана и применена индивидуальная 3D-моделированная иммобилизирующая гильза, устанавливаемая поверх асептической повязки.

При выполнении оперативных вмешательств на животных, а также их содержании в виварии руководствовались Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123, Страсбург, 18.03.1986 г.), «Принципами надлежащей лабораторной практики» (национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ № 33044-2014 от 1.08.2015), приказом Минздрава России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной

практики», «Санитарно-эпидемиологическими требованиями к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)» (СП 2.2.1.3218-14).

## Результаты

### Подготовительный этап

Созданию протокола оперативного вмешательства предшествовал подготовительный этап – выполнение и совершенствование оперативных вмешательств у 5 кроликов, не включенных в основную группу. Этот подготовительный этап позволил определить оптимальное интраоперационное сопровождение вмешательства, использование инструментов, доступ, формирование культи и иное.

Так, первоначально доступ выполняли без четкого понимания контуров выкраиваемых кожных лоскутов, необходимых для оптимального формирования культи и уменьшения зоны давления на рану (Рис. 1 А). Нередко в проекции доступа оказывались крупные сосуды, требующие коагуляции, перевязки, что дополнительно травмировало зону вмешательства.

Рассечение мышц при доступе к большеберцовой кости выполняли круговым разрезом на одном уровне без приоритета сохранения избытка мышц задней группы (Рис. 1Б). Это не позволяло полноценно укрыть зону опила, которая оказывалась в проекции раны. Все это в последующем приводило к прободению острым краем кости раны изнутри и, соответственно, к присоединению инфекции.



А



Б

Рисунок 1. Этапы предварительных операций: А - циркулярный разрез без выкраивания лоскутов, сосуды в проекции раны; Б - круговой разрез при рассечении мышц на одном уровне

Для опила большеберцовой кости первоначально мы использовали пилу Джильи. Помимо неудобства и трудоемкости остеотомии для хирурга, мы отмечали попадание костной стружки в рану, соскальзывание пилы, неправильную форму опила, нуждающуюся в дополнительной коррекции. Края костного опила дополнительно не обрабаты-

вали, малоберцовую кость дополнительно не резецировали, что приводило в последующем к травматизации ими мягких тканей и прободению раны.

Рассверливание костномозгового канала большеберцовой кости перед установкой втулки выполняли с помощью зубоврачебного бура (Рис. 2 А), что повышало трудоемкость вмешательства, приводило к ятрогенным повреждениям стенки кости, избыточному рассверливанию канала и последующей миграции втулки (Рис. 2 Б).



А



Б

Рисунок 2. Этапы предварительных операций: А - рассверливание костномозгового канала большеберцовой кости с помощью зубоврачебного бура; Б - избыточное рассверливание канала, миграция втулки

Совершенствование конструкции втулки позволило избежать этих осложнений.

Все эти недостатки, приводящие к тяжелым осложнениям, были максимально устранены нами при создании соответствующего протокола операции.

### Протокол операции

Кролика фиксировали на операционном столе. Выполняли разрез кожи и подкожной клетчатки с выкраиванием лоскутов в нижней трети голени задней конечности (Рис. 3 А). Мягкие ткани остро разводили, рассекали и исекали мышцы передней и задней групп голени. Мышцы задней группы оставляли в избытке для последующего укрытия костного опила. Формировали передний и задний кожно-фасциальный лоскуты с преобладанием заднего по размеру.

Осциллирующей пилой выполняли остеотомию костей голени на 3 см проксимальнее мышечных лоскутов. При этом малоберцовую кость резецировали на 5 см проксимальнее большеберцовой кости. В процессе остеотомии полотно пилы охлаждали физиологическим раствором для предотвращения нагрева костной ткани. Опилы дополнительно обрабатывали рашилем, слаживая острые края (Рис. 3 Б).



А



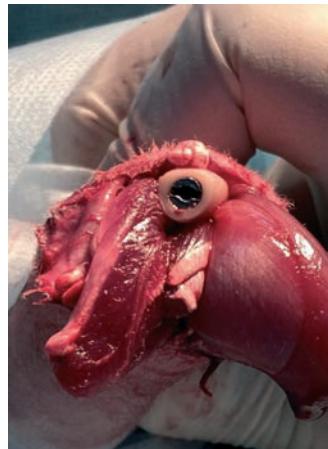
Б

**Рисунок 3.** Этап первой операции. А - доступ, формирование кожно-фасциальных лоскутов; Б - формирование опила большеберцовой кости осциллирующей пилой с ее охлаждением физиологическим раствором

Костномозговой канал большеберцовой кости промывали. Втулку устанавливали в канал винтовыми движениями за счет самонарезающей конструкции с помощью плоской отвертки (Рис. 4 А). Дистальный конец втулки устанавливали на уровне опила большеберцовой кости (Рис. 4 Б).



А



Б

**Рисунок 4.** Интраоперационный вид раны. (А) Расширенный диафизарный канал после очистки от грануляций и фрагментов цементной мантии, (Б) этап выполнения импакционной костной пластики вокруг примерочного плечевого компонента

Мышечные лоскуты укладывали над костной культей, проводили сшивание мышц-антагонистов нитью Викрил 3/0 см. Окончательно формировали культуру, послойно ушивая рану. Дренирование не проводили.

Всем животным сразу после операции выполняли рентгенограммы голени для визуализации положения имплантата.

#### Особенности послеоперационного ведения животных

Для предупреждения развития бактериальной инфекции кроликам обрабатывали швы и накладывали повязку с анти-

септическим средством «Бетадин» (позднее использовали спрей с антибиотиком широкого спектра действия «Террамицин» (Pfizer Animal Health, США).

Для восстановления объема циркулирующей крови после операции выполняли кроликам инъекцию раствора Рингер-Локка в дозировке 8мл/1000г веса подкожно в область холки.

После того, как кролик принимал естественное положение головы и тела, его переводили в индивидуальную клетку в помещение вивария. Далее проводили антбактериальную и симптоматическую терапию.

Антбактериальную терапию осуществляли внутримышечной инъекцией Цефтриаксона в дозе 0,1гр/1000 гр. в течение 12 дней после операции. Для купирования послеоперационной боли использовали раствор Кеторолак в дозе 2,5 мг/кг (0,05 мл/кг) в виде инъекций внутримышечно 1–2 раза в день.

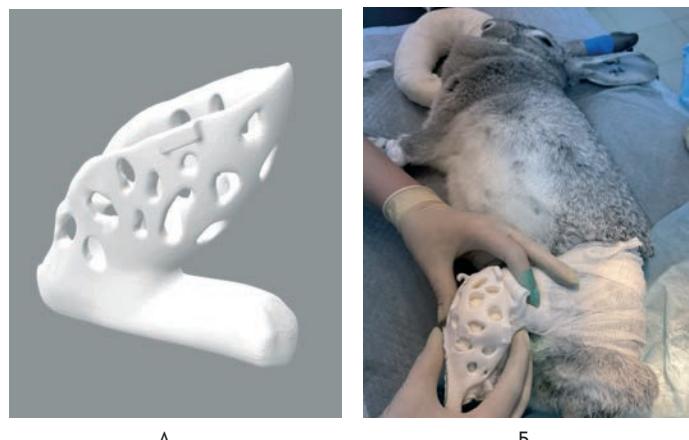
В соответствие с техническим заданием нами была предпринята попытка мягкой иммобилизации конечности кролика. Сразу после операции конечность бинтуют до основания колена в течение как минимум 2 недель, пока не заживет разрез. Затем конечность бинтуют, используя неадгезивную повязку (Telfa, Covidien) от внутреннего к внешнему слою, подкладочную прокладку, эластичный бинт, эластичную ленту (ELASTIKON, Johnson & Johnson) и бинтовую ленту для защиты места разреза. Однако подобная мягкая иммобилизация оказалась неэффективной.

В период раннего послеоперационного периода из-за болевых ощущений кролик постоянно лежал на больной конечности, тем самым обеспечивая постоянное давление раны о поверхность клетки. Позднее, когда он начинал перемещаться, культуя постоянно соприкасалась с поверхностью, что вызывало травматизацию послеоперационной раны. Поэтому нами были предприняты иные попытки иммобилизовать конечность животного. На подготовительных этапах, мы широко использовали попону и объемную ватно-марлевую повязку на культую, пытались изолировать культую с помощью импровизированной гильзы (Рис. 5).



**Рисунок 5.** Иммобилизация культуры с помощью попоны и импровизированной гильзы

Нами была разработана и предложена новая иммобилизующая заднюю конечность кролика гильза. Ее изготавливали с учетом размеров конечности конкретного животного. Гильзу моделировали по 3D-модели здоровой конечности кролика и изготавливали в Технопарке СамГМУ с применением аддитивных технологий (Рис. 6 А). Фиксатор являлся продолжением усеченной конечности и выполнял не только иммобилизирующую функцию, но и служил в качестве экзопротеза. Его устанавливали поверх асептической повязки и фиксировали при помощи послеоперационной попоны (Рис. 6 Б).



**Рисунок 6.** Иммобилизующая и опорная гильза для задней конечности кролика: А - 3 D модель; Б - фиксатор, установленный поверх асептической повязки культи

### Преимущества и недостатки разработанной методики

Основными преимуществами были следующие:

1) Оптимизация хирургического протокола.

В ходе исследования был сформирован новый подход к моделированию кожно-мышечных лоскутов, что позволило минимизировать в послеоперационном периоде травматизацию тканей и снизить частоту некрозов. Применение осциллирующей пилы с охлаждением физиологическим раствором позволило предотвратить термическое повреждение кости и повысило качество остеотомии. Разработанная самонарезающая втулка и ее стабильная фиксация в костномозговом канале уменьшили риск миграции имплантата.

2) Инновации в послеоперационном уходе.

Изготовление иммобилизующей гильзы в форме лапки животного с использованием 3D-моделирования и аддитивных технологий позволило защитить культу от механических повреждений.

3) Практическая значимость.

Накопленный нами опыт формирования культуры, изготовления имплантатов и иммобилизирующих устройств, а также послеоперационного ведения может быть применен в доклинических исследованиях для тестирования новых материалов и конструкций, а также позволит транслировать

полученный опыт для экспериментов на крупной животной модели. Выявленные в ходе исследования особенности послеоперационного поведения кроликов такие как, давление культуры на поверхность клетки, подчеркивают необходимость разработки специализированных средств иммобилизации или демпфирования.

Основные недостатки:

1) Высокий риск осложнений.

Несмотря на оптимизацию хирургического протокола и послеоперационного ведения животных, у части кроликов наблюдались различные осложнения вплоть до летального исхода, что связано непосредственно с самой животной моделью. Однако подобные результаты мы ожидали, так как согласно литературным данным после данной операции осложнения, приводящие к смерти, достигают 18 %, а хронические осложнения составляют 59 % [11]. Отмечена сложность полной герметизации стомы из-за высокой подвижности кожи и отсутствия подкожно-жировой клетчатки в области культуры.

2) Ограничения модели.

Скорость ремоделирования костной ткани у кроликов, значительно выше, чем у человека, что не всегда коррелирует с процессами остеointеграции у человека.

3) Технические сложности.

Неэффективность мягкой иммобилизации (бинтование) потребовала разработки более сложных решений, таких как 3D-гильзы. Использование пилы Джилльи и зубоврачебного бура привело к ятрогенным осложнениям, что потребовало дополнительных этапов совершенствования инструментария.

Основное осложнение, с которым мы столкнулись в ходе эксперимента, это перфорация мягких тканей культуры костным опилом с частотой 64 % в среднем на  $7.8 \pm 2.8$  сутки после операции. В 100 % случаев перфорация становилась «точкой невозврата», приводя к прогрессирующей ишемии, некрозу, раневой инфекции и, в итоге, к летальному исходу или эвтаназии. Мы считаем, что патогенетически это обусловлено: прямым механическим повреждением и хронической травматизацией краем костного опила, которое действовало как «лезвие», формируя входные ворота для инфекции и срывая репаративные процессы. Также триггером могла явиться возможная недостаточность кровоснабжения лоскута, лигирование сосудов нитью или электрокоагуляцией не дало значимых различий по исходам. Важно отметить отсутствие ответа на лечение: повторные хирургические вмешательства, такие как некрэктомия, наложение вторичных швов и медикаментозная терапия, включая антипротекторы, не оказали существенно значимых результатов и лишь кратковременно отсрочивали вывод животных из эксперимента.

Общая доля летальных исходов, а именно смерть или эвтаназия по гуманным критериям, в эксперименте составила 9 из 14 (64%).

## Обсуждение

Формирование культи с последующей ОИ является се-рьезной проблемой, поэтому важно понимать различные методы оперативных вмешательств на основных животных моделях прежде, чем начинать доклинические испытания по данной тематике.

Ярким примером служит работа Hall P.T. с соавт. [18]: при циркулярном разрезе без формирования лоскутов заживление было неудовлетворительным у всех животных, тогда как усовершенствованный доступ, сохраняющий питающие сосуды, обеспечил существенно лучшие результаты. Созвучные выводы представлены у Sun Y. с соавт. [12], где задний мягкотканый лоскут и подшивание мышц к надкостнице привели к заживлению. Успешность альтернативных вариантов лоскутов, включая «рыбий рот» на уровне бедра [19] и эллиптический разрез на плече [15]) при условии адекватного кровоснабжения и объемного укрытия костного опила также имеют решающее значение имеет не столько форма разреза, сколько сохранение перфорантной васкуляризации и достаточная толщина мягких тканей над опилом. На этом фоне наш акцент на преобладающем по размеру заднем кожно-мышечном лоскуте и сознательном «избытке» мышц задней группы для укрытия опила концептуально соответствует наиболее успешным стратегиям из литературы [12, 18, 19].

Нами предложен новый подход к моделированию кожно-мышечных лоскутов, изготовлению имплантатов и иммобилизирующих устройств, что позволяет минимизировать травматизацию тканей в послеоперационном периоде и ускорить реабилитационный этап.

Отдельного внимания заслуживает послеоперационный период. Практически во всех работах применялись антибактериальная терапия и анальгезия, нередко дополняемые местными средствами и частыми перевязками [12,13,15,18]. Использование демпфирующих прокладок и крема с сульфадиазином серебра в работе Hall P.T. с соавт. [18] иллюстрирует важность активной локальной защиты зоны раны. В исследовании Crouch D.L. и соавт. [13] акцент сделан на подкожных инфузиях и антибактериальной профилактике, при этом, несмотря на успешную интеграцию имплантата, авторы отмечали осложнения заживления, что согласуется с нашим наблюдением: даже при адекватной системной терапии механическая травматизация культи остаётся критическим триггером проблем. Примененный нами комплекс: системные антибиотики, анальгезия, инфузационная поддержка и обязательная защита зоны швов, соответствует наиболее результативным схемам из представленных исследований [12, 13, 15, 18].

Иммобилизация и защита культи являются одним из решающих факторов профилактики некрозов и инфекционных осложнений. В ряде работ использовали попоны, воротники и мягкую иммобилизацию [15,17,19], однако их

эффективность оказывалась вариабельной. Наше решение в виде индивидуальной 3D-гильзы, устанавливаемой поверх асептической повязки согласуется с работами [16, 20] и объясняет, почему одна мягкая повязка или бинтование в одиночку часто недостаточны для предотвращения контакта культи с поверхностью клетки и повторной травматизации.

Проведенное исследование демонстрирует, что кролики, несмотря на некоторые ограничения, остаются ценной моделью для доклинических исследований остеointеграции. Их преимущества – доступность, низкая стоимость и простота содержания, что делает животных оптимальным выбором для подобных исследований. Однако успех экспериментов требует тщательного планирования операций с учетом анатомических особенностей и разработки специализированных средств послеоперационной поддержки.

Таким образом, был разработан протокол операции и этапы послеоперационного ведения кроликов для последующей установки остеointегрируемых имплантатов.

Выявлены достоинства данного подхода, которые заключались в оптимизации хирургического протокола; защиты культи от механических повреждений и высокой практической значимости. Однако были и недостатки: высокий риск инфекционных осложнений; ограничения модели и технические сложности.

Данные, полученные в ходе настоящего исследования, могут служить основой для создания стандартизованных протоколов, что позволит сократить время, затрачиваемое будущими экспериментаторами на преодоление основных трудностей.

## Список литературы / References:

1. Paterno` L, Ibrahimi M., Gruppioni E., Menciassi A., Ricotti L., Sockets for Limb Prostheses: A Review of Existing Technologies and Open Challenges. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018 Sep; 65(9): 1996-2010. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2775100>
2. Marino M., Pattini Sh., Greenberg M., Miller A., Hocker E., Ritter S., Access to prosthetic devices in developing countries: Pathways and challenges, 2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), Seattle, WA, USA, 2015; 45-51. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2015.7343953>
3. Li Y., He L., Lu X., Du Q., Yu Sh., Huang X., Clinical Characteristics, Quality of Life, and Risk Factors of Amputation Stump Skin Disease and Stump Fungal Infection in Adult Amputees in Shanghai, China. *Front Microbiol.* 2022 Apr 25; 13: 868431. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.868431>
4. Hagberg K., Bränemark R., Consequences of non-vascular trans-femoral amputation: A survey of quality of life, prosthetic use and problems. *Prosthetics and orthotics international.* 2001; 25 (3): 186-194. <https://doi.org/10.1080/03093640108726601>
5. Bränemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1969; 3(2): 81-100. <https://doi.org/10.3109/02844316909036699>

6. Li Y., Bränemark R., Osseointegrated prostheses for rehabilitation following amputation: The pioneering Swedish model. *Unfallchirurg.* 2017 Apr; 120(4): 285-292. <https://doi.org/10.1007/s00113-017-0331-4>
7. Синегуб А.В., Коваленко Д.А., Чуприев В.А., Николаенко А.Н., Борисов А.П., Осложнения при использовании остеоинтегративных систем протезирования и сравнение качества жизни пациентов. *Травматология и ортопедия России.* 2025; 31(2): <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17663> [Sinegub A.V., Kovalenko D.A., Chupryev V.A., Nikolaenko A.N., Borisov A.P., Complications of Osseointegrated Prostheses and Comparison of Quality of Life in Patients with Different Prosthetic Systems: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2025; 31(2): 178-189. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17663> ]
8. Scarano A., Khater A.G.A., Gehrke S.A., Inchingolo F., Tari S.R., Animal Models for Investigating Osseointegration: An Overview of Implant Research over the Last Three Decades. *J. Funct. Biomater.* 2024 Mar 27; 15(4): 83. <https://doi.org/10.3390/jfb15040083>
9. Rivet C., Elliott J.T., Gunn J.R., Sottosanti J.S., Fearing B.V., Hsu J.R., Gitajn I.L., Rabbit model of a biofilm-contaminated, percutaneous orthopaedic endoprosthesis. *OTA Int.* 2025 Mar 7; 8 (1 Suppl): e384. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000384>
10. Mendonça A.G.C., Braga V.A.A., Fernandes T.H.T., Oliveira G.C.R., Beraldo G.S., Fixed bilateral endo-exo prostheses in feline femur - case report. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia.* 2023; 5(1): 107-112. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12661>
11. Northrup N.C., Barron G.H., Aldridge C.F., Powers L.V., Greenacre C.B., Hutcheson J.D., Morrissey J.K., Outcome for client-owned domestic rabbits undergoing limb amputation: 34 cases (2000-2009). *J Am Vet Med Assoc.* 2014 Apr 15; 244(8): 950-5. [https://doi.org/10.2460/javma.244.8.950. PMID: 24697772](https://doi.org/10.2460/javma.244.8.950)
12. Sun Y., Xu J., Lv S., Xu Z., Li L., Li Y., Li Y., Extramedullary Osseointegration-A Novel Design of Percutaneous Osseointegration Prosthesis for Amputees. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022 Feb 10; 10: 811128. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.811128>
13. Crouch D.L., Hall P.T., Stubbs C., Billings C., Pedersen A.P., Burton B., Greenacre C.B., Stephenson S.M., Anderson D.E., Feasibility of Implanting a Foot-Ankle Endoprosthesis within Skin in a Rabbit Model of Transtibial Amputation. *Bioengineering (Basel).* 2022 Jul 27; 9(8): 348. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9080348>
14. Min L., Jiang W., Li Z., Li X., Wei J., Diao J., Bai T., Yan F., Establishment of an animal model to study the effects of amputation on the cardiovascular system. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi.* 2022 Oct 25; 39(5): 991-996. Chinese. <https://doi.org/10.7507/1001-5515.202203064>
15. Kim P.S., Ko J., O'Shaughnessy K.K., Kuiken T.A., Dumanian G.A., Novel model for end-neuroma formation in the amputated rabbit forelimb. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj.* 2010 Mar 18; 5: 6 <https://doi.org/10.1186/1749-7221-5-6>
16. Frogameni A.D., Booth R., Mumaw L.A., Cummings V., Comparison of soft dressing and rigid dressing in the healing of amputated limbs of rabbits. *Am J Phys Med Rehabil.* 1989 Oct; 68(5): 234-9. <https://doi.org/10.1097/00002060-198910000-00007>
17. Fearing B.V., Romereim S.M., Danielson K., Smykowski M., Baranovich M., Serbin R., Chintalapudi N., Davis J., Appt S., Burkart H., Seymour R.B., Hsu J.R., Development of a small animal bone-anchored limb replacement model for infection interventions. *OTA Int.* 2025 Mar 7; 8 (1 Suppl): e366. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000366>
18. Hall P.T., Bratcher S.Z., Stubbs C., Rifkin R.E., Grzeskowiak R.M., Burton B.J., Greenacre C.B., Stephenson S.M., Anderson D.E., Crouch D.L., Fully Implanted Prostheses for Musculoskeletal Limb Reconstruction After Amputation: An In Vivo Feasibility Study. *Ann Biomed Eng.* 2021 Mar; 49(3): 1012-1021. <https://doi.org/10.1007/s10439-020-02645-3>
19. Dingle A.M., Ness J.P., Novello J., Millevolte A.X.T., Zeng W., Sanchez R., Nemke B., Lu Y., Suminski A.J., Markel M.D., Williams J.C., Poore S.O., Experimental Basis for Creating an Osseointegrated Neural Interface for Prosthetic Control: A Pilot Study in Rabbits. *Mil Med.* 2020 Jan 7; 185(Suppl 1): 462-469. <https://doi.org/10.1093/milmed/usz246>
20. Горбач Е.Н., Еманов А.А., Овчинников Е. Н., Кузнецов В.П., Фефелов А.С., Горгоц В.Г., Борзунов Д.Ю., Губин А.В., Остеоинтеграция инновационных кастомизированных имплантатов в трубчатой кости (экспериментальное исследование). *Современные технологии в медицине.* 2017; 9(1): 78–84. <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.1.09> [Gorbach E.N., Yemanov A.A., Ovchinnikov E., Kuznetsov V.P., Fefelov A.S., Gorgots V.G., Borzunov D.Y., Gubin A.V., Osseointegration of innovative customized implants in the tubular bone (experimental study). *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2017; 9(1): 78–84. <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.1.09> ] 9.

## А в т о р ы :

**Ермишин Владимир Михайлович**, руководитель лаборатории бионических экзопротезов верхних и нижних конечностей с нейроуправлением Центра НТИ «Бионическая инженерия в медицине», ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail ya.ermishin2014@gmail.com

**Николаенко Андрей Николаевич**, доцент, д.м.н., директор НИИ Бионики и персонифицированной медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail nikolaenko.83@inbox.ru

**Долгушкин Дмитрий Александрович**, доцент, к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail dodipesa@yandex.ru

**Борисов Александр Павлович**, доцент, к.м.н., главный специалист НИИ Бионики и персонифицированной медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail dr\_borisov71@mail.ru

**Федоров Дмитрий Геннадьевич**, инженер-технолог НИИ Бионики и персонифицированной медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail fedorovdmytry@gmail.com

**Карпушин Станислав Дмитриевич**, студент 5 курса института клинической медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail stanislavkarpushin9@gmail.com

## Автор, ответственный за переписку:

**Борисов Александр Павлович**, доцент, к.м.н., главный специалист НИИ Бионики и персонифицированной медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, e-mail dr\_borisov71@mail.ru

## Authors:

**Ermishin Vladimir M.**, Head of the laboratory of bioonic exoprostheses of the upper and lower extremities with the neuro-control of the Center "Bioonic engineering in medicine", Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia. e-mail ya.ermishin2014@gmail.com

**Nikolayenko Andrey N.**, Associate professor, Doctor of medical sciences, Director of the Research Institute of Bionika and Personified Medicine, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail nikolaenko.83@inbox.ru

**Dolgushkin Dmitry A.**, Associate professor, Candidate of medical sciences, Associate professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery named after Academician RAS A.F. Krasnov, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail dodipesa@yandex.ru

**Borisov Alexander P.**, Associate professor, Candidate of medical sciences, Chief specialist of the Research Institute of Bionika and Personified Medicine, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail dr\_borisov71@mail.ru

**Fedorov Dmitry G.**, Engineer-Technologist of the Research Institute of Bionika and Personified Medicine, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail fedorovdmtry@gmail.com

**Karpushin Stanislav D.**, 5th year student of the Institute of Clinical Medicine, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail stanislavkarpushin9@gmail.com

## Corresponding author:

**Borisov Alexander P.**, Associate professor, Candidate of medical sciences, Chief specialist of the Research Institute of Bionika and Personified Medicine, Samara State Medical University, st. Chapaevskaya, 89, Samara, 443099, Russia, e-mail dr\_borisov71@mail.ru

УДК 617.3 / 617-089

© Гайрабеков И. М.-Х., Каграманов С.В., Загородний Н.В., Горбатюк Д.С., Чрагян Г.А.,  
Эседов Г.И., Явлиева Р.Х., 2025

Оригинальная статья / Original article

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОГО И ТРАДИЦИОННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА: ПРОСПЕКТИВНОЕ РАНДОМИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**И.М.-Х. ГАЙРАБЕКОВ<sup>1</sup>, С.В. КАГРАМАНОВ<sup>1</sup>, Н.В. ЗАГОРОДНИЙ<sup>1</sup>, Д.С. ГОРБАТЮК<sup>1</sup>, Г.А. ЧРАГЯН<sup>1</sup>,  
Г.И. ЭСЕДОВ<sup>1</sup>, Р.Х. ЯВЛИЕВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, 127299, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

### Аннотация

**Обоснование.** Остеоартрит коленного сустава является одной из наиболее распространённых причин хронической боли и ограничения подвижности у пациентов среднего и пожилого возраста. Несмотря на доказанную эффективность тотального эндопротезирования, до 20 % пациентов остаются неудовлетворёнными результатами лечения вследствие ограниченной точности позиционирования компонентов и нарушения баланса мягких тканей. Применение роботизированной технологий направлено на повышение прецизионности хирургических манипуляций и воспроизводимости результатов, однако их клинические преимущества по сравнению с традиционными методами требуют дальнейшего изучения.

**Цель исследования.** Сравнить клинико-функциональные результаты и безопасность роботизированного и традиционного эндопротезирования коленного сустава в проспективном рандомизированном исследовании с двухлетним периодом наблюдения.

**Методы.** Проведено одноцентровое проспективное рандомизированное исследование с участием 100 пациентов (по 50 в основной и в группе сравнения) с гонартрозом III–IV ст. Kellgren & Lawrence. В основной группе выполнялось роботизированное эндопротезирование с использованием системы Cuvis Joint™, в контрольной — традиционное мануальное ТЭКС. Функциональные исходы оценивали по шкалам IKDC, KSS, ВАШ и Лекена до операции, далее через 2, 6, 12 и 24 месяца после операции. Для статистического анализа использовали критерий Манна-Уитни и  $\chi^2$  Пирсона, пороговый уровень значимости  $p = 0,05$ .

**Результаты.** Оценены исходы всех 100 пациентов. По шкале IKDC отмечено достоверное улучшение в основной группе на сроках 2 мес. (42 против 36;  $p < 0,001$ ), 6 мес (55 против 52;  $p = 0,001$ ) и 12 мес (68 против 65;  $p = 0,001$ ), с выравниванием показателей через 2 года ( $p = 0,141$ ). По шкале KSS преимущества роботизированной методики сохранялись на всех сроках наблюдения ( $p < 0,01$ ). Болевой синдром по ВАШ и индекс Лекена был достоверно ниже в основной группе начиная с 2 месяцев после операции ( $p < 0,01$ ). Средняя продолжительность операции составила 95 мин против 60 мин ( $p < 0,001$ ), а интраоперационная кровопотеря — 300 мл против 250 мл ( $p = 0,022$ ). Нежелательных явлений и осложнений не зарегистрировано.

**Заключение.** Роботизированное эндопротезирование коленного сустава обеспечивает улучшение функциональных показателей и снижение болевого синдрома по сравнению с традиционной техникой при сопоставимом профиле безопасности. Увеличение длительности операции и кровопотери отражает влияние кривой обучения и не уменьшает клиническую эффективность метода. Полученные данные подтверждают целесообразность внедрения роботизированных технологий в эндопротезирование крупных суставов (в частности, коленного).

**Ключевые слова:** эндопротезирование коленного сустава; роботизированная хирургия; артропластика; робот-ассистированные операции; проспективное исследование.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Гайрабеков И. М.-Х., Каграманов С.В., Загородний Н.В., Горбатюк Д.С., Чрагян Г.А., Эседов Г.И., Явлиева Р.Х. Сравнительная оценка эффективности роботизированного и традиционного эндопротезирования коленного сустава: проспективное рандомизированное исследование. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 26–38.

**Этическая экспертиза.** Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО имени Н.Н. Приорова» Минздрава России (протокол от 08.12.22 № 25–22) и зарегистрировано на ClinicalTrials.gov (ID: NCT05750784).

## COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFICACY OF ROBOTIC-ASSISTED VERSUS CONVENTIONAL TOTAL KNEE ARTHROPLASTY: A PROSPECTIVE RANDOMIZED STUDY

SERGEY V. KAGRAMANOV<sup>1</sup>, IBRAGIM M.-KH. GAIRABEKOV<sup>\*1</sup>, NIKOLAY V. ZAGORODNIY<sup>1</sup>, DMITRY S. GORBATYUK<sup>1</sup>, GAMLET A. CHRAGYAN<sup>1</sup>, GIRAMUTDIN I. ESEDOV<sup>1</sup>, ROZA KH. YAVLIEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution "N.N. Priorov National Medical Research Centre of Traumatology and Orthopedics" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 127299 Moscow, Russia

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

### Abstract

**Introduction.** Knee osteoarthritis is one of the most common causes of chronic pain and functional limitation in middle-aged and elderly individuals. Although total knee arthroplasty (TKA) is a well-established and effective procedure, up to 20 % of patients remain dissatisfied with surgical outcomes, primarily due to suboptimal component positioning and soft-tissue imbalance. Robotic-assisted systems aim to improve surgical precision and reproducibility of results; however, the clinical advantages of this approach over conventional techniques remain insufficiently substantiated.

**The purpose of the study.** To compare the clinical and functional outcomes and safety of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty in a prospective randomized trial with a 2-year follow-up.

**Materials and methods.** A single-center, prospective, randomized study was conducted involving 100 patients (50 per group) with grade III-IV knee osteoarthritis according to the Kellgren-Lawrence classification. The study group underwent robotic-assisted TKA using the Cuviv Joint™ system, whereas the control group received conventional manual TKA. Functional outcomes were assessed preoperatively and at 2, 6, 12 and 24 months postoperatively using the IKDC, KSS, VAS, and Lequesne scales. Statistical analysis included the Mann-Whitney U test for continuous variables and Pearson's  $\chi^2$  test for categorical data, with a significance threshold of  $p = 0.05$ .

**Results.** Outcomes were evaluated in all 100 participants. On the IKDC scale, the robotic group showed significantly better results at 2 months (median 42 vs 36;  $p < 0.001$ ), 6 months (55 vs 52;  $p = 0.001$ ), and 12 months (68 vs 65;  $p = 0.001$ ), with comparable results at 24 months ( $p = 0.141$ ). The KSS scores remained higher in the robotic group throughout follow-up ( $p < 0.01$ ). Pain intensity (VAS) and Lequesne index values were significantly lower in the robotic group from 2 months onward ( $p < 0.01$ ). Median operative time was 95 minutes versus 60 minutes ( $p < 0.001$ ), and intraoperative blood loss was 300 mL versus 250 mL ( $p = 0.022$ ). No adverse events or complications were observed.

**Conclusion.** Robotic-assisted total knee arthroplasty provides greater improvement in functional outcomes and pain reduction compared with conventional manual TKA, while maintaining a comparable safety profile. The observed increase in operative time and intraoperative blood loss reflects the learning curve effect and does not diminish the overall clinical efficacy of the technique. The findings support the feasibility and clinical relevance of implementing robotic technologies in arthroplasty of large joints (particularly, knee joints).

**Key words:** total knee arthroplasty; robotic surgery; arthroplasty; robotic-assisted procedures; prospective study

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Kagramanov S. V., Gairabekov I. M.-Kh., Zagorodniy N. V., Gorbatyuk D. S., Chragyan G. A., Esedov G. I., Yavlieva R. Kh. Comparative evaluation of the efficacy of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a prospective randomized study. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 26–38.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.26-38

### Введение

Дегенеративные заболевания коленного сустава, в первую очередь остеоартрит, остаются одной из ведущих причин хронической боли, ограничения подвижности и утраты трудоспособности у лиц среднего и пожилого возраста. Стремительный рост количества вмешательств тотального эндопротезирования коленного сустава (TKA – total knee arthroplasty) обусловлен демографическим старением и увеличением распространённости лишнего веса пациентов старше 50 лет. Несмотря на доказанную эффективность ТКА в направление устранения болевого синдрома и восстановления функции, до 15–20 % пациентов остаются неудовлетворённым и результатом операции, что связывают с неточной установкой компонентов,

остаточной деформацией оси нижней конечности и несбалансированностью мягко-тканых структур.

В Российской Федерации также отмечается неуклонный рост показателя заболеваемости ОА, в период 2006–2010 годов показатель первичной заболеваемости вырос с 669 317 до 745 732 случаев [4]. Согласно федеральным статистическим данным, в 2020 г. в России выполнено 49 974 операций [5] эндопротезирования коленного сустава (40,1 % от всех операций эндопротезирования суставов), что лишь немногим меньше предыдущего года (54 720 операций) по причине вводимых в 2020 г. эпидемиологических ограничений. Только у пациентов старше трудоспособного возраста в 2020 г. зарегистрировано 333 829 случаев заболевания

артрозами всех видов, что позволяет косвенно оценить долю артрозов коленного сустава приблизительно в 133 тыс. случаев (40 %) [5].

Применение роботизированной тотальной артропластики коленного сустава (R-TKA) способствует более точному выполнению резекций, обеспечивает оптимальное позиционирование имплантатов и равномерное распределение суставных зазоров, что, в свою очередь, способно уменьшить риск необходимости ревизионных вмешательств в дальнейшем [6, 7].

На этом фоне развивается направление роботизированного эндопротезирования коленного сустава (RA-TKA — robotic-assisted total knee arthroplasty), которое призвано повысить воспроизводимость вмешательства, точность установки компонентов и баланс мягких тканей. Современные роботизированные платформы (MAKO, ROSA, CORI/NAVIO, VELYS, CUVIS и др.) позволяют реализовывать методики и подходы как image-based (с предоперационным КТ-планированием), так и imageless (без подобного планирования, но с интраоперационной навигацией, обратной связью и возможностью контроля мягкотканного баланса в реальном времени) [4, 6, 8–10].

Несмотря на большое количество исследований, посвященных сравнению результатов RA-TKA и традиционных методов, опубликованные данные неоднозначны. Отдельные работы демонстрируют улучшение точности постановки компонентов, ранних функциональных показателей, а также меньшим ятrogenным повреждением мягких тканей, костных структур и снижением локальной воспалительной реакции в раннем послеоперационном периоде при использовании роботизированной технологии [7, 11–13], в то время как другие предполагают сопоставимые результаты между двумя подходами [14, 15]. Высказываются опасения, связанные с необходимостью освоения технологии, увеличением продолжительности операции и значительными затратами, сопутствующими внедрению роботизированных систем [14, 16]. Учитывая быстрое внедрение (R-TKA) в клиническую практику, существует остшая необходимость в широкой оценке ее эффективности и безопасности по сравнению с традиционными методами..

### Цель исследования

Цель исследования – сравнение клинико-функциональных результатов (включая отдаленные в сроки до 2 лет с момента операции) эндопротезирования коленного сустава, выполняемого роботизированным и традиционным методом.

### Методы

#### Дизайн исследования

Исследование – проспективное, контролируемое, одностороннее со стратифицированной рандомизацией (для контрольной группы), открытое (без ослепления). В исследование включены 100 пациентов (по 50 в основной

и контрольной группах) с гонартрозом III–IV ст. по Kellgren & Lawrence. Всем пациентам выполнялось хирургическое лечение в объеме первичного тотального эндопротезирования коленного сустава, в том числе: в основной группе – с использованием роботизированной методики, в контрольной – с использованием традиционной методики. Изучались как функциональные результаты вмешательств (анкетирование пациентов с регистрацией показателей шкал IKDC, KSS, шкалы Лекена, ВАШ в следующих контрольных точках: при плановой госпитализации на дооперационном этапе, длаее – 2, 6, 12, 24 мес. после операции..

В остальном протоколы до- и послеоперационного ведения пациентов были схожи.

#### Условия проведения исследования

Запланированный срок проведения исследования: с ноября 2023 по сентябрь 2025 года – проведение операций и сбор данных, с октября 2025 по ноябрь 2025 года – статистическая обработка данных и создание публикации.

#### Критерии соответствия (отбора)

- Критерии включения: возраст пациентов более 18 лет; наличие показаний к первичному одностороннему тотальному эндопротезированию коленного сустава (гонартроз III–IV ст. по Kellgren & Lawrence); Наличие письменного информированного добровольного согласия пациента на участие в исследовании.

- Критерии невключения: наличие активной инфекции в области коленного сустава или системной инфекции; тяжелые системные заболевания, такие как декомпенсированный сахарный диабет, остеопороз тяжелой степени или выраженная саркопения; нервно-мышечные нарушения, затрагивающие функцию нижних конечностей; аллергические реакции или индивидуальная непереносимость металлических компонентов имплантатов; участие в других клинических исследованиях на момент включения в данное исследование; наличие анкилоза коленного сустава при отсутствии болевого синдрома или выраженной деформации; противопоказания к хирургическому вмешательству, выявленные в ходе предоперационного обследования; беременность, период лактации или планирование беременности в течение периода наблюдения; Другие факторы, которые могли бы повлиять на достоверность результатов исследования или возможность проведения полноценного наблюдения.

- Критерии исключения: отказ пациента от участия в исследовании в рамках как основной, так и контрольной группы; Нарушение пациентом рекомендаций лечащего врача либо предписанного режима.

#### Подбор участников в группы

- Отбор участников проводился на основании заранее определенных критериев включения, невключения и исключения. Все пациенты проходили предварительный клинико-инструментальный отбор, включавший сбор анамнеза,

объективное обследование и оценку данных рентгенографии коленных суставов с классификацией степени артроза по **Kellgren & Lawrence**. Для обеспечения сопоставимости групп применялся метод **индивидуального подбора пар (matching)** по возрасту. Участники были распределены по возрастным интервалам (включительно): **18–30 лет, 31–40 лет, 41–50 лет, 51–60 лет, 61–70 лет, 71–80 лет**. Каждому пациенту основной группы подбирался участник контрольной группы, соответствующий по возрастному диапазону. Соотношение между основной и контрольной группами составляло **1:1 (по 50 пациентов в каждой группе)**. Выбор возрастного критерия для сопоставления обусловлен его влиянием на клинические и функциональные результаты тотального эндопротезирования коленного сустава.

Другие параметры (пол, стадия гонартроза по Kellgren-Lawrence, показания к оперативному лечению) контролировались за счёт применения единых критериев включения и исключения.

Методика формирования групп соответствует принципам описания наблюдательных исследований, изложенным в руководстве STROBE (*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*).

#### Формирование выборки

Выборка сформирована на основе перечня пациентов, ожидающих госпитализации в отделение эндопротезирования крупных суставов и впоследствии госпитализированных для проведения планового эндопротезирования коленного сустава. Пациентам на дооперационном этапе предлагался выбор метода лечения; при согласии пациента на роботизированное вмешательство он определялся как участник основной группы.

Рандомизация пациентов была стратифицирована по методу эндопротезирования. Основная группа формировалась (путем рандомизации) из числа пациентов, давших согласие на роботизированное вмешательство и которым оно было затем выполнено. Аналогично, контрольная группа формировалась путем рандомизации из числа пациентов, которым проведено эндопротезирование коленного сустава традиционным (без робот-ассистенции) способом.

Все отбираемые пациенты соответствовали критериям включения. Случаев исключения пациента из исследования впоследствии не было; на этот случай в рамках исследования предполагалась замена пациента другим, случайно выбранным из пула оперированных тем или иным изучаемым способом.

#### Характеристики выборки

В таблице 1 представлены исходные характеристики пациентов основной и контрольной групп. Группы сопоставимы по ключевым антропометрическим показателям возраста, пола, ИМТ; не сопоставимы по стороне, на которой проводилось вмешательство (левая/правая).

Таблица 1

#### Сравнение основной и контрольной групп по исходным характеристикам

Показатели	Основная группа, n = 50	Контрольная группа, n = 50	p
Возраст пациентов (лет)	68,0 (9,0)	68,0 (14,0)	0,286
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	31,2 (3,9)	32,0 (3,0)	0,244
Пол	Ж: 40 (80,0%), М: 10 (20,0%)	Ж: 39 (78,0%), М: 11 (22,0%)	0,807
Страна вмешательства (Л/П)	Л: 30 (60,0%), П: 20 (40,0%)	Л: 20 (40,0%), П: 30 (60,0%)	0,046

#### Примечание

1. Результаты для количественных данных представлены как Me (Q1-Q3).
2. Статистическое сравнение – с помощью критерия Манна-Уитни для количественных показателей,  $\chi^2$  Пирсона – для частот (пол, сторона вмешательства).
3. Сокращения: М – мужской пол; Ж – женский пол; Л – левая сторона вмешательства, П – правая сторона вмешательства.

#### Описание метода

Операция по эндопротезированию коленного сустава в основной группе выполнялась с применением автономной роботизированной системы **Cuvis Joint™**, тогда как в группе сравнения использовалась традиционная **мануальная методика** оперативного вмешательства. Всем пациентам хирургическое вмешательство выполнялось по методике механического выравнивания. Предоперационная подготовка, ведения пациента в периоперационном периоде, а также тактика по-слеоперационного наблюдения (в том числе в отдалённые сроки) были идентичными в обеих группах.

Всем пациентам выполнялся единый хирургический доступ — **медиопателлярный**. В контрольной группе операция осуществлялась с использованием стандартного и специализированного хирургического инструментария, предназначенного для ручного эндопротезирования.

В данном разделе представлено детальное описание хирургической техники, реализованной с применением автономной роботизированной системы Cuvis Joint™.

**Предоперационное планирование.** Система Cuvis Joint™ – автономная роботизированная платформа для тотального эндопротезирования коленного сустава, основанная на использовании данных КТ. После загрузки изображений в программное обеспечение J-planner™ выполняется автоматическая сегментация и 3D-реконструкция сустава (рис. 1). Хирург определяет центры вращения суставов, осевые соотношения, степень деформации, размеры имплантатов и объёмы костной резекции. На основе данных формируется отчёт о планируемом выравнивании, передаваемый на консоль робота.

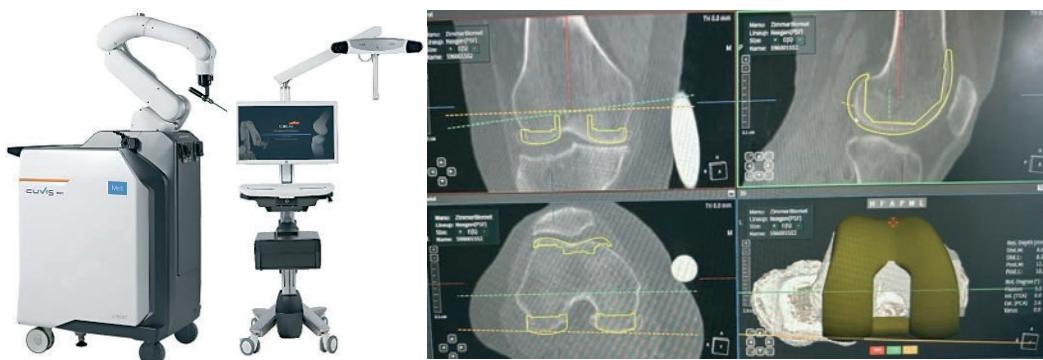


Рисунок 1. Слева - робот Cuvis Joint™; справа - ПО J-planner™

**Интраоперационный этап.** Перед вмешательством проводится калибровка робота и установка стерильного покрытия. Нижняя конечность фиксируется на позиционере De Mayo V2™ (рис. 2а). В бедренную и большеберцовую кости на 10 см от суставной линии устанавливаются бикортикаль-

ные навигационные штифты с отражающими маркерами (рис. 2b-d). Регистрация поверхностей выполняется стилусом (рис. 2e), после чего система формирует виртуальное 3D-изображение сустава, сопоставляемое с КТ-данными. Точность регистрации подтверждается RMSE < 1 мм.

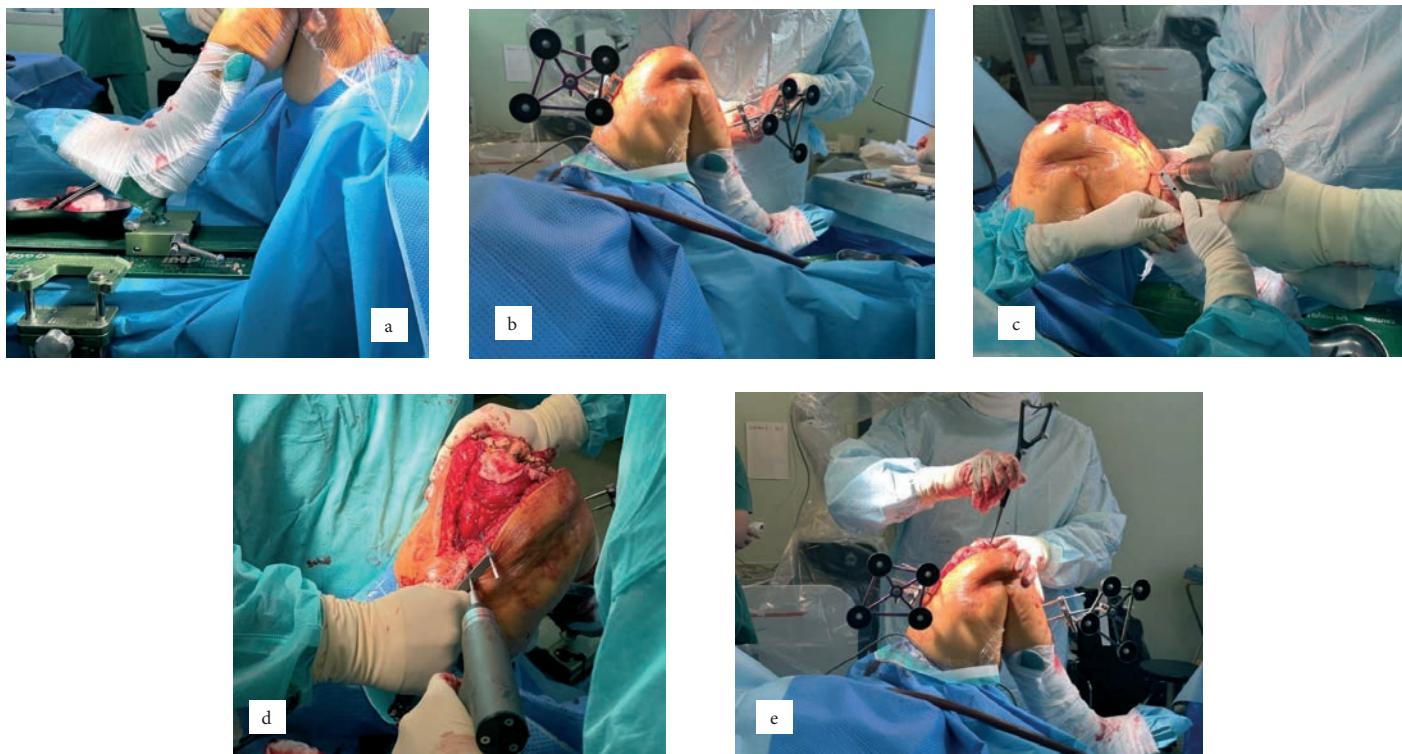


Рисунок 2. а) позиционер (De Mayo V2™, Imp incorporation, Plainville, Connecticut, USA); б) отражающие решетки, закрепленные на диафизарных кортикальных штифтах Штеймана; в) большеберцовую кость вставлены два штифта Штеймана; д) бедренную кость вставлены два штифта Штеймана; е) регистрация бедренной и большеберцовой костью стилусом

**Балансировка и контроль движений.** Система отображает суставные промежутки в реальном времени на всём диапазоне движений (рис. 3а), что обеспечивает оптимальную балансировку. Для предотвращения смещений конечность фиксируется к роботизированной руке крючкообраз-

ными зажимами (рис. 3б). При превышении допустимого смещения (> 1 мм) робот автоматически блокирует резецирующий инструмент (рис. 3с).

**Костные резекции и имплантация.** Резекция выполняется поэтапно, начиная с дистальной части бедренной

кости, при помощи фрезы 6,2 мм с непрерывным орошением физиологическим раствором. Робот следует заданной траектории, обеспечивая точность до 1 мм (рис. 3д). После завершения резекции производится имплантация компо-

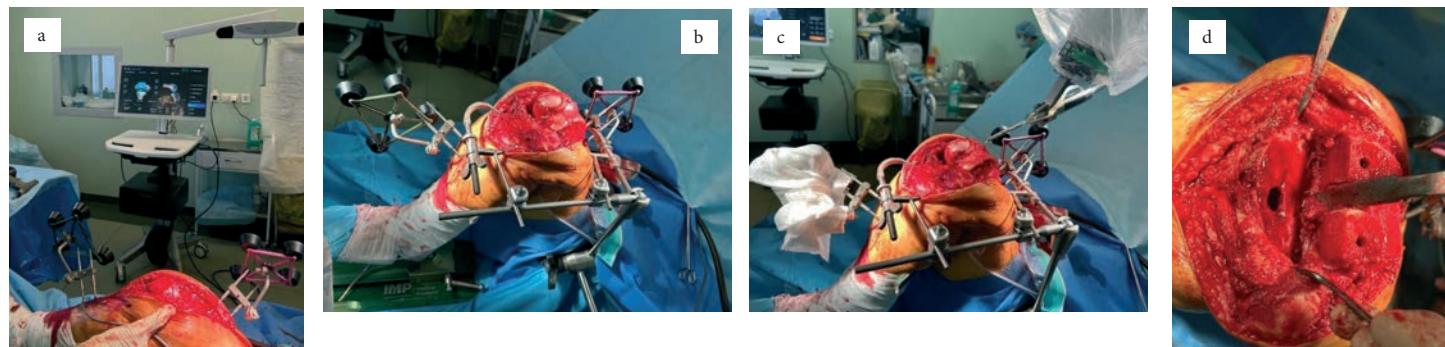


Рисунок 3. Этапы костной резекции и установки (имплантации) эндопротеза

**Послеоперационный контроль.** На следующий день выполняются рентгенограммы для оценки восстановления механической оси и точности позиционирования компонентов в фронтальной плоскости (рис. 4).



Рисунок 4. Постуральная рентгенограмма после операции

#### Дополнительные изучаемые параметры

В качестве дополнительных изучаемых параметров регистрировали время операции (в минутах) и интраоперационную потерю крови (в мл) для каждого из пациентов.

Время операции отсчитывалось с момента разреза кожи до наложения финального (завершающего) кожного шва.

Объем интраоперационной потери крови рассчитывался как сумма объемов содержимого резервуара аспирационного отсоса и объема крови, извлечённого интраоперационно путем использования стерильных марлевых салфеток.

нентов согласно навигационным данным. Использовались 2 типа эндопротеза Эндопротез NexGen (Zimmer Biomet, США) и Meril (Meril Life Sciences, Индия) цементной фиксации CR и PS.

#### Результаты исследования

В целях комплексной оценки состояния пациентов в качестве основного исхода исследования предполагалась совокупность количественных признаков – данных анкетирования пациентов по шкалам IKDS, KSS, ВАШ (визуальная аналоговая шкала боли), шкале Лекена в сроки: до операции; 2, 6, 12, 24 месяца после операции.

Истинная конечная точка исследования – завершение сбора данных для всех 100 пациентов-участников исследования.

#### Методы регистрации результатов

Регистрация исходов проводилась путем анкетирования пациентов в определенные сроки (до операции, 2, 6, 12, 24 месяца после операции) с использованием всех шкал (IKDC, KSS, ВАШ, Лекена). Порядок тестирования определялся в соответствии с наступлением сроков анкетирования.

#### Анализ в подгруппах

Анализ в подгруппах (пол, возраст) не предполагался, ограничиваясь представлением данных с помощью методов описательной статистики.

#### Статистические процедуры

##### Запланированный размер выборки

Запланированный размер выборки рассчитан с учетом уровня значимости 5%, мощности 90% и ожидаемого процента успешных исходов (удовлетворительное состояние пациента хотя бы по одной из используемых шкал). При расчете размера выборки (тип исследования – «испытание превосходства» (superiority trial) при помощи онлайн-калькулятора <https://www.sealedenvelope.com> с учетом различий в значениях ожидаемых целевых параметров (шкалы ВАШ, IKDC, KSS, Лекена) выбрано наи-

большее (из полученных) значение выборки – по 49 пациентов в каждой группе (всего 98), затем округленное до 50 (всего 100 пациентов в 2 группах).

Специфические условия остановки исследования, за исключением достижения целевого количества участвующих пациентов, не планировались.

### Статистические методы

Статистический анализ данных проведен с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26 (IBM Corp., США).

На этапе планирования статистического анализа проверена нормальность распределения количественных данных с помощью одновыборочного теста Колмогорова-Смирнова; обнаружено ненормальное распределение значений для большинства количественных переменных, по данной причине принято решение об использовании:

- Для описательной статистики количественных данных – медианы (Me) и межквартильного интервала (Q1-Q3).

- Для сравнения групп (основная и контрольная) – использование статистического критерия Манна-Уитни с пороговой значимостью  $p=0,05$ .

Описание качественных показателей (мужской/женский пол пациента, левая/правая сторона вмешательства) произведено с помощью частот, а статистическое сравнение – с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона.

### Результаты

#### Основные результаты исследования

Исход был установлен у всех (100,0 %) пациентов, вошедших в исследование.

В таблице 2 систематизированы основные (функциональные) результаты проведенных оперативных вмешательств; на рис. 5 представлены графики формата «ящики и усы», иллюстрирующие полученные результаты.

Таблица 2

#### Сравнение основной и контрольной групп по функциональным исходам оперативных вмешательств

Значение шкалы и срок	Контроль (n=50)		Основная (n=50)		Статистическая значимость (p)	Группа с лучшим показателем
	Ме	Q1-Q3	Ме	Q1-Q3		
IKDC, 0 мес.	20,0	3,0	21,0	9,0	0,413	-
IKDC, 2 мес.	36,0	6,0	42,0	4,0	<0,001	Основная
IKDC, 6 мес.	52,0	9,0	55,0	8,0	0,001	Основная
IKDC, 12 мес.	65,0	7,0	68,0	8,0	0,001	Основная
IKDC, 2 года	70,0	6,0	73,0	8,0	0,141	-
ВАШ, 0 мес.	8,0	2,0	8,0	1,0	0,416	-
ВАШ, 2 мес.	6,0	1,0	4,0	3,8	<0,001	Контрольная
ВАШ, 6 мес.	3,0	2,0	2,0	1,8	<0,001	Контрольная
ВАШ, 12 мес.	1,0	1,0	1,0	2,0	0,001	Контрольная
ВАШ, 2 года	1,0	2,0	0,0	1,0	0,011	Контрольная
KSS, 0 мес.	55,0	20,0	64,0	25,0	0,061	-
KSS, 2 мес.	115,0	6,0	120,0	17,0	0,002	Основная
KSS, 6 мес.	154,0	10,0	155,0	18,0	0,049	Основная
KSS, 12 мес.	170,0	9,0	180,0	24,0	<0,001	Основная
KSS, 2 года	180,0	9,0	190,0	28,0	0,003	Основная
Лекен, 0 мес.	14,0	5,0	14,0	3,5	0,231	-
Лекен, 2 мес.	9,0	3,0	6,0	1,5	<0,001	Контрольная
Лекен, 6 мес.	4,5	2,0	2,0	2,3	0,002	Контрольная
Лекен, 12 мес.	2,0	2,0	1,0	2,0	0,002	Контрольная
Лекен, 2 года	1,0	1,0	0,0	1,5	0,001	Контрольная

#### Примечание

1) Сравнение групп проведено с помощью критерия Манна-Уитни.

2) Текст в ячейках, где  $p<0,05$ , выделен полужирным шрифтом.

3) Прочерк в столбце «Группа с лучшим показателем» означает сопоставимость групп ( $p>0,05$ ).

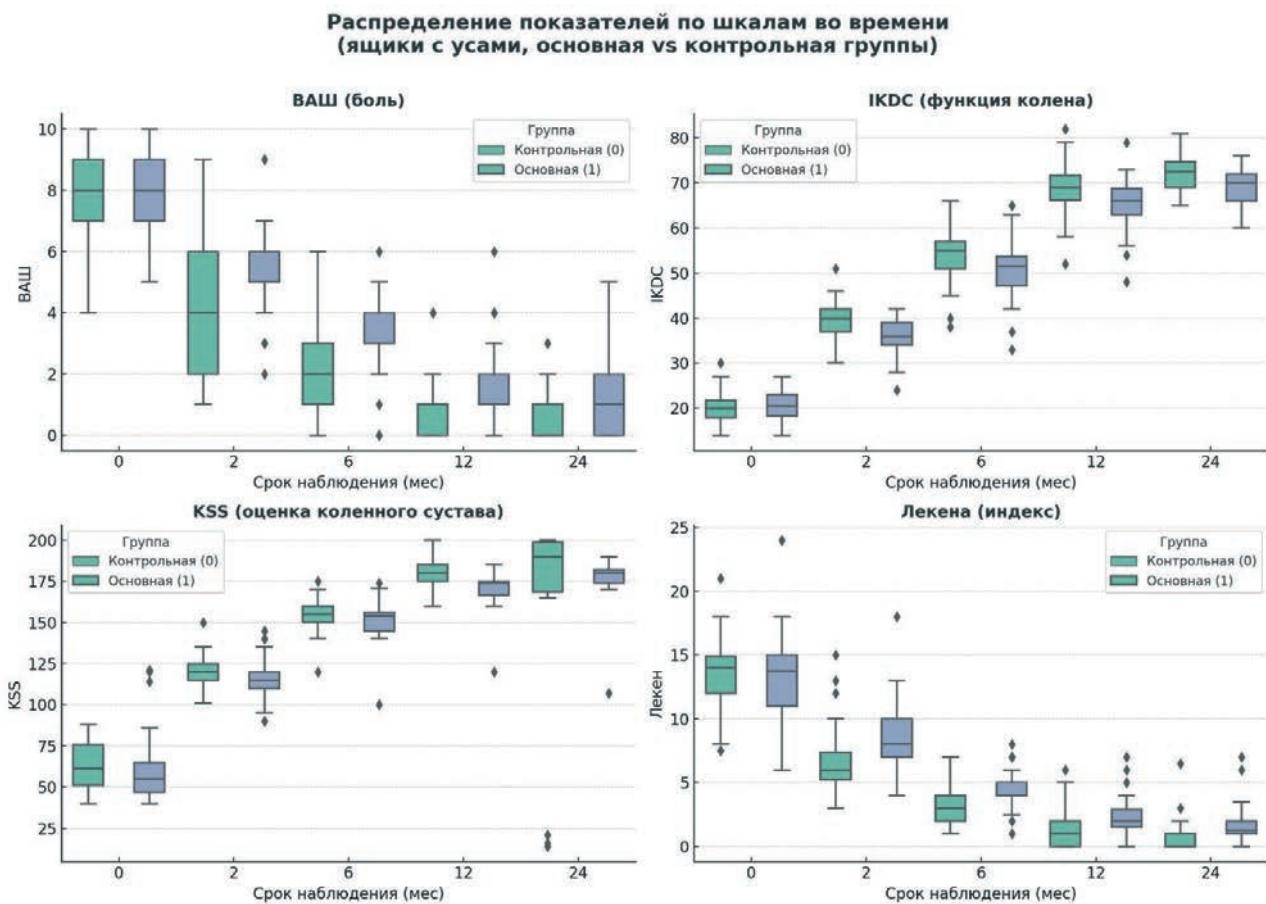


Рисунок 5. Графики формата «ящики и усы», иллюстрирующие полученные результаты

На основе полученных результатов возможно заключить следующее:

- Шкала IKDC. Анализ динамики функционального состояния по шкале IKDC показал, что до операции различия между группами отсутствовали ( $p = 0,413$ ). Уже через 2 месяца после вмешательства наблюдалось достоверное преимущество основной группы – 42 балла против 36 ( $p < 0,001$ ).

Данное преимущество сохранялось на сроках 6 мес. ( $p = 0,001$ ) и 12 мес. ( $p = 0,001$ ), что свидетельствует о более быстрой функциональной реабилитации.

К двухлетнему периоду показатели выравнивались (73 против 70,  $p = 0,141$ ), что указывает на достижение сопоставимого конечного результата при различной динамике восстановления.

- По шкале ВАШ) различий до операции не выявлено ( $p = 0,416$ ). Уже на втором месяце послеоперационного периода выраженность боли была достоверно ниже у пациентов основной группы (4,0 против 6,0,  $p < 0,001$ ).

На сроках 6 мес ( $p < 0,001$ ), 12 мес ( $p = 0,001$ ) и 24 мес ( $p = 0,011$ ) сохранялось преимущество в пользу роботизированного метода.

Полученные данные подтверждают, что точность позиционирования компонентов и меньшая травматизация мягких тканей при роботизированной установке приводят к более выраженному снижению болевого синдрома в раннем и среднем послеоперационном периодах.

- Общая функциональность (KSS-2000). Согласно шкале KSS-2000, дооперационные показатели были сопоставимы между группами ( $p = 0,061$ ).

Уже через 2 месяца медиана KSS составила 120 против 115 баллов ( $p = 0,002$ ) в пользу основной группы, а к 12 месяцам – 180 против 170 баллов ( $p < 0,001$ ).

Через 2 года разница сохранялась (190 против 180,  $p = 0,003$ ).

Более высокие значения KSS указывают на лучшее восстановление стабильности, объема движений и функции сустава, что подтверждает клиническое преимущество роботизированного эндопротезирования.

- Шкала Лекена. Анализ показателей по шкале Лекена выявил достоверно меньшую выраженность ограничений в основной группе начиная с 2 месяцев после операции (6,0 против 9,0,  $p < 0,001$ ) и на всех последующих сроках наблюдения ( $p < 0,01$ ).

Более низкие значения шкалы отражают меньшую боль, лучшую подвижность и качество жизни пациентов, оперированных с использованием роботизированной технологии.

В совокупности, различия между группами оказались статистически достоверными по большинству исследованных параметров:

- время операции и кровопотеря – выше при роботизированных вмешательствах ( $p < 0,05$ );
- значения шкал IKDC, KSS – выше при роботизированных вмешательствах ( $p < 0,01$ );
- значения шкал ВАШ, Лекена – ниже при роботизированных вмешательствах ( $p < 0,01$ ).

#### **Дополнительные результаты исследования**

Изучались и сравнивались длительность операции (в минутах) и интраоперационная потеря крови (в мл). Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

#### **Дополнительные результаты исследования**

Показатель	Контроль (Ме; Q1–Q3)	Основная (Ме; Q1–Q3)	P
Время опе- рации, мин	60,0; 5,0	95,0; 33,0	<0,001
Потеря крови, мл	250,0; 100,0	300,0; 175,0	0,022

Примечание: сравнение групп с использованием критерия Манна-Уитни. Пороговая значимость  $p=0,05$ .

#### **Нежелательные явления**

В процессе исследования нежелательных явлений не зарегистрировано.

#### **Обсуждение**

Активное роботизированное эндопротезирование обеспечивает достоверно лучшие функциональные и субъективные результаты при незначительном увеличении интраоперационных показателей, что подтверждает его клиническую эффективность.

Хотелось бы отметить, что в настоящем исследовании точность позиционирования компонентов и механического выравнивания не оценивалась, поскольку данный аспект уже убедительно продемонстрирован в ряде крупных систематических обзоров и метаанализов, неизменно показывающих снижение доли радиологических «аутлаеров» и улучшение точности установки компонентов при RA-TKA по сравнению с традиционной техникой [17–22].

В то же время большинство современных метаанализов и РКИ показывает, что улучшенная радиологическая точность не сопровождается выраженным преимуществом в коротко- и среднесрочных клинических и функциональных исходах: различия в шкалах функциональной оценки,

PROMs и частоте осложнений либо отсутствуют, либо остаются статистически незначительными, либо не достигают порога клинической значимости [1, 2, 23–25] (например, Forgotten Joint Score или улучшенные показатели функции в ранние сроки наблюдения), однако авторы подчёркивают, что долгосрочное влияние этих различий на выживаемость имплантатов и отдалённое качество жизни пациентов остаётся неясным и требует более длительного наблюдения [1, 2, 26–28]. Увеличение времени операции в данной работе обусловлено тем, что анализируемые вмешательства относятся к раннему этапу внедрения технологии, когда выраженное влияние оказывает кривая обучаемости хирурга и команды. Подобное удлинение операционного времени является ожидаемым феноменом для начальной фазы освоения роботизированной артрапластики и хорошо описано в литературе, где ранний этап сопровождается временными затратами на регистрацию, планирование и адаптацию рабочего потока. Кривая обучаемости при RA-TKA, согласно систематическим обзорам, характеризуется прогрессивным сокращением времени операции при сохранении стабильной точности навигации и безопасности. Для выхода на профессиональный уровень большинству хирургов требуется около 15–25 вмешательств (медиана 16–21), при этом в «поздней» фазе операционное время уменьшается в среднем на 14–17 минут по сравнению с начальной стадией без ухудшения точности позиционирования компонентов [29–31]. Для различных платформ число операций, необходимое для достижения плато, варьирует: MAKO — 15–25, ROSA — 20–30, NAVIO — 18–28, а некоторые исследования указывают на оптимизацию рабочего потока уже после 7–11 вмешательств [32, 33]. Наличие в команде специалиста с опытом RA-TKA дополнительно сокращает длительность кривой обучаемости и снижает вариабельность показателей без роста частоты осложнений [34–35].

Представленные данные подтверждают, что клинические результаты R-TKA в раннем послеоперационном периоде лучше в сравнении с мануальной техникой ТКА. Активная роботизированная система продемонстрировала стабильную воспроизводимость резекций и отсутствие интраоперационных повреждений мягких тканей в исследуемой когорте ( $n=50$ ), что соответствует опубликованным данным по автономной системе Cuvis Joint™, где отмечается благоприятный профиль безопасности и отсутствие осложнений, связанных с устройством [8,36]. Наличие высокоточной резекции и выравнивания, подтверждённое клиническими и *in vivo*-исследованиями, вероятно, снижает потребность в агрессивном мягкотканном релизе и уменьшает риск технических ошибок [37]. В совокупности результаты подчеркивают безопасность технологии и клиническую значимость R-TKA.

**Интерпретация дополнительных результатов исследования.** Средняя продолжительность вмешательства

статистически значимо выше в основной группе (95,0 мин против 60,0 мин;  $p<0,001$ ), что отражает начальную фазу внедрения роботизированной технологии и соответствует описанной в литературе кривой обучаемости. Согласно данным исследования стабилизация временных показателей при роботизированном ТКА достигается после 15–28 случаев [38]. Другие авторы указывают, что медиана кривой обучения для РА-ТКА составила 17 случаев (межквартильный интервал 9–27), при этом время операции на этапе освоения методики сократилось на 14,19 мин по сравнению с этапом обучения (сокращение на 17,03 мин, если учитывать только время от разреза кожи до наложения швов,  $p<0,0001$ ) [39]. Умеренное повышение кровопотери в основной группе (300,0 мл против 250,0 мл;  $p=0,022$ ) может быть связано с увеличением длительности вмешательства и дополнительными этапами регистрации/калибровки; по мере преодоления кривой обучения показатели обычно выравниваются [6, 40].

### Ограничения исследования

Исследование имеет следующие ограничения:

1) Выборка исследования (100 пациентов) невелика в сравнении с целевой популяцией (количество операций эндопротезирования коленного сустава в РФ за 2023 г. – 50 902 с тенденцией к росту в предшествующие годы), хотя велика с точки зрения накопленного хирургического опыта в сравнении с другими исследователями и организациями, на базе которых проводятся роботизированные операции эндопротезирования коленного сустава (десятка случаев и единичные случаи).

2) Формат работы отличался от «слепого исследования» в отношении изучаемого метода как для хирургов, так для пациентов (исследуемый и классический методы эндопротезирования предлагались пациентам и согласовывались с ними до хирургического лечения; оперирующими хирургам также был известен применяемый метод у каждого из пациентов, вошедших в исследование).

3) Основная и контрольная группа не сопоставимы по стороне, на которой выполнялось эндопротезирование коленного сустава (левая/правая).

### Заключение

Результаты проведённого проспективного рандомизированного исследования демонстрируют, что роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава обеспечивает статистически достоверное улучшение функциональных показателей (по шкалам IKDC и KSS) и снижение выраженности болевого синдрома (по ВАШ и шкале Лекена) по сравнению с традиционным мануальным методом. Полученные данные свидетельствуют о более быстрой функциональной реабилитации пациентов, меньшем субъективном уровне боли и лучшем восстановлении функции эндопротезированного сустава в раннем и среднем послеоперационных периодах. При этом профиль

безопасности роботизированного вмешательства сопоставим с традиционным эндопротезированием: в ходе наблюдения не зарегистрировано ни одного нежелательного явления или осложнения, связанных с применением роботизированной технологии. Увеличение продолжительности операции и умеренное повышение интраоперационной кровопотери обусловлены влиянием кривой обучения и не оказывают существенного влияния на клинический результат.

Таким образом, эндопротезирование коленного сустава с использованием роботизированной системы продемонстрировала эффективность в обеспечении баланса мягких тканей, что подтверждает её клиническую состоятельность. Полученные результаты согласуются с международными данными о преимуществах роботизированных технологий, включая повышение точности и воспроизводимости хирургических манипуляций, а также улучшение ранних функциональных результатов. В дальнейшем требуется расширение выборки, продление периода наблюдения и проведение многоцентровых исследований для более полной оценки долгосрочных результатов роботизированных вмешательств.

### Список литературы / References:

1. Alrajeb R., Zarti M., Shuaia Z., Alzobi O., Ahmed G., Elmhiregh A., Robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2024; 34(3): 1333–1343. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03798-2>.
2. Fu X., She Y., Jin G., Liu C., Liu Z., Li W., Comparison of robotic-assisted total knee arthroplasty: an updated systematic review and meta-analysis. *J Robotic Surg.* 2024; 18(1):292. <https://doi.org/10.1007/s11701-024-02045-y>
3. Алексеева Л.И., Таскина Е.А., Кашеварова Н.Г., Остеоартрит: эпидемиология, классификация, факторы риска и прогрессирования, клиника, диагностика, лечение. Современная ревматология. 2019; 13(2):9-21. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2019-2-9-21>. [Alekseeva L.I., Taskina E.A., Kashevarova N.G. Osteoarthritis: epidemiology, classification, risk factors, and progression, clinical presentation, diagnosis, and treatment. *Modern Rheumatology Journal.* 2019; 13(2):9-21. [https://doi.org/10.14412/1996-7012-2019-2-9-21.\]](https://doi.org/10.14412/1996-7012-2019-2-9-21)
4. Балабанова Р.М., Эрдес Ш.Ф., Динамика распространённости ревматических заболеваний, входящих в XIII класс МКБ-10, в популяции взрослого населения Российской Федерации за 2000–2010 гг. Научно-практическая ревматология. 2012; 52(3): 10-12. <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2012-702>. [Balabanova R.M., Erdes Sh.F., Trends in the prevalence of rheumatic diseases in ICD-10 in the adult population of the Russian Federation over 2000–2010. *Rheumatology Science and Practice.* 2012; 52(3): 10-12. [https://doi.org/10.14412/1995-4484-2012-702.\]](https://doi.org/10.14412/1995-4484-2012-702)
5. Соломянник ИА, Загородний НВ, Родионова СС, Дорохин АИ, Коньшина АВ, Горбатюк ЛС, Коршунова АН, Самарина МН, Муртазин ТМ, Писарева ОБ, Губин АВ, Рябых СО. Ежегодный статистический сборник ФГБУ «НМИЦ ТО имени

Н.Н. Приорова» Минздрава России «Травматизм, ортопедическая заболеваемость, организация травматолого-ортопедической помощи в Российской Федерации в 2020 году». [Онлайн]. URL: <https://www.cito-priorov.ru/science/ezhegodnyy-statisticheskiy-sbornik-travmaizm-ortopedicheskaya-zabolevaemost-organizatsiya-travmatol/2020/> (дата обращения: 02.12.2025 г.) [Solomyannik I.A., Zagorodny N.V., Rodionova S.S., Dorokhin A.I., Konshina A.V., Gorbatyuk D.S., Korshunova A.N., Samarina M.N., Murtazin T.M., Pisareva O.B., Gubin A.V., Ryabykh S.O. Annual statistical collection of Federal State Budgetary Institution "Priorov CITO" "Traumatic injuries, orthopedic diseases, and the organization of traumatological and orthopedic care in the Russian Federation in 2020" [online]. URL: <https://www.cito-priorov.ru/science/ezhegodnyy-statisticheskiy-sbornik-travmatizm-ortopedicheskaya-zabolevaemost-organizatsiya-travmatol/2020/> (Access date: 02.12.2025)]

6. Pipino G., Giai Via A., Ratano M., Spoliti M., Lanzetti R.M., Oliva F., Robotic Total Knee Arthroplasty: An Update. *J. Pers. Med.* 2024; 14(6): 589. <https://doi.org/10.3390/jpm14060589>.

7. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Рукин Я.А., Елизаров М.П., Грицюк А.А., Гавловский М.Я., Богатов Т.В. Клиническая эффективность и точность выравнивания механической оси при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава. Гений ортопедии. 2023;29(5):487-494. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494>. [Lychagin A.V., Gritsyuk A.A., Rukin Ya.A., Elizarov M.P., Gritsyuk A.A., Gavlovsky M.Ya., Bogatov T.V. Clinical evaluation and accuracy of mechanical axis alignment in robotic total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii.* 2023;29(5):487-494. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494>.]

8. Chandrashekhar P., Babu K.A., Nagaraja H.S., Hiral S.G., Karthikeyan S., Bajwa S., Intra-operative safety of an autonomous robotic system for total knee replacement: a review of 500 cases in India. *Indian J Orthop.* 2023; 57(11):1800-1808. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00970-y>

9. Rajashekhar K.T., Bhat A.K.K., Biradar N., Patil A.R., Mangsuli K., Patil A., Gap balancing technique with functional alignment in total knee arthroplasty using the Cuviv joint robotic system: surgical technique and functional outcome. *Cureus.* 2025; 7(2):e78914. <https://doi.org/10.7759/cureus.78914>

10. Гайрабеков И.М., Каграманов С.В., Чрагян Г.А., Загородний Н.В., Абдуллин М.Р., Эседов Г.И., Омаров Х.И., Гайрбеков Ч.Б., Эндопротезирование коленного сустава с применением роботизированной системы Cuviv при сложных комбинированных деформациях. Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2025: 24(3): 151-157. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2025.3.18> [Gairabekov I.M., Kagramanov S.V., Chragyan G.A., Zagorodny N.V., Abdullin M.R., Esedov G.I., Omarov Ch.I., Gairbekov Ch.B. Total knee arthroplasty using the CUVIS robotic system for complex combined deformities. *Bulletin of the Smolensk state medical Academy.* 2025: 24(3): 151-157. [https://doi.org/10.37903/vsgma.2025.3.18\]](https://doi.org/10.37903/vsgma.2025.3.18)

11. Geng X., Zheng Y., Li Y., Zhao M., Liu Y., Li Z., Cai H., Zhang M., Yan X., Sun Z., Lv X., Guo F., Li F., Tian H., early radiographic and clinical outcomes of robotic-arm-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a multicenter randomized controlled trial. *Orthop. Surg.* 2024; 16(11): 2732-2740. <https://doi.org/10.1111/os.14196>.

12. Kayani B., Tahmassebi J., Ayoub A., Konan S., Oussedik S., Haddad F.S. A prospective randomized controlled trial comparing

the systemic inflammatory response in conventional jig-based total knee arthroplasty versus robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2021; 103-B(1): 113-122. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B1.BJJ-2020-0602.R2>

13. Fontalis A., Kayani B., Asokan A., Haddad I.C., Tahmassebi J., Konan S., Oussedik S., Haddad F.S., Inflammatory Response in Robotic-Arm-Assisted Versus Conventional Jig-Based TKA and the Correlation with Early Functional Outcomes: Results of a Prospective Randomized Controlled Trial. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2022; 104(21): 1905-1914, <https://doi.org/10.2106/JBJS.22.00167>

14. Xu J., Li L., Fu J., Xu C., Ni M., Chai W., Hao L., Zhang G., Chen J., Early Clinical and Radiographic Outcomes of Robot-Assisted Versus Conventional Manual Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Study. *Orthop. Surg.* 2022; 14(9): 1972-1980. <https://doi.org/10.1111/os.13323>

15. Liow M.H.L., Goh G.S., Wong M.K., Chin P.L., Tay D.K., Yeo S.J. Robotic-assisted total knee arthroplasty may lead to improvement in quality-of-life measures: a 2-year follow-up of a prospective randomized trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017; 25(9): 2942-2951. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4076-3>

16. Cacciola G., Bosco F., Giustra F., Risiato S., Capella M., Bistolfi A., Massè A., Sabatini L., Learning Curve in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review of the Literature. *Applied Sciences.* 2022; 12(21):11085. <https://doi.org/10.3390/app122111085>

17. Ruangsomboon P., Ruangsomboon O., Pornrattanamanee-wong C., Narkbunnam R., Chareancholvanich K., Clinical and radiological outcomes of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop.* 2023; 94: 60-79. <https://doi.org/10.2340/17453674.2023.9411>

18. Kort N., Stirling P., Pilot P., Müller J.H., Robot-assisted knee arthroplasty improves component positioning and alignment, but results are inconclusive on whether it improves clinical scores or reduces complications and revisions: a systematic overview of meta-analyses. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022; 30(8):2639-53. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06472-4>

19. García-Sanz F., Sosa-Reina M.D., Jaén-Crespo G., González-de-la-Flor Á., Villafaña J.H., Romero-Morales C., redefining knee arthroplasty: does robotic assistance improve outcomes beyond alignment? An evidence-based umbrella review. *Journal of Clinical Medicine.* 2025; 14(8):2588. <https://doi.org/10.3390/jcm14082588>

20. Deckey D.G., Rosenow C.S., Verhey J.T., Brinkman J.C., Mayfield C.K., Clarke H.D., Bingham J.S., Robotic-assisted total knee arthroplasty improves accuracy and precision compared to conventional techniques. *Bone Joint J.* 2021; 103-B(6 Supple A):74-80. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2003.R1>

21. Horteur C., Gaulin B., Pascal P., Leroy C., Giai J., Murgier J., Barth J., Pailhé R. Computed Tomography-Based Analysis of Implant Positioning after Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial Comparing Conventional and Robotic Arm-Assisted Procedures. *J Knee Surg.* 2025. <https://doi.org/10.1055/a-2664-7551>. Epub ahead of print.

22. Bourgeault-Gagnon Y., Salmon LJ., Lyons MC. Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty Improves Accuracy and Reproducibility of the Polyethylene Insert Thickness Compared to Manual Instrumentation or Navigation: A Retrospective Cohort Study. *Arthroplast Today.* 2024; 30: 101489 <https://doi.org/10.1016/j.artd.2024.101489>

23. Agarwal N., To K., McDonnell S., Khan W., Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020; 35(11):3393-3409.e2. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.03.005>
24. Mostafa O., Malik M., Qayum K., Ishaq U., Khan A.M., Wasim A.S., Alsoud Z., Quraishi S. Robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of alignment accuracy and clinical outcomes. *Ann Med Surg (Lond).* 2025; 87(2): 867-879. <https://doi.org/10.1097/MS9.00000000000002919>
25. Lei K., Liu L., Chen X., Feng Q., Yang L., Guo L., Navigation and robotics improved alignment compared with PSI and conventional instrument, while clinical outcomes were similar in TKA: a network meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022; 30(2): 721-33. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06436-8>
26. Chávez, A. C., González Juárez, O. A., Guartizaca, C. S. G., Barreto, S. B., Pillajo, L. L. C., Calixto, R. O., & Pérez, M. C. (2025). Effectiveness and safety of robotic-assisted total knee arthroplasty versus conventional manual technique: a systematic review focusing on clinical and functional outcomes. *International Journal of Research in Orthopaedics.* <https://doi.org/10.18203/issn.2455-4510.IntJResOrthop20253739>
27. Calvo Rodríguez R., Gonzalez Duque W., Figueroa Poblete D., Isla Villanueva J., Landea Caroca D., Figueroa Berrios L. High satisfaction and functional improvement following robotic-assisted total knee arthroplasty: A Latin American cohort study. *J Exp Orthop.* 2025; 12(3): e70344. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70344>
28. Айрапетов Г.А., Яблонский П.К., Сердобинцев М.С., Дзиов З.В., Наумов Д.Г. Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава. Первый опыт (проспективное рандомизированное исследование). Гений ортопедии. 2023;29(5):475-480. [\[Airapetov G.A., Yablonskiy P.K., Serdobintsev M.S., Dziov Z.V., Naumov D.G. Robot-assisted knee arthroplasty: first experience \(a prospective randomized study\). Genij Ortopedii. 2023;29\(5\):475-480. https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-475-480.\]](https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-475-480)
29. Di Gialleonardo E., Bocchino G., Capece G., Salvini M., Barbaliscia M., Malerba G., Ezzo O.E., Maccauro G., Vitiello R. Evaluation of the learning curve in robot-assisted knee arthroplasty: A Systematic review. *J Exp Orthop.* 2025;12(3): e70292. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70292>
30. Abdel Khalik H., Abesteh J., Aldawodi M., Khanna V., Adili A. The learning curve of robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Robotic Surg.* 2025; 19(1): 456. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02576-y>
31. Pujol O., Mingue J., Pijoan J., Aguilar M., Reverté M., Plomer M., García-Albó E., Joshi N. Learning curve of robotic-assisted total knee arthroplasty: a literature review. *J Robot Surg.* 2025;19(1):411. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02597-7>
32. Druel J., Claudel S., Fabre-Aubrespy M., Ollivier M., Parratte S., Jacquet C., Argenson J.N. Learning curve of robotic assisted total knee arthroplasty within a surgical team: A prospective study of 115 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2025; 111(5):104325. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2025.104325>
33. Le Guen A., Mouton A., Auberger G., Le Strat V., Marmor S., Aubert T. Short learning curve associated with robotic total knee arthroplasty: A retrospective study. *J Exp Orthop.* 2025; 12(3): e70401. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70401>
34. Schopper C., Proier P., Luger M., Gotterbarm T., Klasan A., The learning curve in robotic assisted knee arthroplasty is flattened by the presence of a surgeon experienced with robotic assisted surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023; 31(3): 760-7. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07048-6>
35. Gordon M., Rivkin G., Greenberg A., Kandel L., Liebergall M., Perets I. Robotic Guided Knee Arthroplasty - Group Learning Curve and Early Outcomes. *Arthroplast Today.* 2025; 34: 101746. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2025.101746>
36. Londhe S.B., Shetty S., Shetty V., Desouza C., Banka P., Antao N., Comparison of Time Taken in Conventional versus Active Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty. *Clin. Orthop. Surg.* 2024; 16(2): 259–264. <https://doi.org/10.4055/cios23062>
37. Lee H.J., Park K.K., Park Y.B., Choi S.W., Kim B.O., Kim S.H. Accuracy of Advanced Active Robot for Total Knee Arthroplasty: A Cadaveric Study. *J Knee Surg.* 2024; 37(2): 135-141. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1760391>
38. Di Gialleonardo E., Bocchino G., Capece G., Salvini M., Barbaliscia M., Malerba G., Ezzo O.E., Maccauro G., Vitiello R. Evaluation of the learning curve in robot-assisted knee arthroplasty: A Systematic review. *J Exp Orthop.* 2025; 12(3): e70292. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70292>
39. Dong Y., Zhang H., Comment on: "The learning curve of robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis", *J. Robot. Surg.*, 2025; 19(1): 499. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02683-w>.
40. Dragosloveanu S., Petre M.-A., Capitanu B.S., Dragosloveanu C.D.M., Cergan R., Scheau C., Initial Learning Curve for Robot-Assisted Total Knee Arthroplasty in a Dedicated Orthopedics Center. *J. Clin. Med.* 2023; 12(21): 6950. <https://doi.org/10.3390/jcm12216950>

**Авторы:**

**Каграманов Сергей Владимирович**, д.м.н.; e-mail: kagramanov2001@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8434-1915>; eLibrary SPIN: 4670-7747.

**Загородний Николай Васильевич**, д.м.н., профессор, академик РАН; e-mail: zagorodniy51@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>; eLibrary SPIN: 6889-8166.

**Горбатюк Дмитрий Сергеевич**, к.м.н.; e-mail: gorbatukds@cito-priorov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8938-2321>; eLibrary SPIN: 7686-2123.

**Чрагян Гамлет Ашотович**, к.м.н.; e-mail: chragyan@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6457-3156>; eLibrary SPIN: 5580-8152.

**Эседов Гирамутдин Имамутдинович**; e-mail: giram1996@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0569-6806>; eLibrary SPIN: XXXX-XXXX.

**Ялиева Роза Хазбулатовна**; к.м.н.; e-mail: hazbulatovna@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8517-7216; eLibrary SPIN: 1338-5679.

**Автор, ответственный за переписку:**

**Гайрабеков Исаил Магомед-Хаджиевич**, врач-травматолог-ортопед. 127299, г. Москва, ул. Приорова, д. 10, телефон: +7 495 744-40-10.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6298-7084>; eLibrary SPIN: XXXX-XXXX; e-mail: dr.gairabekov@mail.ru.

A u t h o r s :

**Kagramanov Sergey Vladimirovich**, Doctor of Medical Sciences; e-mail: kagramanov2001@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8434-1915>; eLibrary SPIN: 4670-7747.

**Zagorodniy Nikolay Vasilyevich**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; e-mail: zagorodniy51@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>; eLibrary SPIN: 6889-8166.

**Gorbatyuk Dmitry Sergeevich**, M.D.; e-mail: gorbatyukds@cito-priorov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8938-2321>; eLibrary SPIN: 7686-2123.

**Chragyan Hamlet Ashotovich**, M.D.; e-mail: chragyan@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6457-3156>; eLibrary SPIN: 5580-8152.

**Esedov Giramutdin Imamatdinovich**; e-mail: giram1996@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0569-6806>; eLibrary SPIN: XXXX-XXXX.

**Yavlieva Roza Khasbulatovna**, M.D.; e-mail: hazbulatovna@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8517-7216; eLibrary SPIN: 1338-5679.

**Corresponding author:**

**Gairabekov Israil M-H**, DR., orthopedic surgeon. 127299 Priorova Str. 10, Moscow, Russia. Phone: +7 495 744-40-10.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6298-7084>; eLibrary SPIN: XXXX-XXXX; e-mail: dr.gairabekov@mail.ru.

УДК 617.3

© Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Томбоиди К.Х., Халимов М.М., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## ВЫРАВНИВАНИЕ ОСИ КОНЕЧНОСТИ ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТОТАЛЬНОЙ АРТРОПЛАСТИКЕ КОЛЕНА

**А.В. ЛЫЧАГИН, А.А. ГРИЦЮК\*, М.П. ЕЛИЗАРОВ, К.Х. ТОМБОИДИ, М.М. ХАЛИМОВ**

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России  
(Сеченовский Университет), 119991, ул. Трубецкая 8-2, Москва, Россия

### Аннотация

Традиционные методы выравнивания оси конечности: механическое и анатомическое, кинематическое и функциональное выравнивание (МВ и АВ, КВ и ФВ) – все основаны на уровне и угле резекции бедренной и большеберцовой костей и последующей балансировкой сгибательно-разгибательных и медиально-латеральных межкостных зазоров путем высвобождения (релиза) капсулы и связок коленного сустава, что исправляет фиксированные деформации и приводит конечность в правильное положение. ФВ достигает сбалансированных зазоров сгибания и разгибания и натяжения мягких тканей путем корректировки резекции кости, точной настройки положения компонентов и уменьшения высвобождения мягких тканей с помощью роботизированной системы.

**Цель этой статьи** – дать сравнительное описание техники различных методик выравнивания оси конечности при тотальном эндопротезировании коленного сустава с использованием автономной роботизированной платформы на основе анализа изображений компьютерной томографии, предоперационного индивидуального планирования и интраоперационного мягкотканного баланса.

**Материалы и методы:** В статье на собственном клиническом материале приведена пошаговая техника выполнения роботизированного тотального эндопротезирования коленного сустава по методикам механического, анатомического, кинематического и функционального выравнивания оси конечностей, описаны принципы и методика планирования, техника хирургического вмешательства.

**Результаты:** В период исследования с октября 2023 г. по ноябрь 2025 г. было проведено роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава в клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов университетской клинической больницы № 1 Сеченовского Университета 472 пациентам.

**Вывод.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава может быть безопасно выполнено любым из представленных методов выравнивания оси конечности, однако восстановить естественную анатомию пациента с помощью традиционных инструментов иногда бывает непросто, поэтому применение роботизированных технологий с возможностью интраоперационной визуализации и коррекции положения имплантатов могут быть весьма перспективны, хотя не имеют на сегодняшний день отдаленных преимуществ, что диктует необходимость дальнейших исследований, чтобы выявить ограничения эти методов и определить, кому из пациентов какой вид коррекции оси конечности и позиционирования имплантатов сможет принести существенную пользу.

**Ключевые слова:** механическое, кинематическое и функциональное выравнивание; балансировка зазоров; роботизированная хирургия коленного сустава; тотальное эндопротезирование коленного сустава.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Томбоиди К.Х., Халимов М.М. Выравнивание оси конечности при роботизированной тотальной артрапластике колена. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 39–52.

**Этическая экспертиза.** Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала.

## ALIGNMENT OF THE LIMB AXIS IN ROBOTIC TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

**ALEXEY V. LYCHAGIN, ANDREY A. GRITSYUK\*, MIKHAIL P. ELIZAROV, KONSTANTIN KH. TOMBOIDI, MANUCHEHR M. KHALIMOV**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 119991, st. Trubetskaya 8-2, Moscow, Russia

### Abstract

Traditional methods of limb axis alignment—mechanical and anatomical, kinematic and functional alignment (MA and AA, KA and FA) – are all based on the level and angle of femoral and tibial resection and subsequent balancing of flexion-extension and medial-lateral interosseous

gaps by releasing the knee joint capsule and ligaments, which corrects fixed deformities and brings the limb into proper alignment. FA achieves balanced flexion-extension gaps and soft tissue tension by adjusting bone resection, fine-tuning component positions, and reducing soft tissue release using a robotic system.

The purpose of this article is to provide a comparative description of various limb axis alignment techniques for total knee arthroplasty using an autonomous robotic platform based on computed tomography image analysis, preoperative individualized planning, and intraoperative soft tissue balance.

**Materials and Methods:** This article, using our own clinical data, presents a step-by-step technique for performing robotic total knee arthroplasty using mechanical, anatomical, kinematic, and functional limb axis alignment techniques. It also describes the principles and methods of planning and surgical technique.

**Results:** From October 2023 to November 2025, 472 patients underwent robotic total knee arthroplasty at the Traumatology, Orthopedics, and Joint Pathology Clinic of Sechenov University Clinical Hospital No. 1.

**Conclusion:** Total knee arthroplasty can be safely performed using any of the presented methods of limb alignment. However, restoring a patient's natural anatomy using traditional instruments can sometimes be challenging. Therefore, the use of robotic technologies with intraoperative visualization and implant positioning may be very promising, although they currently lack long-term benefits. This necessitates further research to identify the limitations of these methods and determine which patients will benefit most from which type of limb alignment and implant positioning.

**Key words:** mechanical, kinematic, and functional alignment; gap balancing; robotic knee surgery; total knee arthroplasty.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Lychagin A. V., Gritsyuk A. A., Elizarov M. P., Tomboidi K. Kh., M. M. Khalimov. Alignment of the limb axis in robotic total knee arthroplasty. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 39–52.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.39-52

## Введение

Одной из наиболее важных задач тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) является выравнивание оси конечности. Механическое выравнивание (МВ) было впервые описано в 1980-х годах как метод ТЭКС [1]. Это, а также тот факт, что примерно у 50 % населения наблюдается нейтральное механическое выравнивание [4, 5], привело к разработке более индивидуального подхода к тотальному эндопротезированию коленного сустава.

В стремлении улучшить функциональность и удовлетворенность пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава были описаны принципы выравнивания, позволяющие адаптировать положение имплантата к анатомии пациента [6, 7, 8]. Термин «анатомическое выравнивание» (АВ) был введен в 1985 году и подразумевал восстановление угла наклона суставной щели при достижении нейтрального угла наклона оси коленного сустава [9]. Несмотря на то, что этот метод обеспечивал хорошие показатели выживаемости имплантатов, 20 % пациентов были недовольны [2, 3], а половина из них сообщали о сохраняющихся симптомах или функциональных проблемах после ТЭКС [2]. Концепции выравнивания при тотальном эндопротезировании коленного сустава развиваются.

Позднее было описано кинематическое выравнивание (КВ), направленное на восстановление естественного состояния коленного сустава до остеоартрита путем восстановления поверхности сустава и учета диапазона подвижности, обусловленного естественными различиями между отдельными пациентами [7, 10]. Затем следует ограниченное кинема-

тическое выравнивание (оКВ), целью которого является восстановление исходного выравнивания в пределах +/- 3° от нейтрального выравнивания [8].

Появление роботизированных инструментов улучшило количественную оценку и контроль целей по позиционированию и балансировке имплантатов. Некоторые роботизированные платформы предлагают 3D-планирование перед операцией с использованием изображений в поперечном сечении, которые позволяют оценить анатомию кости во всех плоскостях для улучшения позиционирования и подбора размера имплантата [11, 12], а также обеспечивают возможность точной регулировки высоты линии, ориентации и интраоперационных зазоров [13, 14]. Использование зазоров в качестве косвенного показателя баланса связок также позволяет проводить количественную и воспроизведимую интраоперационную косвенную оценку баланса мягких тканей. Достижение баланса межкостных медального и латерального зазоров (фронтальной плоскости) в пределах 2 мм друг от друга дает уменьшение болевых ощущений после тотального эндопротезирования коленного сустава [15, 16, 17, 18]. Дополнительный контроль всех этих элементов с помощью роботизированных инструментов позволил разработать новую концепцию выравнивания, получившую название «функциональное выравнивание» (ФВ) [19, 20, 21].

Компьютерная навигация, инструменты, получаемые с помощью изображений (IDI), и роботизированная асистенция, используемые для имплантации эндопротезов коленного сустава, были обозначены как «вспомогательные

инструменты для хирурга». В 2024 году количество операций с использованием традиционных инструментов сократилось до 28,3% от общего числа первичных эндопротезов коленного сустава. Динамика использования каждого вспомогательного инструмента показана на Рисунке 1.

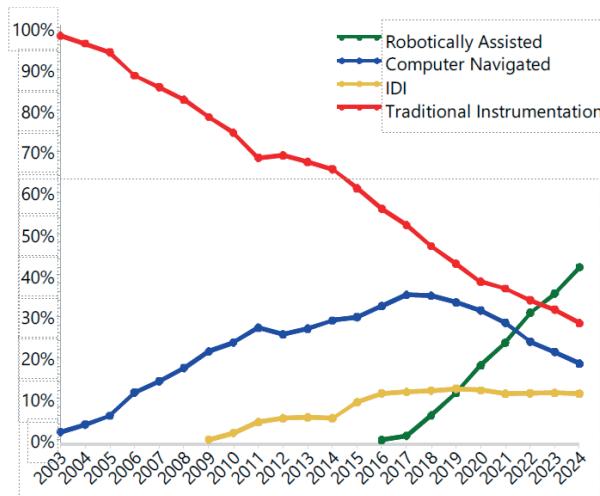


Рисунок 1. Динамика применения вспомогательных технологий при первичной ТЭКС [22]

В 2024 году компьютерная навигация использовалась в 18,5 % и IDI в 11,2 % всех первичных операций тотального эндопротезирования коленного сустава. С 2016 года роботизированная ассистенция была зарегистрирована при 100 753 операциях тотального эндопротезирования коленного сустава. В 2024 году роботизированная ассистенция использовалась в 41,9 % всех первичных операций тотального эндопротезирования коленного сустава, что привело к сокращению традиционной техники первичного эндопротезирования до 28,4 %. Существует 5 роботизированных систем, которые используются с небольшим количеством протезов, но количество роботизированных систем и соответственно различных протезов растет [22]. Однако, применение данных сложных усовершенствований хирургических инструментов и подходов практически не изменило удовлетворенность пациентов результатами ТЭКС в целом [23], что увеличило интерес к разработке метода функционального выравнивания.

Функциональное выравнивание (ФВ) направлено на восстановление трёхмерного конституционального выравнивания в заданных границах. Ключевое отличие заключается в корректировке положения имплантата с учётом мягких тканей пациента для достижения сбалансированных промежутков [24, 25], и было доказано, что оно позволяет сохранить кость и более стабильно обеспечивает баланс между большеберцовой и бедренной костями, а также сохраняет естественную борозду надколенника по сравнению с КВ [26, 27, 28].

Существует несколько роботизированных систем, которые применяются, что повышают точность резекции кости

и отлично подходят для оценки размера зазора в режиме реального времени во время операции [29–33].

Цель этой статьи — дать сравнительное описание техники различных методик выравнивания оси конечности при тотальном эндопротезировании коленного сустава с использованием автономной роботизированной платформы на основе анализа изображений компьютерной томографии, предоперационного индивидуального планирования и интраоперационного мягкотканного баланса.

### Материалы и методы

В период исследования с октября 2023 г. по ноябрь 2025 года в общей сложности 472 пациентам была проведено роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава в клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов университетской клинической больницы № 1 Сеченовского Университета. Все операции проводились одной и той же бригадой (из трех хирургов) по эндопротезированию с использованием полностью автономной роботизированной системы Cuvis, разработанной компанией Curexo Inc. (Южная Корея). Во всех случаях применялся цементный имплантат с фиксированной платформой NexGen CR или (PS)-Flex Fixed Bearing Knee (Zimmer Biomet, США). В ходе работы были апробированы все методы выравнивания оси конечностей, свой опыт и технику которых мы приводим ниже. Критерий включения пациенты с симптоматическим остеоартритом коленного сустава с умеренной (варус-вальгус, до  $\pm 15^\circ$ ) деформацией, требующей первичной тотальной арthroplastики коленного сустава.

### Предоперационное планирование

Выполнялись рентгенограммы в прямой, боковой и горизонтальных проекциях в положении стоя, а также рентгенограмма нижней конечности в положении стоя. Были рассчитаны и задокументированы НКА (ось центров головки бедренной кости, коленного и голеностопного суставов), МРТА (медиальный проксимальный большеберцовый угол), LDFA (латеральный дистальный бедренный угол) и тип СРАК. Для выполнения роботизированной операции была проведена компьютерная томография с калибровочным стержнем и 3D-реконструкцией нижней конечности. КТ сканирование было сегментировано для облегчения создания 3D-модели с помощью программного обеспечения Cuvis Joint J-Planner, а анатомические ориентиры бедренной и большеберцовой костей были зарегистрированы и визуализированы с помощью программного обеспечения. Конкретные костные ориентиры были нанесены на цифровую модель в трех плоскостях, включая центр головки бедренной кости, центр мышцелков бедренной кости, определена трансэпикондиллярная ось, центр мышцелков большеберцовой кости и центр голеностопного сустава, что применяется для точного картирования оси НКА и определения размера и положения имплантата (Рисунок 1).

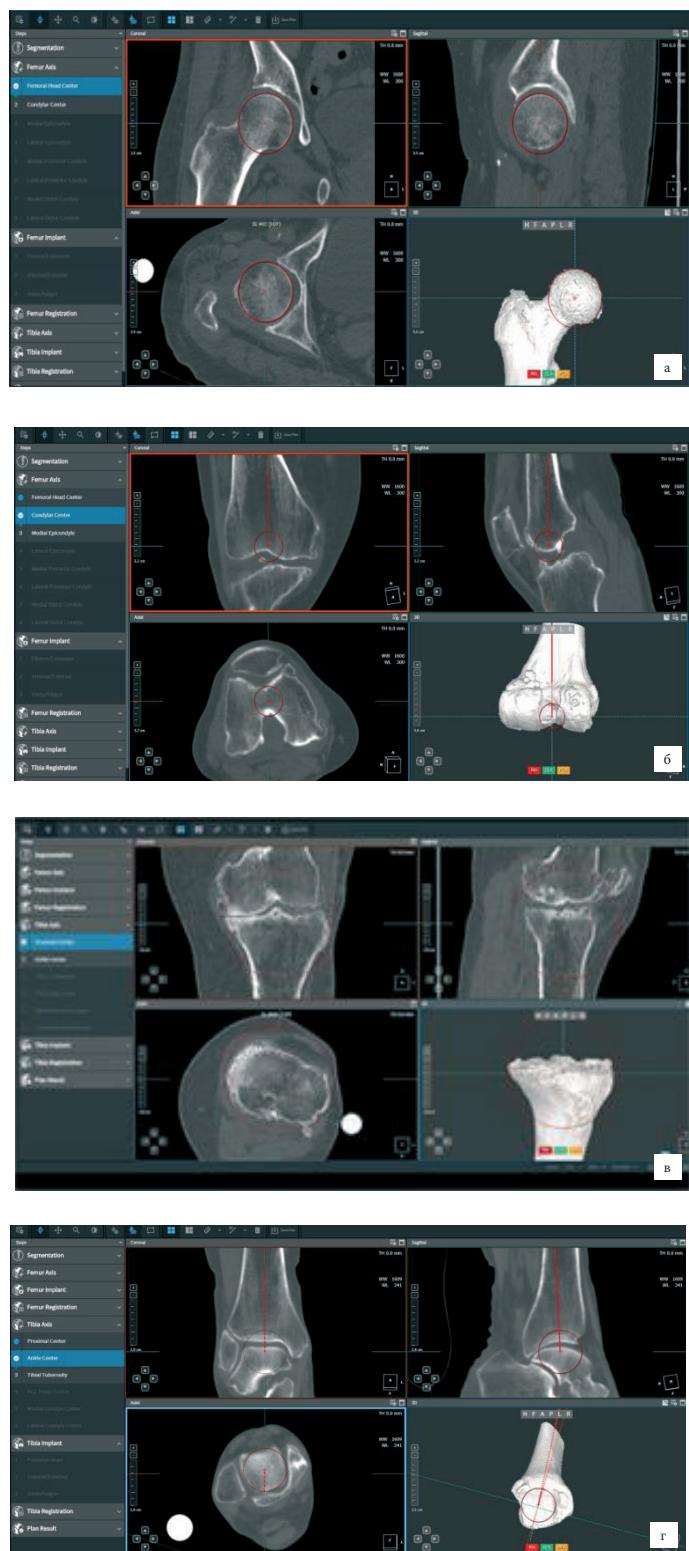


Рисунок 2. Разметка точек для построения осей: а - центр головки бедренной кости, б - центр дистального метаэпифиза бедренной кости, в - центр мыщелков большеберцовой кости, г - центр голеностопного сустава

Далее, после построения цифровой модели бедренной и большеберцовой костей пациента, в программном обеспечении мы выбираем тип и размер планируемого эндопротеза и приступаем к его позиционированию, шаг уровня резекции от 0,1 до 1,0 мм и ротации от 0,1° до 1,0° во всех трех плоскостях (Рисунок 3).

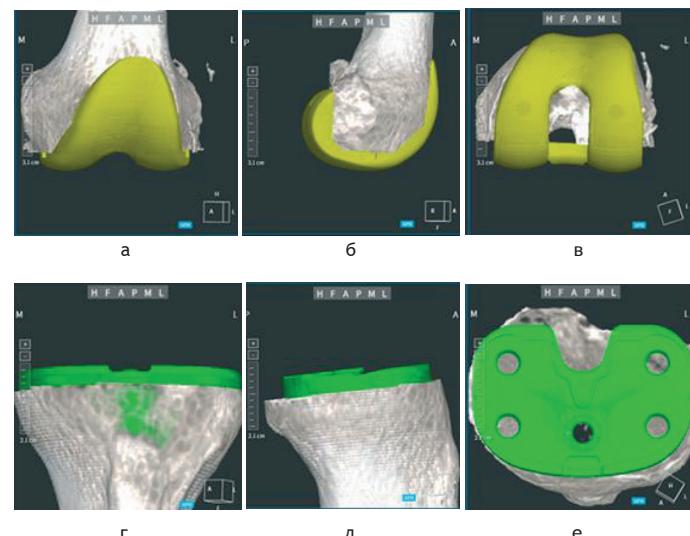
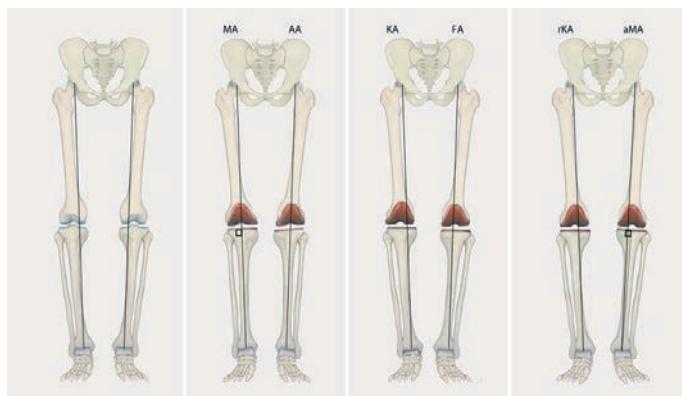


Рисунок 3. Разметка точек для построения осей: а - центр головки бедренной кости, б - центр дистального метаэпифиза бедренной кости, в - центр мыщелков большеберцовой кости, г - центр голеностопного сустава

Традиционные методы выравнивания оси конечности (МВ и АВ, КВ и оКВ) основаны на уровне и угле резекции бедренной и большеберцовой костей и последующей балансировке сгибательно-разгибательных и медиально-латеральных межкостных зазоров путем высвобождения (релиза) капсулы и связок коленного сустава, что исправляет фиксированные деформации и приводит конечность в правильное положение [1]. ФВ достигает сбалансированных зазоров сгибания и разгибания и натяжения мягких тканей путем корректировки резекции кости, точной настройки положения компонентов и уменьшения высвобождения мягких тканей с помощью роботизированной системы [34]. Схемы различных вариантов выравнивания оси конечности на примере коленного сустава с варусной деформацией представлено на Рисунке 4.



**Рисунок 4.** Схемы различных методов выравнивания, описанных в тексте, на примере коленного сустава с варусной деформацией 6°. (МА: механическое выравнивание, АА: анатомическое выравнивание, КА: кинематическое выравнивание, FA: функциональное выравнивание, rKA: ограниченное кинематическое выравнивание, аМА: скорректированное механическое выравнивание). Иллюстрация Р. Химмельхана, авторские права принадлежат П. Веберу и Х. Голливитцеру [34]

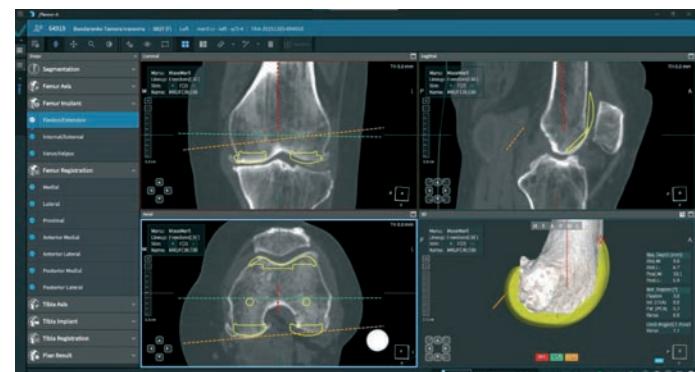
#### Механическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава (роТЭКС)

Планирование механического выравнивания (на примере пациентки с предоперационным варусом в 7,1°, НКА 172,9°), первым этапом подбираем размер бедренного компонента NexGen CR-Flex, который наиболее подходит во всех трех проекциях в нашем примере размер E, затем начиная с фронтальной проекции устанавливаем угол дистальной резекции бедренной кости ориентируясь на резекцию медиального мыщелка в 9 мм (по толщине имплантата), перпендикулярно механической оси, латеральная дистальная резекция автоматически вычисляется в 6,7 мм (Рисунок 5).



**Рисунок 5.** Вид фронтальной проекции при планировании бедренного компонента

В сагittalной проекции устанавливается уровень передней и задней резекции под бедренный компонент и флексия в 3° (Рисунок 6).



**Рисунок 6.** Вид сагиттальной проекции при планировании бедренного компонента

После чего в аксиальной проекции планируется ротация бедренного компонента ориентируясь на трансмышцелковую ось и суставную поверхность надколенника (Рисунок 6).



**Рисунок 7.** Вид аксиальной проекции при планировании бедренного компонента

Далее переходим к планированию большеберцового компонента начиная с выбора размера, который можно подбирать по фронтальной проекции (Рисунок 8) или по аксиальной проекции (Рисунок 10), после подбора размера, в данном случае размер 3, устанавливаем его перпендикулярно механической оси большеберцовой кости (Рисунок 8), и устанавливаем необходимый уровень медиальной резекции, который вычисляется из величины глубины дистальной медиальной резекции бедренного компонента (9 мм), плюс 10 мм большеберцового компонента с минимальным вкладышем ( $9+10 \text{ мм} = 19 \text{ мм}$ ) – это полная величина медиального разгибательного промежутка. Уровень проксимальной медиальной резекции большеберцовой кости определяется как разница из большеберцового компонента с минимальным вкладышем, минус толщина остаточного хряща на суставной поверхности бедренной и большеберцовой кости, и растяжимости медиальной коллатеральной связки, определенной при клиническом стресс-тесте ( $10-(2+2,5)=5,5 \text{ мм}$ ), в нашем случае медиальная проксимальная резекция большеберцовой кости 5,5 мм, латеральная устанавливаются автоматически, при МПТУ равном 90°.



Рисунок 8. Вид фронтальной проекции при планировании большеберцового компонента

В сагиттальной проекции устанавливаем угол наклона большеберцового компонента кзади в 3° (обычно при CR протезе) контролируя сохранение уровня медиальной проксимальной резекции большеберцовой кости (Рисунок 9).



Рисунок 9. Вид сагиттальной проекции при планировании большеберцового компонента

В аксиальной проекции проверяем размер компонента и его переднезаднюю позицию, устанавливаем необходимую ротацию по линии Акаги, и соотносим ее с профилем бугристости большеберцовой кости, в данном случае ротация 0° (Рисунок 9).



Рисунок 10. Вид аксиальной проекции при планировании большеберцового компонента

В результате мы получаем план операции с позиционированием определенного размера имплантатов, со всеми показателями резекции бедренной и большеберцовой костей во всех трех плоскостях, в нашем случае механическую ось с планируемым НКА 180°, при исходном НКА 172,9° (варус 7,1°) (Рисунок 11).

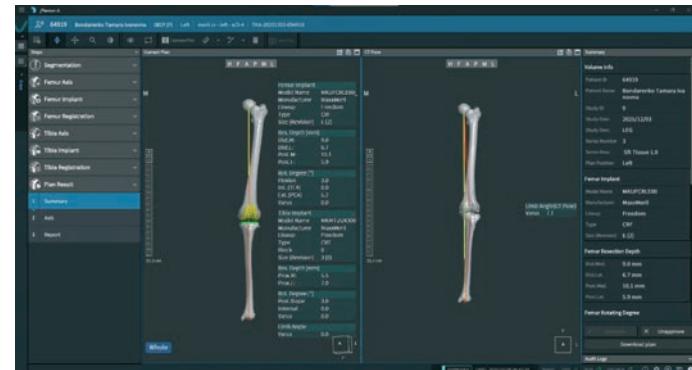


Рисунок 11. Вид плана операции при механическом выравнивании оси конечности

Размер бедренного компонента Е, медиальная дистальная резекция бедренной кости 9 мм, латеральная – 6,7 мм, заднемедиальная резекция 10,1 мм, латеральная – 5,9 мм, сагиттальная флексия бедренного компонента 3,0°, аксиальная ротация 0° по отношению к трансмышцелковой оси бедренной кости. Размер большеберцового компонента 3, слой 3°, медиальная проксимальная резекция большеберцовой кости 5,5 мм, латеральная 7,0 мм.

#### **Анатомическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава (роТЭКС)**

При протезировании бедренной кости дистальная резекция выполняется параллельно линии сустава (с наклоном к срединной линии на 3°), чтобы восстановить латеральный дистальный угол бедренной кости (ЛДУБК), для этого бедренный компонент устанавливают с одинаковым уровнем медиальной и латеральной дистальной резекции мышцелков бедренной кости (Рисунок 12).



Рисунок 12. Вид фронтальной проекции при планировании бедренного компонента анатомического выравнивания оси конечности

Большеберцовая кость также резецируется в соответствии с исходной линией сустава, наклоненной книзу и медиально на 3°, таким образом, чтобы восстановить медиальный проксимальный угол большеберцовой кости, или слегка адаптируется для выравнивания оси ноги на 180° (Рисунок 13).



**Рисунок 13.** Вид фронтальной проекции при планировании большеберцового компонента анатомического выравнивания оси конечности

В результате мы получаем планируемую механическую ось с НКА 180°, с наклоном линии сустава в 3° (Рисунок 14).

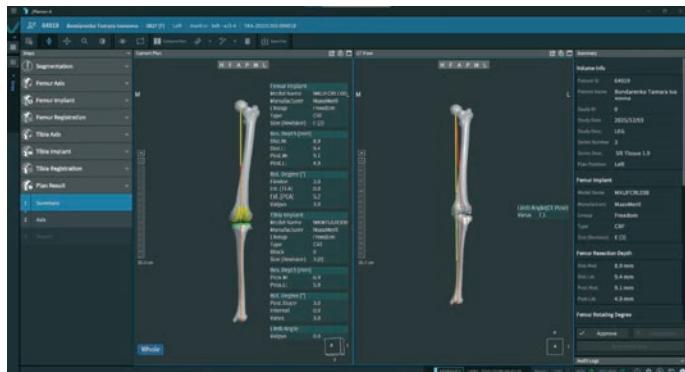


Рисунок 14. Вид плана операции при анатомическом выравнивании оси конечности

Размер бедренного компонента Е, медиальная дистальная резекция бедренной кости 9 мм, латеральная – 9 мм, заднемедиальная резекция 11,1 мм, латеральная – 6,9 мм, сагиттальная флексия бедренного компонента 3,0°, аксиальная ротация 0° по отношению к трансмыщелковой оси бедренной кости. Размер большеберцового компонента 3, слоп 3°, медиальная проксимальная резекция большеберцовой кости 6,9 мм, латеральная 5,9 мм.

Необходимо подчеркнуть, что при соблюдении технологии РоТЭКС планируемые уровни резекции и ротации компонентов в 88% случаев не выходят за пределы  $\pm 1$  мм, и  $\pm 1^\circ$  ротации [12,36,37,38,39]. При мануальной технике ошибка в пределах  $\pm 3$  мм, и  $\pm 3^\circ$  ротации является нормальной [40]. После резекции бедренной и большеберцовой костей

и удаления остеофитов, выполняется установка примерочных компонентов и выполняется мягкотканый релиз. Проверяются зазоры при разгибании и сгибании и выполняется релиз мягких тканей, как при мануальной технике. Релиз может быть сложным, поскольку при ранее сбалансированном зазоре при сгибании релиз медиальных структур при разгибании может привести к ослаблению медиального зазора при сгибании. В этом случае требуется дополнительный релиз для восстановления симметричных условий, что часто бывает затруднительно. После операции ось ноги должна быть прямой, что часто требует рассечения связок. При использовании метода механической коррекции, который часто требует более обширного рассечения тканей, существует риск ятrogenного повреждения связок [41]. При балансировке связок существует риск внутренней ротации бедренной кости, особенно при вальгусной деформации.

Постепенное рассечение связок уже неоднократно описывалось, поэтому здесь мы лишь кратко упомянем об этом [42]. Важно помнить, какие медиальные и латеральные структуры в каком положении коленного сустава (при разгибании и сгибании) отвечают за стабильность. При разгибании медиально расположены поверхностные и глубокие волокна медиальной коллатеральной связки и, в меньшей степени, гусиная лапка. При сгибании в основном задействованы поверхностные волокна медиальной коллатеральной связки. Сбоку при разгибании задействованы латеральная коллатеральная связка, заднелатеральная капсула, подвздошно-большеберцовый тракт (в области бугорка Герди), а также сухожилие подколенной мышцы и латеральное сухожилие икроножной мышцы. При сгибании подвздошно-большеберцовый тракт и капсула не обеспечивают существенной стабильности, но здесь важную роль играют другие упомянутые структуры. После определения места контрактуры необходимо поэтапно высвободить соответствующие волокна с помощью надрезов (метод «корки пирога») или постепенного отделения от основания [42].

## **Кинематическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава (роТЭКС)**

Кинематическая коррекция основана на методе измеренной резекции и известна как «истинная измеренная резекция» [43, 44, 45, 46]. Цель кинематической коррекции протеза – восстановить естественную кинематику коленного сустава пациента, которая существовала до развития остеоартрита. Это позволяет восстановить отдельные линии сустава (большеберцово-бедренный сустав) и естественную ось ноги. Для этого дистально, сзади бедренной кости и проксимально с большеберцовой удаляется достаточно большое количество кости и хряща с учетом изношенного хряща, который будет заменен компонентами эндопротеза коленного сустава. Обычно связки не рассекаются и релиз не выполняется, удаляются только остеофиты. Эта процедура позволяет восстановить натяжение

связок во всех положениях сгибания до уровня естественного коленного сустава пациента за счет резекции кости. Отслеживание положения надколенника также обычно является физиологичным, поскольку восстанавливается естественный угол Q.

Планирование начинается с уровня резекции бедренной кости для устраниния дистального варус-вальгусного отклонения в фронтальной плоскости учитывается анатомическая линия сустава, при РоТЭКС учет износа хряща для восстановления ЛДБУ пациента не обязателен, это возможно выполнить при помощи равномерной медальной и латеральной резекции бедренной кости, потери ее при первичном эндопротезировании незначительные (Рисунок 15).

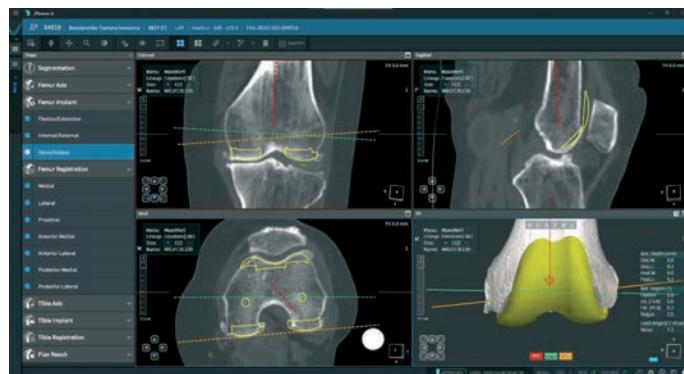


Рисунок 15. Вид бедренного компонента в фронтальной плоскости при кинематическом выравнивании оси конечности

При медиальной и латеральной резекции бедренной кости 9 мм (пример Рисунок 15), угол наклона суставной щели автоматически вычисляется в 2,6° вальгуса. Флексия бедренного компонента в сагittalной плоскости осуществляется в соответствии с положением задних мышцелков параллельно длинной оси кости (флексия 3°), с последующей задней резекцией в аксиальной плоскости в зависимости от размера имплантата, что составляет 9 мм (медиально и латерально-сгибательный промежуток) с внутренней ротацией 5,0° и передняя вырезка имплантата параллельна – точно соответствует суставной поверхности надколенника (Рисунок 16).



Рисунок 16. Вид бедренного компонента в аксиальной плоскости при кинематическом выравнивании оси конечности

Большеберцовая кость также резецируется параллельно суставной линии (5° варуса) с учётом износа кости и хряща. Любая существующая асимметрия в натяжении связок требует их релиза или коррекции путём дополнительной резекции большеберцовой кости, на примере слоp 3° и проксимальная большеберцовая резекция под углом 5° варуса и медиальная 6,9 мм, латеральная 6,1 мм (Рисунок 17).



Рисунок 17. Вид фронтальной и сагиттальной проекций при планировании большеберцового компонента кинематического выравнивания оси конечности

Асимметрия между латеральной и медиальной частями корректируется путём варусной или вальгусной коррекции, а асимметрия между промежутками между разгибанием и сгибанием компенсируется за счёт увеличения или уменьшения наклона большеберцовой кости. Концепция кинематического выравнивания допускает и даже предполагает физиологически слабую латеральную сгибательную щель. При последующих пробных имплантациях отслеживание положения надколенника обычно осуществляется по центру, так как угол Q и положение бедренной кости физиологически сохраняются в соответствии с осью вращения надколенника. Благодаря кинематическому выравниванию протеза ось ноги восстанавливается до пре-артрозного положения, в результате чего ось ноги остается варусной или вальгусной (Рисунок 18).

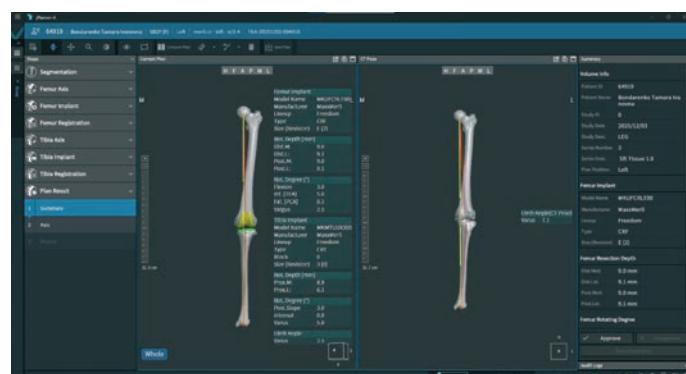


Рисунок 18. Вид плана операции при кинематическом выравнивании оси конечности

В результате кинематического выравнивания дистальная медиальная и латеральная, задняя медиальная и латеральные резекции составляют 9 мм, за счет вальгусной установки бедренного компонента ( $2,5^\circ$ ) и внутренней ротации бедренного компонента в аксиальной плоскости  $5,0^\circ$ . При этом планируемый НКА составил  $2,5^\circ$  варусной деформации и наклон тибионального компонента  $5,0^\circ$  (предоперационный НКА  $7,1^\circ$ ).

При строгом кинематическом выравнивании допускаются вальгусные и варусные деформации более  $5^\circ$ . Некоторые рабочие группы, использующие кинематическое выравнивание, относятся к этому критически, так как долгосрочные результаты при таких «отклонениях оси» не получены. Это привело к разработке так называемого «ограниченного кинематического выравнивания». При таком выравнивании ТКА имплантируются с кинематическим выравниванием, при этом угол между осью голени и осью бедра составляет от  $85^\circ$  до  $95^\circ$ , а послеоперационное отклонение оси голени — не более  $\pm 3^\circ$ . Во всех случаях, когда значения превышают указанные, углы корректируются до тех пор, пока они не окажутся в пределах «ограниченного кинематического выравнивания» [47, 48].

В нашем клиническом примере позиция бедренного компонента соответствовала «безопасному коридору» соответствующего оКВ, фронтальное выравнивание большеберцового компонента уменьшено до  $3^\circ$  варуса и скорректировано за счет уровней медиальной и латеральной резекции (с 6,9–6,1 мм на 7,9–6,9 мм) (Рисунок 19).



Рисунок 19. Вид фронтальной проекции при планировании большеберцового компонента ограниченного кинематического выравнивания оси конечности

При этом в плане операции по философии ограниченного кинематического выравнивания НКА составил  $0,5^\circ$  (Рисунок 20).

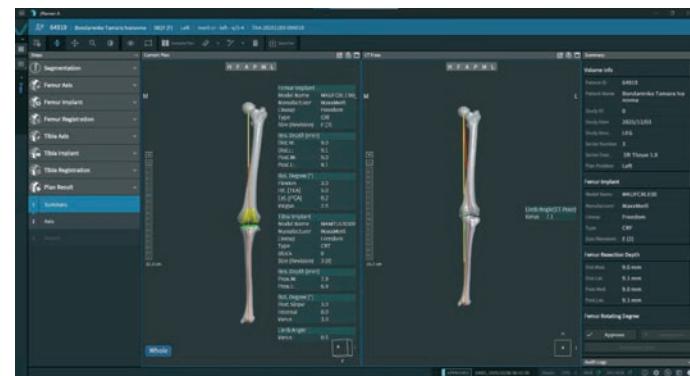


Рисунок 20. Вид плана операции при ограниченном кинематическом выравнивании оси конечности

Однако, ротация бедренного компонента и угол вальгус-варусного фронтального наклона большеберцового компонента соответствуют кинематическому выравниванию за счет изменения уровня резекции, что позволяет получить хорошо сбалансированные сгибательно-разгибательные промежутки и избежать мягкотканых релизов. Как уже понятно из описания, мы во всех своих случаях выравнивания (МВ и оКВ, АВ и КВ мы не использовали) практически во время операции не изменяли план и не выполняли повторных резекций, баланс связок и диапазон движений достигались за счет релиза мягких тканей. При релаксации связок или переразгибании мы компенсировали за счет увеличения высоты вкладыша, ни одного случая «узости» суставной щели (когда невозможно установить минимальной высоты компоненты эндопротеза) у нас не было, увеличение высоты вкладыша не превышало 5% случаев.

#### Функциональное выравнивание оси конечности при РоТЭКС

Функциональное выравнивание при планировании базируется на принципах механического выравнивания, но во время операции после завершения этапа костной регистрации выполняется удаление всех остеофитов и интраоперационная коррекция плана операции, изменение уровней резекции и ротации компонентов с сохранением небольшой варусной (или вальгусной) деформации, целью которой является установить ось ноги под углом  $\pm 3^\circ$ , регулируя межкостные промежутки с учетом натяжения коллатеральных связок коленного сустава и соответствующим образом корректируя план операции.

Таким образом, планирование проводим по методике МВ, после артrotомии и регистрации костных структур следующим шагом является скусывание остеофитов, которые обычно присутствуют на медиальных поверхностях большеберцовой и бедренной костей, и ограниченный релиз капсулы в месте прикрепления на медиальной поверхности большеберцовой кости. Этот этап имеет принципиальное значение при функциональном выравнивании, так как дает

возможность точно измерить межсуставные щели и оценить натяжение связок, поскольку остеофиты могут неверно определять как межсуставные щели, так и натяжение медиальных и латеральных стабилизаторов.

Натяжение собственных связок и медиолатеральные щели оцениваются и регистрируются интраоперационно с легким вальгусным и варусным напряжением при разгибании колена и сгибании под углом 90 градусов. Зазоры также оцениваются в режиме реального времени при движении от полного разгибания до полного сгибания коленного сустава для регистрации динамических изменений медиолатеральных щелей (Рисунок 21).



Рисунок 21. Интраоперационный медиальнолатеральный баланс промежутков в разгибании и сгибании до регулировки

Интраоперационная регулировка медиолатеральных зазоров (разгибание и сгибание). Цель этого шага – создать максимальный зазор 10 или 12 мм ( $\pm 1$ ) (в зависимости от толщины планируемого вкладыша 10 или 12 мм) с одновременным вальгусным и варусным напряжением в медиальном и латеральном зазорах соответственно, как при разгибании (0–15 градусов), так и при сгибании (80–100 градусов). Значения, отображаемые роботом, фактически представляют собой расстояние между большеберцовой и бедренной по-

верхностями с компонентами и учитываются в толщине протеза, что фактически отображает размер полиэтиленовой вставки. Общее выравнивание (НКА) поддерживается в пределах максимум 5 градусов варуса конечности. Наклон суставной линии сохраняется (Рисунок 22).



Рисунок 22. Интраоперационный медиальнолатеральный баланс промежутков в разгибании и сгибании после регулировки

Подводя итог, можно сказать, что бедренный компонент обычно удерживается под углом от 2° вальгусной до 3° варусной деформации и от 0° до 3° градусов наружной ротации. Большеберцовый компонент удерживается под углом от 0° до 4° варусной деформации. Для компенсации сгибательного зазора бедренный компонент смещается спереди назад, в зависимости от обстоятельств, максимум на 2 мм в сочетании со сгибанием, чтобы избежать образования выемки. Сагиттальное выравнивание бедренного компонента поддерживается таким образом, чтобы передний оффсет бедренной части составлял <15 %, а задний мышцелковый оффсет <95% после операции. Важно визуализировать вероятность передней выемки, которая отображается на экране при регулировке бедренного компонента кзади. Общий НКА поддерживается в диапазоне от 180° до 175°

варуса. Линия сустава поддерживается в пределах 3 мм от естественной линии сустава.

После интраоперационной коррекции положения компонентов протеза выполняется роботизированная резекция. После завершения устанавливаются пробные компоненты, и зазоры повторно оцениваются клинически с помощью робота, после чего следует цементирование и имплантация окончательных компонентов. В случаях выраженной латеральной нестабильности допускается отклонение зазора в 2 мм, чтобы избежать неточной установки компонентов или чрезмерного релиза мягких тканей.

### Обсуждение

Дискуссия о том, следует ли сначала имплантировать большеберцовый компонент, а затем выравнивать бедренный компонент с помощью связок, или же имплантацию следует проводить анатомически, то есть сначала резецировать бедренную кость с костной фиксацией, продолжается уже несколько десятилетий. Метаанализ, в котором приняли участие более 2500 пациентов, не выявил различий между методами с точки зрения клинических показателей исложнений [49]. Тем не менее оба метода предполагают, что ось прямой ноги должна быть восстановлена с максимальным отклонением  $\pm 3^\circ$ . Оба метода обеспечивают надёжный долгосрочный результат, а материалы и конструкция протезов были разработаны таким образом, чтобы они служили долго при механическом выравнивании. Инструменты были разработаны для безопасного проведения артрапластики с механическим выравниванием.

Однако в последние годы догмат о том, что после эндопротезирования коленного сустава нога должна быть прямой, а механическая ось должна находиться в пределах  $\pm 3^\circ$ , был поставлен под сомнение. С одной стороны, Беллеманс смог доказать, что лишь у небольшого процента людей механическая ось находится в нейтральном положении и что в среднем механическая ось ноги расположена под углом  $1,2^\circ$  к варусу. У 33% мужчин ось ноги расположена под углом варуса более  $3^\circ$ . При имплантации тотальных эндопротезов коленного сустава с традиционным механическим выравниванием у таких пациентов всегда требуется рассечение медиальной коллатеральной связки. Поэтому для таких пациентов авторы рекомендуют оставлять небольшую варусную деформацию [4]. С другой стороны, исследование, проведенное в клинике Мэйо, с периодом наблюдения более 15 лет показало, что частота ревизий коленных суставов в пределах  $\pm 3^\circ$  от целевого диапазона была сопоставима с частотой ревизий за пределами этого коридора [50].

Сам Инсолл ещё в 1988 году отмечал, что концепция механической оси подходит не каждому пациенту и поэтому является лишь «компромиссом» [51]. Приведенный выше показатель в 15–20 % пациентов, недовольных эндопротезированием коленного сустава, наблюдался у пациентов

с механическим выравниванием. Особенно у пациентов с конституциональной варусной деформацией, описанной Беллемансом, механическое выравнивание эндопротеза приводит к перерастяжению медиальной коллатеральной связки, что может стать причиной появления симптомов, а интраоперационное рассечение может быть затруднено [4]. Помимо прочего, эти разработки привели к созданию системы кинематического выравнивания. Хаузелл был одним из первых, кто воспользовался этой системой, и сообщил об очень хороших клинических результатах в ходе последующих исследований [52, 53]. Критики этого метода предупреждали, что отклонение от перпендикулярного расположения большеберцовой кости относительно механической оси может привести к преждевременному выходу из строя [47]. Однако несколько исследований подтвердили, что, по крайней мере в среднесрочной перспективе, у пациентов с «варусным» или «вальгусным» искривлением не наблюдается более высокой частоты ревизий [44, 48]. Это связано с тем, что при ходьбе линия сустава наклонена параллельно земле, так как расстояние между голеностопными суставами меньше, чем между тазобедренными. В результате нагрузка на большеберцовую кость при ходьбе снова становится физиологичной. Кроме того, кинематическая коррекция варусной деформации коленного сустава снижает момент приведения коленного сустава по сравнению с механической коррекцией, что также уменьшает нагрузку на имплантат [53].

Важным наблюдением является то, что функционально выровненное колено с описанной методикой балансировки зазора с использованием роботизированной системы Cuviv является безопасным и эффективным и позволяет достичь хороших и отличных результатов в течение короткого периода наблюдения у пациентов с остеоартритом III–IV степени [28].

### Вывод

Тотальное эндопротезирование коленного сустава может быть безопасно выполнено любым из представленных методов выравнивания оси конечности, однако восстановить естественную анатомию пациента с помощью традиционных инструментов иногда бывает непросто, поэтому применение роботизированных технологий с возможностью интраоперационной визуализации и коррекции положения имплантатов могут быть весьма перспективны, хотя не имеют на сегодняшний день отдаленных преимуществ, что диктует необходимость дальнейших исследований, чтобы выявить ограничения этих методов и определить, кому из пациентов какой вид коррекции оси конечности и позиционирования имплантатов сможет принести существенную пользу.

## Список литературы / References:

1. Insall, J.N.; Binazzi, R.; Soudry, M.; Mestriner, L.A. Total knee arthroplasty. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1985; 192: 13–22.
2. Nam, D.; Nunley, R.M.; Barrack, R.L. Patient dissatisfaction following total knee replacement: A growing concern? *Bone Jt. J.* 2014; 96-B: 96–100.
3. Bourne, R.B.; Chesworth, B.M.; Davis, A.M.; Mahomed, N.N.; Charron, K.D. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2010; 468: 57–63. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B11.34152>
4. Bellemans, J.; Colyn, W.; Vandenneucker, H.; Victor, J. The Chitraranjan Ranawat award: Is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2012; 470: 45–53. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1936-5>
5. Hirschmann, M.T.; Hess, S.; Behrend, H.; Amsler, F.; Leclercq, V.; Moser, L.B. Phenotyping of hip-knee-ankle angle in young non-osteoarthritic knees provides better understanding of native alignment variability. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2019; 27: 1378–1384. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05507-1>
6. Winnock de Grave, P.; Luyckx, T.; Claeys, K.; Tampere, T.; Kellens, J.; Müller, J.; Gunst, P. Higher satisfaction after total knee arthroplasty using restricted inverse kinematic alignment compared to adjusted mechanical alignment. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30: 488–499. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06165-4>
7. Howell, S.M.; Kuznik, K.; Hull, M.L.; Siston, R.A. Results of an initial experience with custom-fit positioning total knee arthroplasty in a series of 48 patients. *Orthopedics* 2008; 31: 857–863. <https://doi.org/10.3928/01477447-20080901-15>
8. Almaawi, A.M.; Hutt, J.R.B.; Masse, V.; Lavigne, M.; Vendittoli, P.A. The Impact of Mechanical and Restricted Kinematic Alignment on Knee Anatomy in Total Knee Arthroplasty. *J. Arthroplast.* 2017; 32: 2133–2140. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.02.028>
9. Hungerford, D.S.; Krackow, K.A. Total joint arthroplasty of the knee. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1985; 192: 23–33.
10. Hollister, A.M.; Jatana, S.; Singh, A.K.; Sullivan, W.W.; Lupichuk, A.G. The axes of rotation of the knee. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1993; 290: 259–268.
11. Sultan, A.A.; Samuel, L.T.; Khlopas, A.; Sodhi, N.; Bhowmik-Stoker, M.; Chen, A.; Orozco, F.; Kolisek, F.; Mahoney, O.; Smith, L.; et al. Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty More Accurately Restored the Posterior Condylar Offset Ratio and the Insall-Salvati Index Compared to the Manual Technique; A Cohort-Matched Study. *Surg. Technol. Int.* 2019; 34: 409–413.
12. Kayani, B.; Konan, S.; Huq, S.S.; Tahmassebi, J.; Haddad, F.S. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2019; 27: 1132–1141. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5138-5>
13. Hampp, E.L.; Chughtai, M.; Scholl, L.Y.; Sodhi, N.; Bhowmik-Stoker, M.; Jacobsky, D.J.; Mont, M.A. Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Demonstrated Greater Accuracy and Precision to Plan Compared with Manual Techniques. *J. Knee Surg.* 2019; 32: 239–250. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1641729>
14. Sires, J.D.; Wilson, C.J. CT Validation of Intraoperative Implant Position and Knee Alignment as Determined by the MAKO Total Knee Arthroplasty System. *J. Knee Surg.* 2021; 34: 1133–1137. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701447>
15. Hilding, M.B.; Lanshammar, H.; Ryd, L. Knee joint loading and tibial component loosening. RSA and gait analysis in 45 osteoarthritic patients before and after TKA. *J. Bone Jt. Surg. Br.* 1996; 78: 66–73.
16. Sharkey, P.F.; Hozack, W.J.; Rothman, R.H.; Shastri, S.; Jacoby, S.M. Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2002; 404: 7–13. <https://doi.org/10.1097/00003086-200211000-00003>
17. Wakelin, E.A.; Shalhoub, S.; Lawrence, J.M.; Keggi, J.M.; De-Claire, J.H.; Randall, A.L.; Ponder, C.E.; Koenig, J.A.; Lyman, S.; Plaskos, C. Improved total knee arthroplasty pain outcome when joint gap targets are achieved throughout flexion. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30: 939–947. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06482-2>
18. Saprey-Marinier, E.; Batailler, C.; Swan, J.; Schmidt, A.; Cheze, L.; MacDessi, S.J.; Servien, E.; Lustig, S. Mechanical alignment for primary TKA may change both knee phenotype and joint line obliquity without influencing clinical outcomes: A study comparing restored and unrestored joint line obliquity. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30: 2806–2814. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06674-w>
19. Lustig, S.; Saprey-Marinier, E.; Fary, C.; Servien, E.; Parratte, S.; Batailler, C. Personalized alignment in total knee arthroplasty: Current concepts. *SICOT J.* 2021; 7: 19. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2021021>
20. Karachalias, T.; Komnos, G.A. Individualized surgery in primary total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2020; 5: 663–671. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.190085>
21. Oussédik, S.; Abdel, M.P.; Victor, J.; Pagnano, M.W.; Haddad, F.S. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Jt. J.* 2020; 102-B: 276–279.
22. Lewis PL, Gill DR, McAuliffe MJ, Stoney JD, Vertullo CJ, Wall CJ, Corfield S, Esaian R, Moylan S, Du P, Holder C, Edwards S, Xu Q, Oakey H, Lorimer MF, Smith PN. Hip, Knee and Shoulder Arthroplasty: 2025 Annual Report, Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry, *AOA: Adelaide, South Australia*. 2025. <https://doi.org/10.25310/MXFR3061>
23. Nam D, Nunley RM, Berend KR, Lombardi AV, Barrack RL. The impact of custom cutting guides on patient satisfaction and residual symptoms following total knee arthroplasty. *Knee.* 2016 Jan; 23 (1): 144–8. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.08.005>. Epub 2015 Dec 30. PMID: 26746042.
24. Shatrov, J.; Batailler, C.; Saprey-Marinier, E.; Gunst, S.; Servien, E.; Lustig, S. Correction Notice to: Functional Alignment Philosophy in Total Knee Arthroplasty—Rationale and technique for the varus morphotype using a CT based robotic platform and individualized planning. *SICOT J.* 2022; 8: 18. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2022010>
25. Shatrov, J.; Batailler, C.; Saprey-Marinier, E.; Gunst, S.; Servien, E.; Lustig, S. Kinematic alignment fails to achieve balancing in 50% of varus knees and resects more bone compared to functional alignment. *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30: 2991–2999. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07073-5>
26. Shatrov, J.; Coulin, B.; Batailler, C.; Servien, E.; Walter, B.; Lustig, S. Alignment philosophy influences trochlea recreation in total knee arthroplasty: A comparative study using image-based robotic technology. *Int. Orthop.* 2022, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05570-3>
27. Hirschmann, M.T.; Behrend, H. Functional knee phenotypes: A call for a more personalised and individualised approach to total knee arthroplasty? *Knee Surg. Sport. Traumatol. Arthrosc.* 2018; 26: 2873–2874. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4973-8>
28. Rajashekhar K. T, Adarsh Krishna K. BBhat, Naveen Biradar , Aniruddha R.Patil, Kartik Mangsuli , Amar Patil. Gap Balancing Tech-

- niqe With Functional Alignment in Total Knee Arthroplasty Using the Cuvis Joint Robotic System: Surgical Technique and Functional Outcome. *Cureus*. 2025; 17 (2): e78914. <https://doi.org/10.7759/cureus.78914>
29. Deckey DG, Rosenow CS, Verhey JT, Brinkman JC, Mayfield CK, Clarke HD, Bingham JS: Robotic-assisted total knee arthroplasty improves accuracy and precision compared to conventional techniques. *Bone Joint J.* 2021; 103-B: 74-80. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B6>. BJJ-2020-2003.R1
30. Murphy GT, Shatov J, Duong J, Fritsch BA: How does the use of quantified gap-balancing affect component positioning and limb alignment in robotic total knee arthroplasty using functional alignment philosophy? A comparison of two robotic platforms. *Int Orthop.* 2023; 47: 1221-32. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05681-x>
31. Bollars P, Meshram P, Al Thani S, Schotanus MG, Albelooshi A: Achieving functional alignment in total knee arthroplasty: early experience using a second-generation imageless semi-autonomous handheld robotic sculpting system. *Int Orthop.* 2023; 47: 585-93. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05649-x>
32. Mancino F, Rossi SM, Sangaletti R, Caredda M, Terragnoli F, Benazzo F: Increased accuracy in component positioning using an image-less robotic arm system in primary total knee arthroplasty: a retrospective study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024; 144: 393-404. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05062-y>
33. Rossi SM, Benazzo F: Individualized alignment and ligament balancing technique with the ROSA® robotic system for total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2023; 47: 755-62. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05671-z>
34. Gavin C, Esposito C, Wood D: Individualized functional knee alignment in total knee arthroplasty: a robotic assisted technique. *Tech Orthop.* 2022; 37: 185-91. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000567>
35. Weber P, Gollwitzer H: Arthroplasty of the Knee: Current Techniques for Implant Alignment. *Z Orthop Unfall.* 2022 Apr; 160 (2): 149-159.
36. Sires JD, Wilson CJ: CT validation of intraoperative implant position and knee alignment as determined by the MAKO total knee arthroplasty system. *J Knee Surg* 2020; 34 (10): 1133-1137 <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701447>
37. Tsukiyama H, Kuriyama S, Kobayashi M, Nakamura S, Furu M, Ito H et al. Medial rather than lateral knee instability correlates with inferior patient satisfaction and knee function after total knee arthroplasty. *Knee* 2017; 24: 1478-1484 <https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.09.004>
38. Kreuzer S, Brar A, Campanelli V: Dimensional accuracy of TKA cut surfaces with an active robotic system. *Comput Assist Surg (Abingdon)*. 2022 Dec; 27 (1): 41-49. <https://doi.org/10.1080/2469932.2022.2080116>. PMID: 35635837.
39. Campanelli V, Lozano R, Akhlaghpour H, Brar AS, Maislin D, Nedopil AJ, Zuhars J: Implant placement accuracy in total knee arthroplasty: validation of a CT-based measurement technique. *Quant Imaging Med Surg.* 2020 Feb; 10 (2): 475-484. <https://doi.org/10.21037/qims.2020.01.02>. PMID: 32190572; PMCID: PMC7063276.
40. Plaskos C, Hodgson AJ, Inkpen K, McGraw RW: Bone cutting errors in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2002 Sep; 17 (6): 698-705. <https://doi.org/10.1054/arth.2002.33564>. PMID: 12216022.
41. Motifard M, Sheikbahaei E, Piri Ardakani M. et al. Intraoperative repair for iatrogenic MCL tear due to medial pie-crusting in TKA yields satisfactory mid-term outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021 Oct; 29 (10): 3246-3253. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06126-x>
42. Whiteside LA: Ligament Balancing: Weichteilmanagement in der Knieendoprothetik. Berlin, Heidelberg: Springer; 2004
43. Callies T, Ettinger M, Stukenborg-Colsmann C. et al. [Kinematic alignment in total knee arthroplasty: Concept, evidence base and limitations]. *Orthopade* 2015; 44: 282-286 288 <https://doi.org/10.1007/s00132-015-3077-0>
44. Howell SM, Howell SJ, Kuznik KT. et al. Does a kinematically aligned total knee arthroplasty restore function without failure regardless of alignment category? *Clin Orthop Relat Res* 2013; 471: 1000-1007 <https://doi.org/10.1007/s11999-012-2613-z>
45. Howell SM, Hodapp EE, Vernace JV. et al. Are undesirable contact kinematics minimized after kinematically aligned total knee arthroplasty? An intersurgeon analysis of consecutive patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy* 2013; 21: 2281-2287 <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2220-2>
46. Howell SM, Kuznik K, Hull ML. et al. Results of an initial experience with custom-fit positioning total knee arthroplasty in a series of 48 patients. *Orthopedics* 2008; 31: 857-863
47. Almaawi AM, Hutt JRB, Masse V. et al. The Impact of Mechanical and Restricted Kinematic Alignment on Knee Anatomy in Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty* 2017; 32: 2133-2140 <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.02.028>
48. Hutt JR, LeBlanc MA, Masse V. et al. Kinematic TKA using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res* 2016; 102: 99-104 <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.11.010>
49. Li S, Luo X, Wang P. et al. Clinical Outcomes of Gap Balancing vs. Measured Resection in Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis Involving 2259 Subjects. *J Arthroplasty* 2018; 33: 2684-2693 <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.015>
50. Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT. et al. Effect of post-operative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92: 2143-2149 <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01398>
51. Insall JN: Presidential address to The Knee Society. Choices and compromises in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1988; (226) 43-48
52. Srivastava A, Lee GY, Steklov N. et al. Effect of tibial component varus on wear in total knee arthroplasty. *Knee* 2012; 19: 560-563 <https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.11.003>
53. Niki Y, Nagura T, Nagai K. et al. Kinematically aligned total knee arthroplasty reduces knee adduction moment more than mechanically aligned total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018; 26: 1629-1635 <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4788-z>

## А в т о р ы :

**Лычагин Алексей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. Е-mail: dr.lychagin@mail.ru ; ORCID: 0000-0002-2202-8149

**Грициук Андрей Анатольевич** – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: drgaamma@gmail.com. ORCID: 0000-0003- 4202-4468.

**Елизаров Михаил Павлович** – кандидат мед. наук, Заведующий травматолого-ортопедическим отделением, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого

МГМУ им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: elizarovm07@gmail.com. ORCID: 0000-0002- 4811-5718.

**Томбоди Константин Хадисович** – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: tomboidi@mail.ru, ORCID: 0009-0001-2342- 504X

**Халимов Манучехр Мухсидинович** – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: manuchehrhalimov1@gmail.com

**A u t h o r s :**

**Alexey V. Lychagin** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: dr.lychagin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

**Andrey Anatolyevich Gritsyuk**, MD, PhD, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Surgery at I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), e-mail: drgaamma@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4202-4468.

**Mikhail Pavlovich Elizarov**, MD, PhD. Doctor of Medical Sciences, Head of the Traumatology and Orthopedics Department, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Surgery at I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), e-mail: elizarovm07@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4811-5718.

**Konstantin Khadisovich Tombodi**, Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Surgery at I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), e-mail: tomboidi@mail.ru, ORCID: 0009-0001-2342-504X

**Manuchehr Mukhsidinovich Khalimov**, Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Surgery at I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), I. M. Sechenov (Sechenov University), e-mail: manuchehrhalimov1@gmail.com

УДК 617.3

© Лычагин А.В., Свистунов А.А., Калинский Е.Б., Гаркави А.В., Кавалерский Г.М.,  
Кудрачев Т.Р., Гончарук Ю.Р., Азаркин К.М., Погосян Д.А., Мурдалов Э.Э., 2025



Оригинальное исследование / Original research

## КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИМПЛАНТАЦИИ СФЕРОИДОВ АУТОЛОГИЧНЫХ ХОНДРОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ХРЯЩА КОЛЕННОГО СУСТАВА

**А.В. ЛЫЧАГИН<sup>1</sup>, А.А. СВИСТУНОВ<sup>2</sup>, Е.Б. КАЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, А.В. ГАРКАВИ<sup>1</sup>, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ<sup>1</sup>,  
Т.Р. КУДРАЧЕВ<sup>\*1</sup>, Ю.Р. ГОНЧАРУК<sup>1</sup>, К.М. АЗАРКИН<sup>1</sup>, Д.А. ПОГОСЯН<sup>3</sup>, Э.Э. МУРДАЛОВ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Кафедра травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

<sup>3</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

<sup>4</sup> Клиника МЕДСИ на Молодежной (Одинцово), АО «Группа компаний МЕДСИ», 123056, г. Москва, Россия

### Аннотация

**Введение.** Суставной хрящ обладает крайне ограниченным потенциалом к самовосстановлению, поэтому его повреждения нередко приводят к необратимым изменениям. Для восстановления хрящевой ткани разработаны различные технологии, среди которых имплантация аутологичных хондроцитов (ACI). Метод основан на культивировании аутологичных клеток, продуцирующих хрящевой матрикс, с последующей их имплантацией в зону дефекта суставного хряща.

**Цель.** Представить клинические случаи первого в России применения аутологичных хондроцитов человека в рутинной практике.

**Материалы и методы исследования.** Представлены два клинических случая с дефектами суставного хряща различной локализации. Период наблюдения пациентов составил 4 месяца. В ходе контрольных визитов проводились опросы пациентов, физикальный осмотр, оценка амплитуды движений и объективное клиническое обследование. МРТ целевых коленных суставов выполнялись до первого оперативного вмешательства и спустя 4 месяца после него. По представленной методике каждому пациенту были выполнены два хирургических вмешательства на целевом коленном суставе; во время операций осуществлена фотодокументация состояния сустава до и после имплантации аутологичных хондросфер.

**Результаты.** В ходе наблюдения двух клинических случаев с дефектами суставного хряща, пролеченных методом имплантации сфероидов аутологичных хондроцитов, получены положительные ранние результаты. Отмечено снижение болевого синдрома, увеличение амплитуды движений и улучшение функционального состояния суставов. Контрольные МРТ прооперированных коленных суставов представленных пациентов через 4 месяца подтвердили формирование однородного регенерата и удовлетворительную интеграцию сфероидов с окружающим хрящом. Послеоперационный период протекал без осложнений, пациенты отмечали улучшение качества жизни.

**Заключение.** Имплантация сфероидов аутологичных хондроцитов представляет собой перспективный и эффективный метод восстановления хрящевых дефектов коленного сустава. Методика обеспечивает стойкое улучшение функции сустава и подтверждённую морфологически регенерацию хрящевой ткани.

**Ключевые слова:** аутологичные хондроциты; хондросфера; дефект хряща надколенника; дефект хряща бедренной кости; БМКП.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Лычагин А.В., Свистунов А.А., Калинский Е.Б., Гаркави А.В., Кавалерский Г.М., Кудрачев Т.Р., Гончарук Ю.Р., Азаркин К.М., Погосян Д.А., Мурдалов Э.Э. клинический опыт имплантации сфероидов аутологичных хондроцитов человека для лечения дефектов хряща коленного сустава. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 53–61.

**Этическая экспертиза.** Пациент подписал добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дал согласие на обработку и публикацию клинического материала.

## CLINICAL EXPERIENCE OF IMPLANTING HUMAN AUTOLOGOUS CHONDROCYTE SPHEROIDS FOR THE TREATMENT OF KNEE CARTILAGE DEFECTS

**ALEXEY V. LYCHAGIN<sup>1</sup>, ANDREY A. SVISTUNOV<sup>2</sup>, EUGENE B. KALINSKY<sup>1</sup>, ANDREY V. GARKAVI<sup>1</sup>,  
GENNADY M. KAVALERSKIY<sup>1</sup>, TAGIR R. KUDRACHEV<sup>1</sup>, YULIYA R. GONCHARUK<sup>1</sup>, KIRILL M. AZARKIN<sup>1</sup>,  
DAVID A. POGOSYAN<sup>3</sup>, EMIRKHAN E. MURDALOV<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russia

<sup>2</sup> First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Department of Life Safety and Disaster Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

<sup>4</sup> MEDSI Clinic on Molodyozhnaya (Odintsovo), JSC "Medsi Group of Companies", 123056, Moscow, Russia

### Abstract

**Introduction.** Articular cartilage has a very limited capacity for self-repair; therefore, its damage often leads to irreversible changes. Various technologies have been developed for cartilage restoration, including autologous chondrocyte implantation (ACI). The method is based on culturing autologous cells that produce cartilage matrix, followed by their implantation into the articular cartilage defect.

**Objective.** Presentation of clinical cases of the first use of human autologous chondrocytes in routine practice in Russia.

**Materials and Methods.** Two clinical cases of articular cartilage defects in different anatomical locations were analyzed. The follow-up period after implantation was 4 months. During routine visits, patients underwent interviews, physical examination, range-of-motion assessment, and objective clinical evaluation. MRI of the target knee joints was performed before the first surgical intervention and 4 months after second surgery. Two surgical procedures were carried out according to the described technique, with intraoperative photographic documentation of the joint before and after autologous chondrosphere implantation.

**Results.** During the follow-up of two clinical cases with articular cartilage defects treated with implantation of autologous chondrospheres, positive early outcomes were obtained. A reduction in pain, an increase in range of motion, and an improvement in joint function were observed. Follow-up MRI of the operated knee joints at 4 months confirmed the formation of a homogeneous regenerate and satisfactory integration of the chondrospheres with the surrounding cartilage. The postoperative period was uneventful, and the patients reported an improvement in quality of life.

**Conclusion.** The use of autologous chondrospheres is a promising and effective method for repairing cartilage defects of the knee joint. The technique provides lasting improvement in joint function and morphologically confirmed cartilage regeneration.

**Key words:** autologous chondrocytes; ACI; BCP; Articular cartilage; Chondral defect; Knee osteoarthritis

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Lychagin A.V., Svistunov A.A., Kalinsky E.B., Garkavi A.V., Kavalerskiy G.M., Kudrachev T.R., Goncharuk Y.R., Azarkin K.M., Pogosyan D.A., Murdalov E.E. Clinical experience of implanting human autologous chondrocyte spheroids for the treatment of knee cartilage defects. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 53–61.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.53-61

### Введение

Повреждения суставного хряща коленного сустава представляют собой нарушения целостности хрящевого покрова, возникающие вследствие травматических или патологических процессов. Эти дефекты, как правило, локализованы в одном анатомическом отделе сустава и могут проникать вглубь гиалинового хряща, вплоть до субхондральной кости, при отсутствии выраженного генерализованного дегенеративно-дистрофического поражения сустава [1, 2]. Причиной повреждений хряща являются острая травма или хроническая микротравматизация коленного сустава. Как острое, так и хроническое повреждение ведёт к прогрессирующему разрушению этой важнейшей структуры коленного сустава и в конечном итоге способствует развитию деформирующего артроза [3, 4].

Хотя истинная частота поражений хряща неизвестна, многочисленные исследования сообщают о дефектах хряща в 60–66 % случаях всех артроскопии коленного сустава [5, 6]. По оценкам эпидемиологических исследований, в США ежегодно регистрируется около одного миллиона случаев травматических повреждений хряща коленного сустава [7]. Согласно действующим клиническим рекомендациям, утверждённым Министерством здравоохранения Российской Федерации, частота выявления хрящевых повреждений – как изолированных, так и сочетающихся с другими интраартикулярными нарушениями – составляет 14–26 % среди обследуемых пациентов, что эквивалентно более чем 975 случаям в год [8, 9].

Хрящевая ткань обладает крайне низким регенеративным потенциалом вследствие ограниченной пролиферативной активности хондроцитов и отсутствия сосудистой сети [5]. Это обусловило появление широкого спектра методов лечения, направленных на восстановление структуры и функции хряща [10]. Консервативные и малоинвазивные подходы, такие как PRP-терапия, микрофрактурирование, способны уменьшать выраженность симптомов, однако их эффективность ограничена формированием в зоне дефекта преимущественно фиброзного, а не гиалинового хряща [11, 12]. Мозаичная костно-хрящевая аутопластика подходит только для замещения дефектов малых размеров и позволяет заменить дефект участками жизнеспособного гиалинового хряща, однако не обеспечивает полной регенерации гиалинового матрикса, поскольку межблочные зоны заполняются преимущественно фиброзной или фиброгиалиновой тканью [13].

В результате такие методики нередко оказываются недостаточными для предотвращения дальнейшей дегенерации суставного хряща, что повышает риск прогрессирования заболевания, хронизации боли и ухудшения качества жизни пациентов [10,14]. Более радикальный вариант лечения – эндопротезирование сустава – хоть и обеспечивает выраженное снижение болевого синдрома и восстановление функции, не является органосберегающим вмешательством и сопряжено с риском осложнений, включая инфекции, нестабильность компонентов протеза и последующую необходимость ревизионных операций [15, 16].

На этом фоне биотехнологические методы восстановления гиалинового хряща, основанные на применении аутологичных клеточных продуктов, в частности аутологичных хондросфер, рассматриваются как одно из наиболее перспективных направлений регенеративной медицины [17]. Эти технологии направлены на формирование хрящевой ткани, по структуре и свойствам максимально приближенной к нативному гиалиновому хрящу, что потенциально позволяет добиться более стойкого клинического эффекта и замедлить прогрессирование дегенеративных изменений [18]. Впервые применение аутологичных хондроцитов в клинической практике было описано Mats Brittberg в 1994 году, и с тех пор данный подход на протяжении почти 30 лет используется в Европе [17, 19]. Настоящий отчет о клиническом опыте применения аутологичных хондросфер представляет подробное описание применения биомедицинского клеточного продукта (БМКП) Изитенс, впервые произведенного и апробированного на территории Российской Федерации.

#### **Материалы и методы исследования**

В настоящей статье описаны два клинических случая пациентов с дефектами суставного хряща различной локализации и степени выраженности. Период наблюдения

для каждого пациента составил 4 месяца после второго этапа хирургического лечения. Программа наблюдения включала контрольные визиты, в ходе которых проводился сбор жалоб, физикальное обследование, оценка функционального состояния сустава и измерение амплитуды движений. Для объективной оценки состояния хрящевой ткани всем пациентам была выполнена магнитно-резонансная томография (МРТ) целевых коленных суставов до оперативного вмешательства (на этапе планирования) и через 4 месяца после второго этапа лечения для оценки динамики. Хирургическое лечение проводилось в два этапа в соответствии с представленной методикой. Во время операций осуществлялась фотодокументация интраоперационной картины: состояния дефекта и зоны реконструкции после имплантации БМКП. В качестве БМКП использован Изитенс – сфераиды аутологичных хондроцитов человека (РУ: БМКП №1 от 12.12.2023 г.).

#### **Методика отбора пациентов для проведения клинического исследования**

Важно тщательно отбирать пациентов для проведения данной процедуры и учитывать существующие ограничения применения аутологичных хондроцитов человека при восстановлении хрящевых дефектов, включая размер и локализацию повреждения, а также сопутствующие патологии [19]. Для включения пациента в данное лечение необходимо выполнение ряда критериев, представленных ниже.

#### **Критерии включения:**

- Изолированный одиночный хрящевой дефект коленного сустава III–IV степени по классификации ICRS.

• Площадь дефекта от 1 до 10 см<sup>2</sup>.

• Возраст пациента ≥ 18 лет.

#### **Критерии исключения:**

- Прогрессирующий остеоартроз поражённого сустава (степень выше II по классификации Kellgren–Lawrence).

• Наличие признаков воспалительных заболеваний сустава (например, активных воспалительных артрапатий).

• Инфекционные заболевания: активные вирусные инфекции (гепатит В, С, ВИЧ 1/2), сифилис и другие – являются противопоказанием.

Терапия сопутствующих поражений сустава должна быть по возможности завершена до или на момент имплантации сфераидов. Лечение БМКП не рекомендуется пациентам с ожирением (индекс массы тела > 30 кг/м<sup>2</sup>).

Во время первичного осмотра проводится оценка состояния нижней конечности, включая наличие варусной или вальгусной деформации более чем на 5°, оценивают симптомы повреждения медиального или латерального мениска, признаки нестабильности коленного сустава и локальные проявления воспаления.

Для использования данной методики важно убедиться в отсутствии патологических изменений других структур коленного сустава, а также учитывать размеры и локализацию

хрящевого дефекта. Поэтому пациенту на первую клиническую консультацию необходимо прийти с результатами МРТ целевого коленного сустава. На первом визите помимо

врачебного осмотра, пациенту предоставляется время для детального ознакомления с условиями лечения.

Дизайн клинических случаев представлен на рисунке 1.

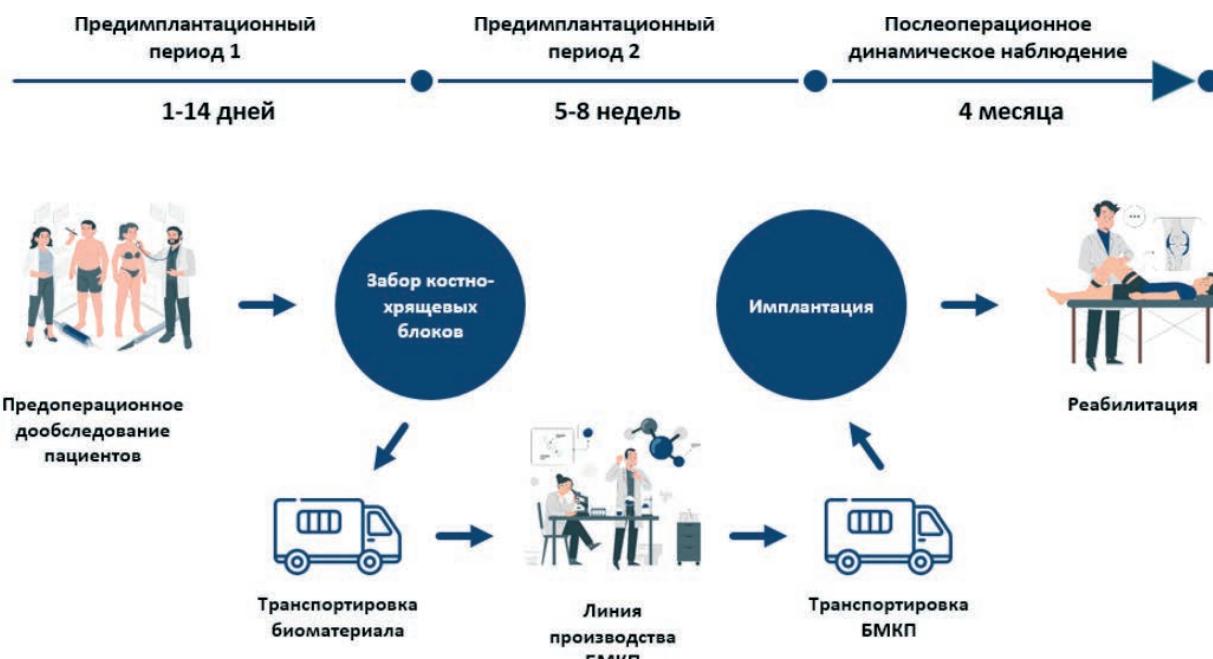


Рисунок 1. Дизайн клинических случаев

#### Методика лечения:

После выполнения полного комплекса предоперационного дообследования пациентов госпитализируют в плановом порядке для выполнения лечебно-диагностической артроскопии.

Первый этап лечения. Выполняется артроскопическая санация целевого коленного сустава. В ходе вмешательства уточняют локализацию хрящевого дефекта, проводят его измерение и определяют степень повреждения по классификации ICRS. Оценивается состояние хряща в других отделах сустава, состоятельность медиального и латерального менисков, а также передней и задней крестообразных связок. С ненагруженой зоны латерального мыщелка бедренной кости производят забор двух или трех костно-хрящевых цилиндров (в зависимости от размера хрящевого дефекта) диаметром 6 мм. В предимплантационном периоде осуществляют отбор венозной крови для последующего приготовления питательной среды. Полученные биообразцы транспортируют на специализированное лицензированное производство (АО «ГЕНЕРИУМ») продукта в соответствии с технологическим регламентом согласно установленным нормативным требованиям.

Второй этап лечения: По истечении 5–8 недель, необходимых для осуществления технологического процесса и по-

лучения БМКП [20], пациент повторно госпитализируется в отделение травматологии и ортопедии УКБ №1. Транспортировка биомедицинского клеточного продукта в клинику производится в специализированных герметичных термо-контейнерах с поддержанием требуемого температурного режима (0–10 °C).

На повторной артроскопии коленного сустава выполняется диагностический осмотр, кюретаж дефекта хряща в пределах здоровой хрящевой ткани. Одноразовый шприц объемом 1 мл, предварительно заполненный 0,9 % раствором натрия хлорида, соединяют с катетером, содержащим хондросферы (сфериоиды). Через артроскопический порт вводят катетер и осуществляют имплантацию хондросфер в область дефекта посредством постепенного выдавливания раствора из шприца. Для обеспечения адекватной адгезии культивированных сфериоидов к поверхности дефекта предусматривается экспозиция приблизительно 20 минут. По её завершении выполняют послойное ушивание операционной раны без дополнительного покрытия зоны дефекта.

В раннем послеоперационном периоде пациентам была обеспечена иммобилизация оперированной конечности. Назначена медикаментозная терапия с ограничением приема НПВС и рекомендована специализированная реабилитационная программа.



**Рисунок 2.** Катетеры, содержащие строго определённое количество хондроцитов, размещены на операционном столике в стерильных условиях, предварительно наполненные раствором хлорида натрия 0,9%. Введение БМКП через один из артроскопических портов.

Клиническое наблюдение пациентки с хрящевым дефектом надколенника:

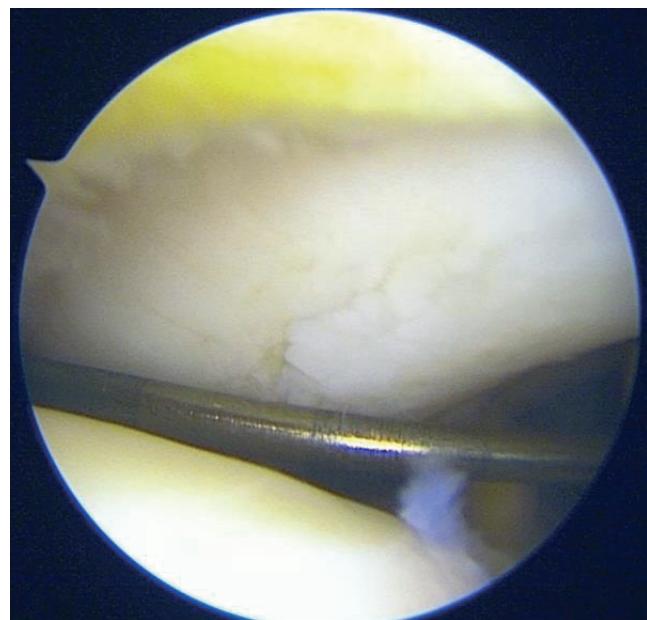
Пациентка С.А.А., 43 года, считает себя больной с 2015 года, когда начал беспокоить дискомфорт и боль в левом коленном суставе. Травматический эпизод отрицает, консервативной терапии не получала; хирургических вмешательств на коленном суставе ранее не проводилось. В связи с усилением болевого синдрома пациентка самостоятельно прошла МРТ-исследование левого коленного сустава и обратилась за консультацией в лечебно-диагностическое отделение УКБ № 1 Сеченовского университета. На основании клинического осмотра, а также данных рентгенографии и МРТ было рекомендовано двухэтапное восстановление хрящевого дефекта левого коленного сустава с применением БМКП. Пациентка была приглашена для госпитализации в предимплантационный период.

На рентгенографии не выявлено признаков костно-травматической патологии. На МРТ левого коленного сустава от марта 2025 – хрящевой дефект медиальной фасетки надколенника размером 13 мм × 40 мм (Рисунок 3).



**Рисунок 3.** МРТ дефекта хряща левого надколенника в сагиттальном и аксиальных проекциях

На первом этапе пациентка была госпитализирована в отделение травматологии и ортопедии УКБ №1 Сеченовского университета для проведения диагностической артроскопии левого коленного сустава с забором костно-хрящевых фрагментов. При артроскопическом исследовании выявлен хрящевой дефект медиальной фасетки надколенника размерами  $15 \times 41$  мм ( $6,15 \text{ см}^2$ ) с неровными краями; других дефектов хряща и структурных повреждений коленного сустава не обнаружено (Рисунок 4). Для последующего клеточного культивирования выполнен забор биоматериала – трёх костно-хрящевых цилиндров диаметром 6 мм. Проведён обильный лаваж сустава, после чего произведено послойное ушивание операционной раны и наложение асептической повязки. Пациентка была выпisана на следующий день после контрольной перевязки с рекомендациями, соответствующими стандартному послеоперационному ведению после артроскопических вмешательств.



**Рисунок 4.** Повреждение хряща левого надколенника на первой артроскопии коленного сустава

Во время второй госпитализации пациентки было проведено предоперационное обследование и осмотр лечащим врачом. Выполнена хондропластика левого надколенника. Лежа на спине, под пневматическим турникетом выполнен медиальный линейный парапателлярный миниинвазивный (длиной около 6 см) хирургический доступ к левому коленному суставу. Дефект хряща медиальной суставной фасетки подготовили для имплантации хондроцитов с окончательными размерами дефекта хряща надколенника после кюретажа – 20 мм × 15 мм (площадь  $6,15 \text{ см}^2$ ). Было использовано достаточное количество хондроцитов из расчета 30 сфероидов на  $1 \text{ см}^2$  (см. рис. 5). Согласно протоколу вы-

держанна экспозиция БМКП в течение 20 минут, после чего последовало послойное ушивание раны. Иммобилизации прооперированной нижней конечности в ортезе. Ей также были даны рекомендации по дальнейшей реабилитации.



Рисунок 5. Имплантация хондросфер на поверхность дефекта хряща надколенника

Визит пациентки через 4 месяца после хондропластики аутологичными хондроцитами

При осмотре левый коленный сустав обычной конфигурации, без отека. Движения в суставе в полном объеме, свободные и безболезненные. Выпота в суставе не обнаружено. На передней поверхности левого коленного сустава видны рубцы после операционного вмешательства, без признаков активного воспаления.

Выполнено МРТ исследование левого коленного сустава для оценки заполненности дефекта хряща надколенника регенератором (Рисунок 6).

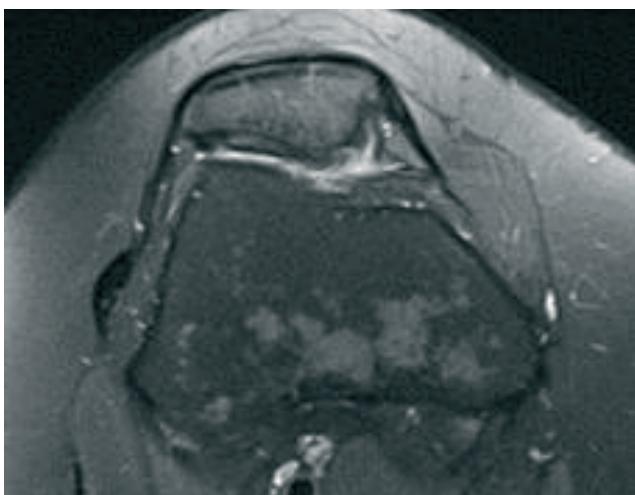


Рисунок 6. МРТ исследование левого коленного сустава и зарастание дефекта хрящевой ткани суставной поверхности надколенника

#### **Клинический пример с дефектом хряща бедренной кости:**

Пациент М.Р.Р., 48 лет, считает себя больным с 2022 года, когда во время физической нагрузки почувствовал боль

в правом коленном суставе. Оперативные вмешательства на целевом коленном суставе ранее не проводились. В связи с усилением болевого синдрома самостоятельно выполнил МРТ, обратился за консультацией в лечебно-диагностическое отделение УКБ №1 Сеченовского Университета. Было рекомендовано двухэтапное восстановление хрящевых и костно-хрящевых дефектов правого коленного сустава с применением БМКП.

При клиническом осмотре выявлено ограничение объема движений с амплитудой сгибания–разгибания от 15° до 100°. Симптомы повреждения латерального мениска – отрицательные, однако с медиальной стороны отмечается болевой синдром при проведении тестов Мак-Мюррея и Апли; признаков нестабильности коленного сустава, а также локальных проявлений воспаления не обнаружено. По данным рентгенографии признаков костно-травматической патологии не выявлено; определяется умеренное сужение медиальной суставной щели. МРТ-исследование выявило хрящевой дефект медиального мышцелка бедренной кости размерами 25 мм × 20 мм (площадь 5 см<sup>2</sup>) и разрыв в области заднего рога медиального мениска (Рисунок 7).

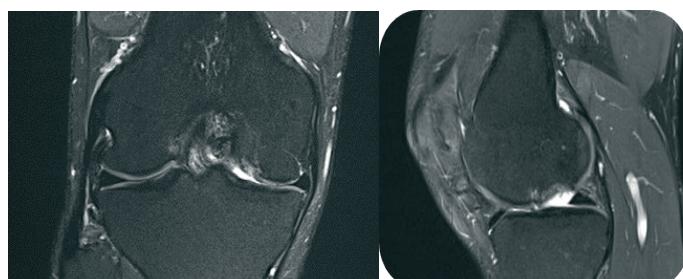


Рисунок 7. Изображения снимков фронтального и сагittalного срезов с демонстрацией дефекта в области медиального мышцелка правой бедренной кости

На первом этапе лечения, в ходе артроскопии правого коленного сустава, был выявлен хрящевой дефект, проведена его визуальная оценка и определены размеры – 5,5 см<sup>2</sup> (Рисунок 8), отмечен мульти направлений разрыв тела и заднего рога медиального мениска. Повреждений хряща другой локализации не выявлено. Дно дефекта подвергнуто тщательной обработке в соответствии с хирургическим протоколом, частично резецированы тело и задний рог медиального мениска правого коленного сустава. Выполнено взятие трех костно-хрящевых блоков с ненагружающей поверхности межмышцелкового отдела латерально-го мышцелка правой бедренной кости 6 мм. Пациент был выпущен на следующий день после проведения контрольной перевязки, получив стандартные рекомендации, предусмотренные для послеоперационного периода после артроскопического вмешательства.

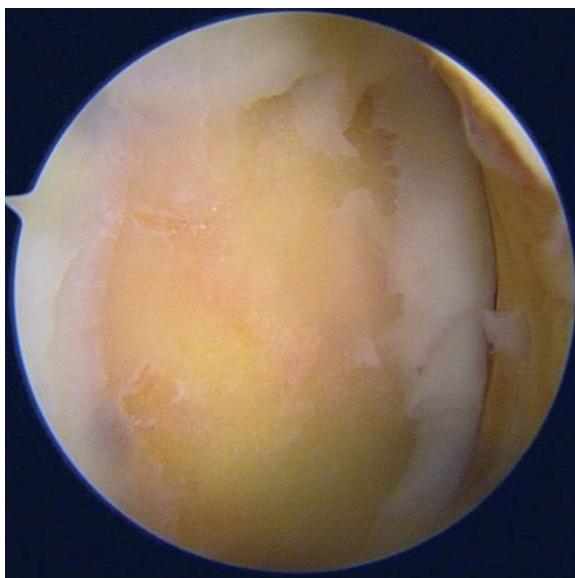


Рисунок 8. Снимок до обработки поверхности дефекта хрящевой ткани медиального мышцелка, который заполнен фиброзоподобной тканью

Через пять недель после первичной артроскопии правого коленного сустава пациент был приглашён для проведения повторного артроскопического вмешательства с целью имплантации биомедицинского клеточного продукта аутологичных хондроцитов в область хрящевого дефекта медиального мышцелка бедренной кости. Новых визуальных изменений по сравнению с данными первой артроскопии выявлено не было. После ревизии структур коленного сустава выполнили обработку дефекта до уровня субхондральной кости, затем осуществлена имплантация клеточного продукта в соответствии с ранее описанной методикой (Рисунок 9).



Рисунок 9. Аутологичные хондросфера распределены на поверхности дефекта хряща медиального мышцелка бедренной кости

Пациент был выписан на второй день после оперативного вмешательства, после проведения контрольной перевязки послеоперационных ран и выполнения иммобилизации оперированной конечности с использованием ортеза. Пациенту предоставлены подробные рекомендации по дальнейшему реабилитационному ведению.

Осмотр пациента через 4 месяца после пластики дефекта хряща медиального мышцелка правой бедренной кости

При клиническом осмотре область правого коленного сустава обычной конфигурации. Объем активных и пассивных движений в правом коленном суставе в пределах физиологической нормы. Выпота в полости коленного сустава не выявлено. На передней поверхности прооперированного коленного сустава рубцы в типичных местах наложения артроскопических портов, без признаков воспаления. Участков локальной гиперемии, гипертермии, флюктуации в области коленного сустава не выявлено.

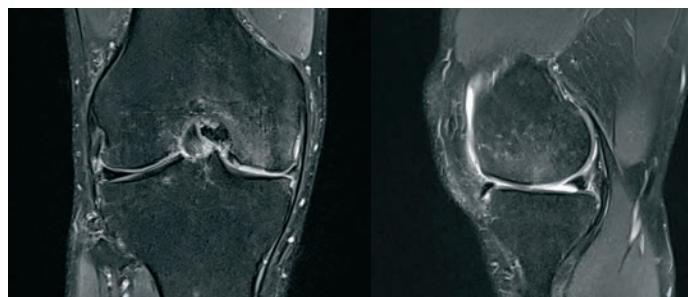


Рисунок 10. МРТ снимки хрящевой ткани суставной поверхности коленного сустава для выявления участков заращения у пациента с дефектом хряща левой бедренной кости

Таким образом, в обоих клинических случаях отмечена положительная динамика восстановления функции коленного сустава в течение 4-месячного периода наблюдения. Пациенты последовательно демонстрировали снижение выраженности болевого синдрома, улучшение походки и увеличение амплитуды движений в поражённом суставе. По данным физикального обследования уже к 4-му месяцу после вмешательства отмечалось восстановление полного или близкого к полному объёма движений, отсутствие признаков воспалительной реакции и удовлетворительное состояние мягкотканых структур.

Контрольные МРТ, выполненные через 4 месяца после первой операции, показали формирование однородного регенерата в зоне имплантации сфероидов аутологичных хондроцитов, соответствующее снижению дефекта суставного хряща. Отмечалась хорошая интеграция новообразованной хрящевой ткани с прилежащими структурами, отсутствие признаков нестабильности или дегенеративных изменений.

Оба пациента удовлетворительно перенесли вмешательства, ранний послеоперационный период протекал без ос-

ложнений. Пациенты соблюдали предложенный протокол реабилитации и отмечали улучшение качества жизни уже к 4 месяцу наблюдения.

### Заключение

Применение представленного в статье БМКП на основе сфериодов аутологичных хондроцитов сопровождается преимущественным формированием гиалинового хряща с морфологическими характеристиками, приближенными к нативным тканям. Данная методика относится к третьему поколению аутологичных хондроцитов и не требует использования периостального лоскута, мембранны, клея или иных средств для дополнительной фиксации имплантируемого материала. Кроме того, вмешательство может выполняться как малоинвазивно – артроскопически, так и традиционным способом – через артrotомию. Существенным преимуществом является индивидуальное изготовление и персонализированное применение клеточного продукта, что минимизирует риски иммунологического отторжения и инфицирования.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными МРТ исследованиями хрящевой ткани, что подтверждает положительную динамику восстановления хрящевой поверхности в течение наблюдавшегося периода. Представленные в статье данные свидетельствуют о клинической и морфологической эффективности имплантации сферидов аутологичных хондроцитов для лечения дефектов хряща коленного сустава.

### Список литературы / References:

- Buckwalter JA, Mankin HJ. Articular cartilage: degeneration and osteoarthritis, repair, regeneration, and transplantation. *Instr Course Lect.* 1998; 47: 487–504.
- Hunziker EB. Articular cartilage repair: basic science and clinical progress. A review of the current status and prospects. *Osteoarthritis Cartilage.* 2002 June; 10 (6): 432–63. <https://doi.org/10.1053/joca.2002.0801>
- Houck DA, Kraeutler MJ, Belk JW, Frank RM, McCarty EC, Bravman JT. Do Focal Chondral Defects of the Knee Increase the Risk for Progression to Osteoarthritis? A Review of the Literature. *Orthop J Sports Med.* 2018 Oct; 6 (10): 2325967118801931. <https://doi.org/10.1177/2325967118801931>
- Wang Y, Ding C, Wluka AE, Davis S, Ebeling PR, Jones G, et al. Factors affecting progression of knee cartilage defects in normal subjects over 2 years. *Rheumatology (Oxford).* 2006 Jan 1; 45 (1): 79–84. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kei108>
- Flanigan DC, Harris JD, Trinh TQ, Siston RA, Brophy RH. Prevalence of chondral defects in athletes' knees: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Oct; 42 (10): 1795–801. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9eea0>
- Frank RM, Cotter EJ, Nassar I, Cole B. Failure of Bone Marrow Stimulation Techniques. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2017 Mar; 25 (1): 2–9. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000134>
- Merkely G, Ackermann J, Lattermann C. Articular Cartilage Defects: Incidence, Diagnosis, and Natural History. *Operative Techniques in Sports Medicine.* 2018 Sept 1; 26 (3): 156–61. <https://doi.org/10.1053/j.otsm.2018.06.008>
- Arøen A, Løken S, Heir S, Alvik E, Ekeland A, Granlund OG, et al. Articular cartilage lesions in 993 consecutive knee arthroscopies. *Am J Sports Med.* 2004; 32 (1): 211–5. <https://doi.org/10.1177/0363546503259345>
- Legalacts [Internet]. [cited 2025 Nov 30]. "Клинические рекомендации "Повреждения хряща коленного сустава" (одобрены Минздравом России). Available from: <https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-povrezhdenija-khrjashcha-kolennogo-sustava-utv-minzdravom-rossii/> [Legalacts [Internet]. [cited 2025 Nov 30]. "Klinicheskie rekomendatsii "Povrezhdeniya khryashcha kolennogo sustava" (odobreny Minzdravom Rossii). Available from: <https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-povrezhdenija-khrjashcha-kolennogo-sustava-utv-minzdravom-rossii/> ]
- Lee DH, Kim SJ, Kim SA, Ju G ik. Past, present, and future of cartilage restoration: from localized defect to arthritis. *Knee Surg & Relat Res.* 2022 Jan 28; 34 (1): 1. <https://doi.org/10.1186/s43019-022-00132-8>
- Borodi PG, Russu OM, Feier AM, Georgeanu VA, Zuh SG, Pop TS. Is Microfracture Alone Enough? *Applied Sciences.* 2021 Jan; 11 (16): 7309. <https://doi.org/10.3390/app11167309>
- Boffa A, Previtali D, Altamura SA, Zaffagnini S, Candrian C, Filardo G. Platelet-Rich Plasma Augmentation to Microfracture Provides a Limited Benefit for the Treatment of Cartilage Lesions: A Meta-analysis. *Orthop J Sports Med.* 2020 Apr 21; 8 (4): 2325967120910504. <https://doi.org/10.1177/2325967120910504>
- DiBartola AC, Everhart JS, Magnussen RA, Carey JL, Brophy RH, Schmitt LC, et al. Correlation between histological outcome and surgical cartilage repair technique in the knee: A meta-analysis. *The Knee.* 2016 June 1; 23 (3): 344–9. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.01.017>
- Куляба Т.А., Банцер С.А., Трачук П.А., Воронцова Т.Н., Корнилов Н.Н. Эффективность различных хирургических методик при лечении локальных повреждений хряща коленного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2020; 26 (3): 170–81. [Kulyaba T.A., Bantser S.A., Trachuk P.A., Vorontsova T.N., Kornilov N.N. Ehffektivnost' razlichnykh khirurgicheskikh metodik pri lechenii lokal'nykh povrezhdenii khryashcha kolennogo sustava (obzor literatury). *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 2020; 26 (3): 170–81.]
- Rivièvre C, Iranpour F, Auvinet E, Howell S, Vendittoli PA, Cobb J, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017 Nov; 103 (7): 1047–56. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.07.010>
- Lum ZC, Holland CT, Meehan JP. Systematic review of single stage revision for prosthetic joint infection. *World J Orthop.* 2020 Dec 18; 11 (12): 559–72. <https://doi.org/10.5312/wjo.v11.i12.559>
- Na Y, Shi Y, Liu W, Jia Y, Kong L, Zhang T, et al. Is implantation of autologous chondrocytes superior to microfracture for articular-cartilage defects of the knee? A systematic review of 5-year follow-up data. *Int J Surg.* 2019 Aug; 68: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2019.06.007>
- Zoricheva A.C., Zvonova E.A., Agapova L.S., Lykova M.C., Markova O.A., Leonov V.S. Опыт производства и клинического применения биомедицинского клеточного продукта Изитенс® для восстановления повреждений хрящевой ткани коленного сустава человека. *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение.* 2024; 24 (2): 172-187. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2024-24-2-172-187> [Zoricheva A.S., Zvonova E.A., Agapova L.S., Lykova M.S., Markova O.A., Leonov V.S. Opyt proizvodstva i klinicheskogo primeneniya biomeditsinskogo kletochnogo produkta IzitenS® dlya vosstanovleniya povrezhdenii khryashchey tkani kolennogo sostava cheloveka. *BIO-preparaty. Profilaktika, diagnostika, lechenie.* 2024; 24 (2): 172-187. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2024-24-2-172-187> ]

19. Cabell GH, Hurley ET, Danilkowicz RM, Brittberg M, Flanigan DC, Kon E, et al. Chondrocyte-based approaches and scaffolds for knee cartilage injuries - an international Delphi consensus statement. *Journal of Cartilage & Joint Preservation*. 2024 Sept 1; 4 (3, Supplement): 100200. <https://doi.org/10.1016/j.jcjp.2024.100200>

20. Hulme CH, Perry J, McCarthy HS, Wright KT, Snow M, Mennan C, et al. Cell therapy for cartilage repair. *Emerg Top Life Sci*. 2021 Aug 23; 5 (4): 575–89. <https://doi.org/10.1042/ETLS20210015>

#### Авторы:

**Лычагин Алексей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: dr.lychagin@mail.ru ; ORCID: 0000-0002-2202-8149

**Свистунов Андрей Алексеевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор института цифрового биодизайна и искусственного интеллекта в медицине, руководитель проектного офиса центра "Цифрового биодизайна и персонализированного здравоохранения", первый проректор ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: svistunov\_a\_a@staff.sechenov.ru;

**Калинский Евгений Борисович** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) , Москва, 119991, Россия. E-mail: kalinsky\_e\_b@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-8103-5613

**Гаркави Андрей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: avgar22@yandex.ru;

**Геннадий Михайлович Кавалерский** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail: gkavalerskiy@mail.ru

**Кудрачев Тагир Радикович** – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: kudrachev\_t\_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-5483-0750

**Гончарук Юлия Романовна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: goncharuk\_yu\_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

**Азаркин Кирилл Михайлович** – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: wilopt@mail.ru; ORCID: 0009-0005-4882-3553

**Погосян Давид Артурович** – ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: david.pogos.41@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0620-0014

**Мурдалов Эмирхан Эмирович** – врач-травматолог-ортопед, Клиника МЕДСИ на Молодежной (Одинцово), АО «Группа компаний МЕДСИ», 123056, г. Москва, Россия. E-mail: murdalov.emirhan1996@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3065-5123

#### Автор, ответственный за переписку:

**Кудрачев Тагир Радикович**, E-mail: kudrachev\_t\_r@staff.sechenov.ru

#### Authors:

**Alexey V. Lychagin** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: dr.lychagin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

**Andrey A. Svistunov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Digital Biodesign and Artificial Intelligence in Medicine, Head of the Project Office of the Center for Digital Biodesign and Personalized Healthcare, First Vice-Rector of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: svistunov\_a\_a@staff.sechenov.ru

**Andrey V. Garkavi** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery I.M.Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russia, E-mail: avgar22@yandex.ru

**Eugene B. Kalinsky** – Doctor of Medical Sciences, Docent, Professor at Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: kalinsky\_e\_b@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-8103-5613

**Gennady M. Kavalersky**, Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail gkavalerskiy@mail.ru

**Tagir R. Kudrachev** – Candidate of Medical Sciences, assistant of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: kudrachev\_t\_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-5483-0750

**Yuliya R. Goncharuk** – Candidate of Medical Sciences, Associate professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: goncharuk\_yu\_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

**Kirill M. Azarkin** – assistant of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: wilopt@mail.ru; ORCID: 0009-0005-4882-3553

**David A. Pogosyan** – assistant of the Department of Life Safety and Disaster Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: david.pogos.41@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0620-0014

**Emirkhan E. Murdalov** – trauma and orthopedic surgeon, MEDSI Clinic on Molodyozhnaya (Odintsovo). E-mail: murdalov.emirhan1996@gmail.com; ORCID: 00000003-3065-5123

#### Corresponding author:

**Tagir R. Kudrachev**, E-mail: kudrachev\_t\_r@staff.sechenov.ru

УДК 617.587-007.24

© Леонова С.Н., Усольцев И.В., Косарева М.А., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТЕОТОМИИ ПО HELAL ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ МОЛОТКООБРАЗНОГО ПАЛЬЦА СТОПЫ

С.Н. ЛЕОНОВА, И.В. УСОЛЬЦЕВ, М.А. КОСАРЕВА\*

ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», Иркутск, 664003, Российская Федерация

### Аннотация

**Введение.** Разнообразие видов статических деформаций малых пальцев стопы и отсутствие единого перечня объективных показателей деформации затрудняют классификацию и влияют на результаты лечения. Проведение тщательного анализа исходов оперативного лечения молоткообразного пальца стопы с использованием определенной методики позволит приблизиться к решению обозначенных проблем.

**Цель исследования:** провести анализ результатов использования остеотомии по Helal для коррекции молоткообразного второго пальца стопы.

**Материалы и методы.** Анализу были подвергнуты собственные результаты применения остеотомии по Helal в 2018–2020 годах у 40 пациентов с односторонней статической деформацией стопы, клиническим проявлением которой являлся молоткообразный второй палец в сочетании с отклоненным книзу первым пальцем (hallux valgus).

**Результаты.** Использование нами остеотомии по Helal позволило добиться полной коррекции нефиксированного молоткообразного второго пальца стопы у 70 % пациентов, улучшить показатели клинического и функционального состояния второго пальца, привело к неблагоприятным исходам в виде: остаточной деформации второго пальца в 30 % случаев, тугоподвижности в втором плюснефаланговом суставе в 27,5 % случаев, переходной метатарзалии в 7,5 % случаев, что указывает на недостаточную эффективность метода. Установлено, что основной причиной образования остаточной деформации второго пальца являются ограниченные в пределах  $18,67 \pm 3,27$  градусов репозиционные возможности остеотомии по Helal, которые не позволяют полностью устранить переразгибание пальца в плюснефаланговом суставе, особенно при большой величине угла тыльного отклонения.

**Заключение.** Использование остеотомии по Helal для коррекции молоткообразного пальца стопы является недостаточно эффективным методом. Необходима разработка перечня объективных клинических, рентгенологических, функциональных показателей, которые позволят классифицировать деформацию стопы, выбрать наиболее эффективный метод лечения и оценить результаты его применения.

**Ключевые слова:** молоткообразный палец стопы; угол тыльного отклонения (ТО); остеотомия по Helal.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Леонова С.Н., Усольцев И.В., Косарева М.А. результаты использования остеотомии по helal для хирургической коррекции молоткообразного пальца стопы. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 62–70.

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

## RESULTS OF USING HELAL OSTEOTOMY FOR SURGICAL CORRECTION OF THE HAMMER TOE

LEONOVA S.N., USOLTSEV I.V., KOSAREVA M.A.\*

Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, Irkutsk, 664003, Russian Federation Report

### Abstract

**Introduction.** The variety of types of small toes static deformities and the absence of a unified list of objective deformity indicators complicate its classification and affect on treatment outcomes. Thorough analysis of the hammer toe surgical treatment outcomes using a specific technique will allow us to solve these problems. The purpose of the study: to analyze the results of using Helal osteotomy for correction of the hammer second toe.

**Materials and methods.** Between 2018 and 2020, we performed Helal osteotomy in 40 patients with unilateral static foot deformity. These patients had a hammer toe in combination with hallux valgus. The results of the operations were analyzed in the study.

**Results.** The use of Helal osteotomy allowed achieving complete correction of the hammertoe deformity of the second toe in 70% of patients. This led to an improvement in the clinical and functional parameters of the second toe. However, residual deformation of the toe was observed in 30% of cases, stiffness in the second metatarsophalangeal joint in 27.5 % of cases, and transitional metatarsalgia in 7.5% of cases. This indicates the insufficient effectiveness of the method. The main reason for the residual deformation of the second toe is the limited capabilities of the Helal osteotomy. These

capabilities allow correcting hyperextension of the toe in the metatarsophalangeal joint only within  $18.67 \pm 3.27$  degrees. This is especially noticeable with a large angle of dorsal deviation.

**Conclusion.** The Helal osteotomy used to correct hammer toe deformities does not always produce the desired result. To more accurately select a treatment strategy and evaluate its success, it is necessary to develop a set of objective criteria based on clinical, radiographic and functional data. These criteria will allow classifying foot deformities, selecting the optimal treatment method and evaluating its effectiveness.

**Key words:** hammer-shaped toe; angle of dorsal deviation (TO); Helal osteotomy.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Leonova S.N., Usoltsev I.V., Kosareva M.A. results of using helal osteotomy for surgical correction of the hammer toe. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 62–70.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.62-70

## Введение

При изучении проблем, связанных с хирургическим лечением статических деформаций переднего отдела стопы, обращает на себя внимание, с одной стороны, разнообразие видов деформаций, с другой – отсутствие точного и единого перечня объективных показателей, позволяющих классифицировать каждую деформацию, а также оценить результат лечения. Так при наличии такого распространенного вида статической деформации стопы, как молоткообразный палец, на наш взгляд, важно учитывать: возможность осуществить разгибание пальца в проксимальном межфаланговом суставе (ПМФС), сгибания в плюснефаланговом суставе (ПФС), чтобы установить фиксированность и ригидность деформации, стабильность пальца в ПФС, наличие гиперкератозов на вершинах деформации пальца, перегрузочной метатарзалии, отклонение пальца в фронтальной плоскости в ПФС или в ПМФС, длину плюсневой кости и высоту положения ее головки относительно соседних плюсневых костей, объем движений в ПФС и ПМФС пальца, величины углов деформации пальца, опороспособность пальца и другие показатели. В свою очередь, правильная оценка показателей деформации будет способствовать выбору наиболее эффективного метода лечения.

Применение остеотомий плюсневых костей по Weil и по Helal позволяет осуществить коррекцию молоткообразного пальца стопы за счет достижения укорочения плюсневой кости и смещения ее головки. Остеотомия по Weil выполняется чаще других остеотомий, что в определенной степени связано с несложностью ее технического исполнения и фиксации костных фрагментов. Однако, возникновение после использования данной остеотомии таких неблагоприятных исходов как «плавающий палец» в 20–50 % случаев [1, 2, 3, 4, 5], а также рецидивы метатарзалий, переходные метатарзалии, тугоподвижность в ПФС [6, 2, 7, 8, 9], обуславливают необходимость

применения других видов остеотомий. Учитывая то, что остеотомия по Helal с фиксацией фрагментов является, по нашему мнению, более патогенетически обоснованным методом коррекции молоткообразного пальца, чем остеотомия по Weil, и имеет меньший процент осложнений [10], с 2018 года мы начали применять ее в клинике.

Цель исследования: провести анализ результатов использования остеотомии по Helal для коррекции молоткообразного второго пальца стопы.

## Материалы и методы

Анализу были подвергнуты собственные результаты применения остеотомии по Helal в 2018 – 2020 годах у 40 пациентов для лечения молоткообразного второго пальца, в сочетании с hallux valgus. Женщины представляли большинство – 39 человек в возрасте  $55,33 \pm 14,25$  лет. Второй палец был нефиксированным в ПМФС, неригидным в ПФС, и не имел бокового отклонения, степень нестабильности в втором ПФС соответствовала G1 по Hamilton – Thompson. Кроме того, у пациентов имелся второй тип эластичности стопы, а деформация стопы не являлась плоско-вальгусной.

Остеотомия по Helal была использована для коррекции молоткообразного второго пальца стопы и заключалась в следующем: на тыле стопы продольным разрезом кожи производили доступ к второй плюсневой кости, выделяли ее шейку, рассекали и разводили надкостницу. В области дистального метафиза плюсневой кости выполняли косую остеотомию осциллирующей пилой, направляя полотно от тыла к подошве стопы дистально под углом сорок пять градусов. Производили смещение дистального фрагмента к тылу по плоскости остеотомии, укорачивая плюсневую кость и поднимая ее головку вверх, что позволяло разогнуть палец в ПМФС и согнуть в ПФС. В отличие от методики Helal в классическом варианте, проводили фиксацию фрагментов кости винтом [11].

Об эффективности применения остеотомии по Helal судили по результатам коррекции деформации второго пальца через год после операции, на основании сравнительного анализа клинических, функциональных и рентгенологических показателей. До настоящего времени при анализе результатов оперативного лечения различных патологий стопы ориентируются на Американскую функциональную шкалу (AOFAS). Из используемой на сегодняшний день шкалы-опросника для малых пальцев [12] нами были выбраны и интерпретированы отдельные показатели, которые позволяли дать определенную оценку клинического и функционального состояния молоткообразного пальца: болевой синдром в области его суставов; объём движений в ПФС; стабильность второго ПФС; мозоль (гиперкератоз) в области второго ПФС и ПМФС второго пальца; опороспособность второго пальца на горизонтальной поверхности.

Рентгенологическое исследование стопы пациентов проводилось в двух проекциях на аппарате Agfa DX-D 300 с соблюдением всех необходимых условий (статическая нагрузка, фокусное расстояние, угол инклинации). Основным рентгенологическим показателем, используемым для определения коррекции переразгибания пальца в ПФС, послужил угол тыльного отклонения (ТО), рассчитываемый на снимке в боковой проекции между двумя осями: плюсневой кости и проксимальной фаланги пальца.

Результаты лечения анализировали с использованием программы Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США) и Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Corp., США). Применили критерий Вилкоксона, Манна – Уитни,  $\chi^2$  Пирсона, показатель отношения шансов (ОШ). Достоверными считали результаты при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования

Для всесторонней оценки эффективности коррекции молоткообразного второго пальца стопы у 40 пациентов был проведен детальный сравнительный анализ клинических и функциональных параметров. Исследование включало сбор данных как до оперативного вмешательства, так и через 12 месяцев после его завершения. Это позволило объективно оценить динамику изменений и сделать обоснованные выводы о результатах хирургической коррекции.

В рамках предоперационного обследования у 90 % пациентов было диагностировано наличие умеренного болевого синдрома в области второго плюснефалангового сустава (ПФС) стопы, который возникал ежедневно или эпизодически после физической активности, связанной с нагрузкой на нижние конечности. Этот болевой синдром, вероятно, обусловлен воспалительными процессами, дегенеративными изменениями или структурными аномалиями в суставах. Ограничение амплитуды движений в ПФС второго пальца стопы было выявлено у всех пациентов. У 75 % пациентов наблюдалось умеренное ограничение подвижности, что соответствует диапазону движений от 30 до 74 градусов. В то же время, у 25 % пациентов отмечалось тяжелое ограничение, при котором объем движений составлял менее 30 градусов. Эти данные свидетельствуют о наличии выраженных изменений в суставах, которые могут быть связаны с артритом, остеоартрозом или другими патологическими процессами. В проксимальном межфаланговом суставе (ПМФС) второго пальца стопы пассивные движения оставались в пределах нормы, что указывает на отсутствие значительных структурных изменений в этом суставе. Однако, в 70 % случаев в области тыла ПМФС и в 27,5 % случаев в области ПФС с подошвенной стороны определялась мозоль (гиперкератоз), которая являлась следствием хронического давления и раздражения. У 90 % обследованных при полной нагрузке веса тела второй палец не касался пола, что указывает на значительное нарушение биомеханики стопы и, возможно, на наличие компенсаторных механизмов, связанных с перераспределением нагрузки на другие участки стопы. Это снижение опороспособности может быть обусловлено функциональными нарушениями, связанными с болевым синдромом и ограничением подвижности. Таким образом, предоперационное обследование выявило широкий спектр патологических изменений в суставах второго пальца стопы, которые требуют комплексного подхода к лечению и реабилитации пациентов. У остальных 10 % пациентов все пальцы стопы имели контакт с опорной поверхностью, но пациенты не могли осуществить давление вторым пальцем на опору (невыраженное снижение опороспособности).

Таблица 1

### Изменение показателей клинического и функционального состояния второго пальца стопы у пациентов после коррекции деформации (n = 40)

Показатели	Сроки наблюдения		P	
	До операции	Через 1 год после операции		
<b>1. Клинические показатели</b>				
<i>Болевой синдром в области суставов второго пальца</i>				
Нет, или лёгкий эпизодический, n (%)	4 (10)*	27 (67,5)	< 0,001	
Умеренный, ежедневный или эпизодический, n (%)	36 (90)*	13 (32,5)	< 0,001	

## Окончание Таблицы 1

Показатели	Сроки наблюдения		P
	До операции	Через 1 год после операции	
<b>Мозоль (гиперкератоз) в области второго ПФС и ПМФС второго пальца</b>			
Отсутствует или мозоль безболезненная, n (%)	12 (30) *	24 (60)	0,007
Мозоль болезненная, n (%)	28 (70) *	16 (40)	0,007
<b>2. Функциональные показатели</b>			
<i>Объём движений в втором ПФС</i>			
Норма или небольшое ограничение (75 градусов или больше), n (%)	0 (0) *	22 (55)	< 0,001
Умеренное ограничение (30–74 градуса), n (%)	30 (75) *	18 (45)	0,006
Тяжёлое ограничение (< 30 градусов), n (%)	10 (25) *	0 (0)	0,001
<i>Стабильность второго ПФС</i>			
Стабильный, n (%)	0 (0) *	40 (100) *	< 0,001
Нестабильность или способность смещаться, n (%)	40 (100) *	0 (0)	< 0,001
<i>Опороспособность второго пальца на горизонтальной поверхности</i>			
Хорошая опороспособность, n (%)	0 (0) *	22 (55)	< 0,001
Невыраженное снижение опороспособности, n (%)	4 (10)	6 (15)	> 0,05
Выраженное снижение опороспособности, n (%)	36 (90) *	12 (30)	< 0,001

При тщательном обследовании пациентов с учетом клинико-функционального состояния стопы через один год после вмешательства были получены следующие данные. В 32,5 % случаев имела место умеренная эпизодическая боль в области второго пальца, особенно при физической нагрузке (см. Таблицу 1). Объем движений в ПФС был ограничен у 45 % пациентов, из которых у 27,5 % отмечалось препятствие пассивному сгибанию и разгибанию сустава, а также признаки тугоподвижности. Стабильность второго ПФС была достигнута во всех клинических случаях. В 30 % случаев удалось успешно устранить болезненные гиперкератозы, однако у 27,5 % пациентов они сохранялись над проксимальным межфаланговым суставом (ПМФС) второго пальца, а у 12,5 % – под головкой второй плюсневой кости. Опороспособность второго пальца была полностью восстановлена у 55 % пациентов, в то время как у остальных сохранилось снижение функциональной способности. Примечательно, что в 30 % случаев была диагностирована остаточная деформация (ОД) второго пальца, отнесенная к неблагоприятным исходам. Палец занимал положение выше первого и второго пальцев, и не касался пола при ходьбе и стоя. Кроме того, была определена тугоподвижность в ПФС у 11 пациентов (27,5 %), и переходная метатарзальная гиперплазия у трех пациентов (7,5 %).

По данным рентгенологического исследования через год после операции отмечено достоверное уменьшение значений угла ТО второго пальца (Таблица 2).

Таблица 2

Изменение рентгенологического значения угла тыльного отклонения второго пальца у пациентов после коррекции деформации (n = 40)

Показатели	Сроки наблюдения		Статистическая значимость (p)
	До операции	Через 1 год после операции	
<b>Боковая проекция</b>			
Угол ТО второго пальца	56,67 ± 7,53*	38 ± 9,69	< 0,01

Примечание: критерий Вилкоксона; р – статистическая значимость различий; \* – p < 0,05.

На основании анализа различий между предоперационными и послеоперационными (через один год) значениями угла тыльного отклонения (ТО) второго пальца, мы произвели количественную оценку репозиционных возможностей остеотомии Helal в контексте коррекции избыточного разгибания в плюснефаланговом суставе (ПФС). Результаты продемонстрировали, что средний репозиционный потенциал данной методики составляет 18,67 ± 3,27 градуса.

Для выявления потенциальных факторов, способствующих развитию остаточной деформации второго пальца (наблюдалась у 30 % пациентов), было проведено сравнительное исследование предоперационных величин угла ТО в группах

пациентов с различными исходами. Так, были получены более высокие средние значения угла ТО при наличии ОД (Таблица 3). На основании полученного появилось предположение о том, что «степень» разгибания второго пальца может служить предиктором вероятности ОД.

Таблица 3

Дооперационные значения угла тыльного отклонения второго пальца стопы у пациентов с разными исходами коррекции деформации ( $n = 40$ )

Исходы коррекции деформации второго пальца	Угол ТО второго пальца (градусы)
Остаточная деформация ( $n = 12$ )	$60,50 \pm 2,35^*$
Благоприятный исход ( $n = 28$ )	$48 \pm 9,17$
Статистическая значимость ( $p$ )	$< 0,01$

Примечание: критерий Манна – Уитни;  $p$  – статистическая значимость различий; \* –  $p < 0,05$ .

У пациентов с ОД величина угла ТО до операции варьировалась от 40 до 68 градусов, из чего следовало, что угол ТО выше 40 градусов увеличивает риск ОД. Применение критерия  $\chi^2$  подтвердило статистически данную гипотезу ( $\chi^2_{\text{эмп}} = 9,8$ ;  $p < 0,05$ ). Подтвердить и количественно оценить установленную связь позволило использование показателя отношения шансов (ОШ) (Таблица 4).

Таблица 4

Распределение пациентов с разными исходами коррекции деформации в зависимости от дооперационных значений угла тыльного отклонения второго пальца ( $n = 40$ )

Значение угла ТО	Наличие остаточной деформации (исход есть)	Отсутствие остаточной деформации (исхода нет)	Всего
Угол ТО $> 40$ градусов (фактор риска есть)	11	15	26
Угол ТО $\leq 40$ градусов (фактор риска отсутствует)	1	13	14
Всего	12	28	40

При расчете показатель ОШ был равен 9,533. Проведенный анализ показал, что риск постоперационной ОД у пациентов с исходными величинами угла ТО более 40 градусов в 9,5 раз превышает таковой при меньших значениях данного угла. Методика Helal обладает потенциалом коррекции в пределах  $18,67 \pm 3,27$  градусов, при котором существует высокая вероятность ОД.

Клинический пример образования ОД после применения методики Helal.

У пациентки Б., 61 года, произошло образование молоткообразного второго пальца вследствие hallux valgus правой стопы. Клинические данные: в зоне второго ПФС непостоянная умеренная боль, болезненная мозоль на подошве, форма пальца в виде «молотка» с избыточным разгибанием в ПФС, сгибанием в ПМФС, приподнятым положением пальца над опорной поверхностью (Рисунок 1).



Рисунок 1. Исходный вид правой стопы

Функциональные нарушения второго пальца характеризовались: уменьшением объема движений в ПФС до 45 градусов, нарушением опороспособности из-за повышенного положения второго пальца и отсутствия его контакта с поверхностью опоры при ходьбе.

По данным стандартной рентгенографии стопы угол hallux valgus (M1P1) исходно равен 45 градусов (Рисунок 2), угол ТО второго пальца – 45 градусов (Рисунок 3).



Рисунок 2. Исходные данные рентгенографии правой стопы в прямой проекции



Рисунок 3. Исходные данные рентгенографии правой стопы в боковой проекции

Оперативное вмешательство у пациентки включало одновременную коррекцию деформации первого пальца по собственной методике [13] и второго пальца посредством использования остеотомии по Helal. После операции осложнений отмечено не было. В результате применения методики Helal удалось достигнуть разгибания пальца в ПМФС, устранил болезненный гиперкератоз, однако, сохранялось ограничение объема движений в ПФС. Неблагоприятным исходом операции стало образование остаточной деформации, при которой второй палец был переразогнут в ПФС и возвышался к тылу над первым и третьим пальцем, отсутствовал контакт пальца с опорой в положении стоя и при ходьбе (Рисунок 4).



Рисунок 4. Вид правой стопы через 1 год после операции

По рентгенограмме в прямой проекции было подтверждено полное устранение hallux valgus (угол M1P1= 7 градусов) (Рисунок 5). На снимке в боковой проекции угол ТО был равен 30 градусов (Рисунок 6).



Рисунок 5. Данные рентгенографии правой стопы в прямой проекции через 1 год после операции



Рисунок 6. Данные рентгенографии правой стопы в боковой проекции через 1 год после операции

Пациентку не удовлетворили результаты лечения молоткообразного второго пальца, что было связано с остаточной деформацией.

#### Обсуждение результатов

Изучение и анализ результатов хирургической коррекции нефиксированного молоткообразного второго пальца стопы позволили выявить неблагоприятные исходы применения остеотомии по Helal и их причины. Использование методики Helal позволило нам устранил установку второго пальца в виде «молотка» у всех 40 пациентов, улучшить клинические, функциональные и рентгенологические показатели. Технические возможности данного вида остеотомии позволяют осуществлять укорочение второй плюсневой кости с одновременным подъемом ее головки. Результат лечения достигается посредством восстановления сухожильно-мышечного баланса, снижения статической нагрузки на головку плюсневой кости. Однако, несмотря на эти преимущества,

мы наблюдали неблагоприятные исходы после применения остеотомии по Helal. В частности, у 30% пациентов сохранилась остаточная деформация второго пальца, у 27,5 % отмечалась тугоподвижность в ПМФС, а у 7,5 % развивалась переходная метатарзальная.

Проведение анализа неблагоприятных исходов позволило определить причины их возникновения. Так, основной причиной образования остаточной деформации являются ограниченные в пределах  $18,67 \pm 3,27$  градусов репозиционные возможности остеотомии по Helal, которые не позволяют полностью устраниć переразгибание пальца в ПФС, особенно при большой величине угла ТО. В случае, если угол ТО второго пальца до операции составляет более 40 градусов, то вероятность остаточной деформации после операции увеличивается в 9,5 раза.

Возникновение тугоподвижности в ПФС после дистальных остеотомий было отмечено в работах отечественных ученых [14]. Наше исследование послужило подтверждением того, что выполнение остеотомии в области дистального метафиза является травматичным вмешательством для ПФС, приводит к избыточному образованию рубцовой ткани и развитию тугоподвижности в втором ПФС.

Для выяснения причины развития переходной метатарзальной, клинически проявляющейся болезненностью и болью под головкой третьей плюсневой кости, пациентам была выполнена рентгенография стопы в дополнительной проекции по новой авторской технологии [15]. В результате исследования было установлено, что после операции головка третьей плюсневой кости стала располагаться ниже головок рядом расположенных второй и четвертой плюсневых костей. Это привело к перераспределению статической нагрузки на головку третьей плюсневой кости и возникновению переходной метатарзальной. Новым в проведенной работе явилось то, что нами было предложено исследование угла тыльного отклонения (ТО) второго пальца при рентгенографии стопы в боковой проекции, которое позволило оценить результаты хирургической коррекции молоткообразного пальца, и установить причину остаточной деформации. Также новым послужил расчет величины возможной коррекции избыточного разгибания второго пальца в ПФС, которая составляла не более 20 градусов (в среднем  $18,67 \pm 3,27$ ), тем самым были определены репозиционные возможности остеотомии по Helal. При значении угла ТО больше 40 градусов применение данной остеотомии может оказаться неэффективным. Важным является то, что оценка исходных значений угла ТО и знание репозиционных возможностей остеотомии позволит выбрать наиболее верную тактику или метод коррекции молоткообразного пальца, тем самым избежать образования остаточной деформации.

Для уменьшения риска развития тугоподвижности в ПФС обоснованным является выполнение остеотомии в области диафиза плюсневой кости. Чтобы избежать раз-

вития переходной метатарзальной при использовании остеотомии плюсневой кости новым подходом служит проведение перед операцией рентгенологического исследования в дополнительной проекции, позволяющего оценить взаимное положение головок плюсневых костей и применить правильную тактику.

Еще одним важным для нас моментом явились трудности при оценке результатов коррекции молоткообразного пальца по шкале-опроснику AOFAS. При наличии деформации двух пальцев стопы было затруднительно оценить результат лечения патологии каждого пальца в отдельности. Выбранные нами показатели позволили выявить клинический (болевой синдром в области суставов второго пальца, гиперкератоз в области второго ПФС и ПМФС второго пальца) и функциональный (объем движений в втором ПФС, стабильность второго ПФС, опороспособность второго пальца на горизонтальной поверхности) результат оперативного лечения молоткообразного второго пальца стопы. В научных публикациях, посвященных использованию шкалы AOFAS с целью оценки функционального состояния стопы, говорится о ее несовершенстве, необъективности, и необходимости доработки [16, 17, 18, 19]. Действительно, при оценке таких показателей, как «болевой синдром» и «ограничение активности», трудно провести параллель только с деформацией второго пальца. Так, боль в переднем отделе стопы может быть обусловлена поперечной распластанностью стопы, а физическая активность может быть ограничена в связи с наличием сопутствующей патологии, артрозом коленного, тазобедренного сустава и другим. На наш взгляд, необходимо предложить объективные, новые рентгенологические, клинические, функциональные показатели, которые позволят оценить, как саму деформацию стопы, так и результаты ее коррекции.

### **Заключение**

Таким образом, применение остеотомии второй плюсневой кости по методике Helal позволило нам достичь полной коррекции нефиксированного молоткообразного второго пальца стопы у 70 % пациентов, значительно улучшив клинические и функциональные показатели данного состояния. Однако, несмотря на достигнутые результаты, в 30% случаев наблюдалась остаточная деформация второго пальца, в 27,5 % случаев отмечалась тугоподвижность в плюснефаланговом суставе, а в 7,5 % случаев развивалась переходная метатарзальная. Эти данные свидетельствуют о недостаточной эффективности данного метода, что требует дальнейшего изучения и разработки более совершенных подходов к лечению данной патологии.

Установлено, что основной причиной образования остаточной деформации второго пальца являются ограниченные в пределах  $18,67 \pm 3,27$  градусов репозиционные возможности остеотомии по Helal, которые не позволяют полно-

стью устраниТЬ переразгибание пальца в ПФС, особенно при большой величине угла ТО.

Необходима разработка перечня объективных клинических, рентгенологических, функциональных показателей, которые позволят классифицировать деформацию стопы, выбрать наиболее эффективный метод лечения и оценить результаты его применения.

#### Список литературы / References:

1. Miguez A, Slullitel G, Bilbao F, Carrasco M, Solari G. Floating-toe deformity as a complication of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2004 Sep; 25(9): 609-13. <https://doi.org/10.1177/107110070402500902>. PMID: 15563380
2. Highlander P, VonHerbulis E, Gonzalez A, Britt J, Buchman J. Complications of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Spec.* 2011 Jun; 4(3): 165-70. <https://doi.org/10.1177/1938640011402822>. Epub 2011 Apr 13. PMID: 21490179.
3. Черевцов В.Н., Блаженко А.Н., Богданов С.Б., Киреев В.С., Горюхов А.В. Сравнительный анализ результатов лечения многоглоскостной статической деформации передних отделов стопы, сопровождающейся неригидной молоткообразной деформацией второго пальца различными методами. *Гений ортопедии.* 2022; 28(3): 361-366. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-361-366>. EDN HTWVWT. [V.N. Cherevcov, A.N. Blazhenko, S.B. Bogdanov, V.S. Kireev, A.V. Gorohov Comparative analysis of the results of treatment of multiplanar static deformity of the forefoot, accompanied by non-rigid hammertoe deformity of the second toe by various methods *Genij ortopedii.* 2022; 28 (3): 361-366. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-361-366>. EDN HTWVWT. (In Russian)]
4. Uritani D, Sakamoto C, Fukumoto T. Effect of floating toes on knee and trunk acceleration during walking: a preliminary study. *J. Phys. Ther. Sci.* 2017; 29 (2): 361-364. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.361>.
5. Kurihara T, Yamauchi J, Otsuka M, Tottori N, Hashimoto T, Isaka T. Maximum toe flexor muscle strength and quantitative analysis of human plantar intrinsic and extrinsic muscles by a magnetic resonance imaging technique. *J Foot Ankle Res.* 2014 May 5; 7: 26. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-7-26> PMID: 24955128; PMCID: PMC4049512.
6. Сравнение результатов Хелал и Вейль остеотомии для лечения метатарзалии при вторичном вывихе в плюснефаланговых суставах 2, 3 и 4 плюсневых костей. А. А. Тадж, В. Г. Процко, В. Н. Черевцов, А. В. Волков. *Дневник Казанской медицинской школы.* 2017; 3 (17): 54-61. [ Tadzh, V. G. Procko, V. N. Cherevcov, A. V. Volkov Comparison of the results of helical and lateral osteotomies for the treatment of metatarsal fractures in secondary metatarsal joints of the 2nd, 3rd and 4th metatarsal bones] *Dnevnik Kazanskoy medicinskoy shkoly.* 2017; 3 (17): 54-61. (In Russian)]
7. Konkel KE, Sover ER, Menger AG, Halberg JM. Hammer toe correction using an absorbable pin. *Foot Ankle Int.* 2011 Oct; 32 (10): 973-8. <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0973>. PMID: 22224327.
8. Losa Iglesias ME, Becerro de Bengoa Vallejo R, Jules KT, Trepal MJ. Meta-analysis of flexor tendon transfer for the correction of lesser toe deformities. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2012 Sep-Oct; 102(5): 359-68. <https://doi.org/10.7547/1020359>. PMID: 23001729.
9. Зазірний, І. М. Метатарзалгія: патогенез, біомеханіка і хірургічне лікування І. М. Зазірний, Д. Р. Близнюк-Ходоровський. *Травма.* 2020;
- 21 (4): 57-64. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.21.2020.213063> EDN QPFGIX.[ Zazirnij, I. M. Metatarsalgia: pathogenesis, biomechanics and surgical treatment] *Travma.* 2020; 21 (4): 57-64. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.21.2020.213063> EDN QPFGIX. (in Ukrainian)]
10. Harwin SF, Charen DA, Markowitz JS, et al. Overview of Metatarsalgia. *Orthopedics.* 2019; 42(1): e138-e143. <https://doi.org/10.3928/01477447-20181206-06>
11. Trnka HJ, Mühlbauer M, Zettl R, Myerson MS, Ritschl P. Comparison of the results of the Weil and Helal osteotomies for the treatment of metatarsalgia secondary to dislocation of the lesser metatarsophalangeal joints. *Foot Ankle Int.* 1999 Feb; 20(2): 72-9. <https://doi.org/10.1177/107110079902000202> PMID: 10063974.
12. Гуди, С. М. Хирургическая коррекция фиксированной молоткообразной деформации малых пальцев стопы: дис. .... канд. мед. Наук. Гуди Сергей Михайлович. Новосибирск, 2020: 128 [Gudi, S. M. Surgical correction of fixed hammertoe deformity of the small toes: diss. .... Cand. of Medicine Novosibirsk, 2020: 128. (In Russian)]
13. Леонова, С. Н. Способ оперативного лечения вальгусного отклонения первого пальца стопы: медицинская технология. С. Н. Леонова, И. В. Усольцев. Иркутск: ИНЦХТ, 2016: 20. [ S. N. Leonova, I. V. Usol'cev Method of surgical treatment of hallux valgus: medical technology] Irkutsk: INCHT, 2016: 20. (In Russian)]
14. Черевцов В. Н., Тадж А. А., Процко В. Г., Тамоев С. К. Лечение синдрома центральной метатарзалии. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки.* 2017; 7-8: 139-144. [V. N. Cherevcov, A. A. Tadzh, V. G. Procko, S. K. Tamoev Lechenie sindroma central'noj metatarzalzgii [Treatment of central metatarsalgia syndrome] Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2017; 7-8: 139-144. (In Russian)]
15. Леонова С. Н., Усольцев И. В., Косарева М. А., Поздеева Н. А. Способ определения положения головок плюсневых костей : методические рекомендации по применению новой медицинской технологии. Иркутск : ИНЦХТ, 2023: 20. [S. N. Leonova, I. V. Usol'cev, M. A. Kosareva, N. A. Pozdeeva. Sposob opredelenija polozenija golovok pljusnevyh kostej: metodicheskie rekomeniacii po primeneniyu novoj medicinskoj tehnologii [Method for determining the position of the heads of the metatarsal bones: guidelines for the use of a new medical technology] Irkutsk: INCHT, 2023; 20. (In Russian)]
16. Мо Ц., Ригин Н.В., Бобров Д.С., Слиняков Л.Ю., Анкеты и шкалы для оценки состояния стопы и голеностопного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2016; 4 (20): 5-11 [Mo TS., Rigin N.V., Bobrov D.S., Slinyakov L.YU. Ankety i shkaly dlya otsenki sostoyaniya stopy i golenostopnogo sustava. Kafedra travmatologii i ortopedii 2016; 4(20): 5-11.]
17. Baumhauer, J.F., et al., Reliability and validity of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Clinical Rating Scale: a pilot study for the hallux and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 2006; 27 (12): 1014-9. <https://doi.org/10.1177/107110070602701202>
18. Pinsker, E. and T.R. Daniels, AOFAS Position Statement Regarding the Future of the AOFAS Clinical Rating Systems. *Foot & Ankle International.* 2011; 32 (09): 841-842. <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0841>
19. Chan HY, Chen JY, Zainul-Abidin S, Ying H, Koo K, Rikhraj IS. Minimal Clinically Important Differences for American Orthopaedic Foot & Ankle Society Score in Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int.* 2017 May; 38(5): 551-557. <https://doi.org/10.1177/1071100716688724>. Epub 2017 Feb 13. PMID: 28193121.

Авторы:

**Леонова Светлана Николаевна**, д.м.н, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», ул. Борцов Революции, д. 1, г. Иркутск, 664003, Россия

e-mail: svetlana.leonova.1963@mail.ru

**Усольцев Иван Владимирович**, к.м.н, научный сотрудник ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», ул. Борцов Революции, д. 1, г. Иркутск, 664003, Россия

e-mail: ivu38@mail.ru

**Косарева Мария Анатольевна**, к.м.н, младший научный сотрудник ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», ул. Борцов Революции, д. 1, г. Иркутск, 664003, Россия

e-mail: mary.good.mary@yandex.ru

**Автор, ответственный за переписку:**

**Косарева Мария Анатольевна** +79642135170 mary.good.mary@yandex.ru

Authors:

**Surgery and Traumatology**, 1 Bortsov Revolyutsii str., Irkutsk, 664003, Russia

e-mail: svetlana.leonova.1963@mail.ru

**Usoltsev Ivan V.**, PhD in Medicine, Researcher, Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, 1 Bortsov Revolyutsii str., Irkutsk, 664003, Russia

e-mail: ivu38@mail.ru

**Kosareva Maria A.**, PhD in Medicine, Junior Researcher, Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, 1 Bortsov Revolyutsii str., Irkutsk, 664003, Russia

e-mail: mary.good.mary@yandex.ru

**Corresponding author:**

**Kosareva Maria** +79642135170 mary.good.mary@yandex.ru

УДК 617.3

© Лисицкий И.Ю., Хоменко В.А., Лычагин А.В., Заров А.Ю., Коркунов А.Л.,  
Черепанов В.Г., Вязанкин И.А., Целищева Е.Ю., Петров П.И., Гаркави А.В., Кавалерский Г.М., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## **ЗАДНЕБОКОВОЙ БИЛАТЕРАЛЬНЫЙ ЭКСТРАПЛЕВРАЛЬНЫЙ ДОСТУП ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ СПОНДИЛИТОВ ВЕРХНЕГРУДНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ 12 НАБЛЮДЕНИЙ**

**И.Ю. ЛИСИЦКИЙ<sup>1,2</sup>, В.А. ХОМЕНКО<sup>2</sup>, А.В. ЛЫЧАГИН<sup>1</sup>, А.Ю. ЗАРОВ<sup>1</sup>, А.Л. КОРКУНОВ<sup>1</sup>, В.Г. ЧЕРЕПАНОВ<sup>1</sup>,  
И.А. ВЯЗАНКИН<sup>1</sup>, Е.Ю. ЦЕЛИЩЕВА<sup>1</sup>, П.И. ПЕТРОВ<sup>1</sup>, А.В. ГАРКАВИ<sup>1</sup>, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России  
(Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ “Центральный научно-исследовательский институт туберкулёза”, Москва, Россия

### **Аннотация**

**Цель исследования.** Оценка эффективности и безопасности заднебокового билатерального экстраплеврального доступа при хирургическом лечении неспецифических спондилитов верхнегрудного отдела позвоночника.

**Материалы и методы.** В исследование включены 12 пациентов с неспецифической гнойной патологией верхнегрудного отдела позвоночника, оперированных с использованием заднебокового билатерального экстраплеврального доступа. В 10 случаях помимо болевого синдрома клиническая картина заболевания была представлена проводниковой симптоматикой. Локализация патологического процесса на уровне Th3-Th4 позвонков имела место у 3 больных, на уровне Th4-Th5 – у 5, и на уровне Th5-Th6 – у 4.

**Результаты.** У всех пациентов в послеоперационном периоде отмечено снижение интенсивности болевого синдрома на 5–7 баллов (в среднем – 6,2) по визуальной аналоговой шкале (ВАШ). За период наблюдения у 2 больных наблюдался регресс проводниковых расстройств, у 5 – полное восстановление (Frankel E). По результатам контрольного обследования во всех случаях констатировано купирование воспалительного процесса и полноценная костная консолидация (Grade I-II по Eck et al.). Длительность операций варьировала от 240 до 375 мин. (в среднем – 307 мин.). Объем кровопотери составил от 300 до 1200 мл. (в среднем – 658 мл). Интраоперационная ликворея наблюдалась в 2 случаях.

**Заключение.** Заднебоковой билатеральный экстраплевральный доступ позволяет осуществить радикальную санацию, полноценную декомпрессию и спондилодез при неспецифическом гноином поражении верхнегрудного отдела позвоночника. Отход от стандартного исполнения техники Capener N. и Larson S.J. позволил существенно расширить возможности доступа и минимизировать риск осложнений. Несмотря на трудоёмкость, продолжительность и большой объём кровопотери, применение данного метода оправдано при неспецифических спондилитах верхнегрудной локализации. Однако на других уровнях, при наличии альтернативы в виде вентральных вмешательств, его использование нерационально.

**Ключевые слова:** неспецифический спондилит; неспецифический спондилит верхнегрудного отдела позвоночника; латеральный экстракавитарный доступ; заднебоковой билатеральный экстраплевральный доступ.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

**Для цитирования:** Лисицкий И.Ю., Хоменко В.А., Лычагин А.В., Заров А.Ю., Коркунов А.Л., Черепанов В.Г., Целищева Е.Ю., Гаркави А.В., Кавалерский Г.М. Заднебоковой билатеральный экстраплевральный доступ при хирургическом лечении неспецифических спондилитов верхнегрудного отдела позвоночника: ретроспективный анализ 12 наблюдений. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 71–79.

**Этическая экспертиза.** Пациентка подписала добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дала согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

## **POSTEROLATERAL BILATERAL EXTRAPLEURAL APPROACH IN SURGICAL TREATMENT OF NONSPECIFIC SPONDYLITIS OF THE UPPER THORACIC SPINE: A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF 12 CASES**

**IGOR YU. LISITSKY<sup>1,2</sup>, VLADIMIR A. KHOMENKO<sup>2</sup>, ALEXEY V. LYCHAGIN<sup>1</sup>, ALEXEY YU. ZAROV<sup>1</sup>,  
ALEXEY L. KORKUNOV<sup>1</sup>, VADIM G. CHEREPANOV<sup>1</sup>, IVAN A. VYAZANKIN<sup>1</sup>, EUGENIYA YU. TSELISHEVA<sup>1</sup>,  
PAVEL I. PETROV<sup>1</sup>, ANDREY V. GARKAVI<sup>1</sup>, GENNADY M. KAVALERSKIY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Surgery Department, Central Tuberculosis Research Institute, Moscow, Russia

### Abstract

**Purpose.** Evaluation of the effectiveness and safety of posterolateral bilateral extrapleural access in the surgical treatment of nonspecific spondylitis of the upper thoracic spine.

**Methods.** The study included 12 patients with nonspecific purulent pathology of the upper thoracic spine, who were operated on with the use of posterolateral bilateral extrapleural approach. In 10 cases, in addition to pain syndrome, the clinical picture of the disease was represented by conduction symptoms, including isolated pain in 2 cases. Localization of the pathological process at Th3-Th4 vertebrae occurred in 3 patients, at the Th4-Th5 – in 5, and at the Th5-Th6 – in 4 patients.

**Results.** In all patients, a decrease in the intensity of pain by 5-7 points (6,2 on average) on the visual analog scale (VAS) was noted in the postoperative period. During the observation period, regression of conduction disorders was observed in 2 patients, complete recovery was observed in 5 (Frankel E). The results of the control examination revealed the suppression of the inflammatory process and complete bone consolidation in all cases (Grade I-II according to Eck et al). The duration of the operations varied from 240 to 375 min. (on average – 307 min). The volume of blood loss ranged from 300 to 1200 ml. (on average – 658 ml). Intraoperative liquorhea was observed in 2 cases.

**Conclusion.** Posterolateral bilateral extrapleural access allows for radical sanitation, complete decompression and spinal fusion for nonspecific purulent lesions of the upper thoracic spine. Moving away from a standard technique by Capener N. and Larson S.J. allowed to significantly expand access options and minimize the risk of complications. Despite the complexity, duration and large volume of blood loss, the use of this method is justified for nonspecific spondylitis of the upper thoracic localization. However, at other levels, if there is an alternative in the form of ventral interventions, its use might be irrational.

**Key words:** nonspecific spondylitis; nonspecific spondylitis of the upper thoracic spine; lateral extracavitary access; posterolateral bilateral extrapleural access.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Lisitsky I.Y., Khomenko V.A., Lychagin A.V., Zarov A.U., Korkunov A.L., Cherepanov V.G., Tselisheva E.Y., Garkavi A.V., Kavalerskiy G.M. Posterolateral bilateral extrapleural approach in surgical treatment of nonspecific spondylitis of the upper thoracic spine: a retrospective analysis of 12 cases. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 71-79.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.71-79

### Введение

В структуре гнойно-воспалительных заболеваний позвоночника на долю неспецифических спондилитов грудного отдела приходится около 35 % [1]. Для инфекционного поражения позвоночника данной локализации характерно развитие тяжёлых неврологических расстройств, частота которых при несвоевременной диагностике и лечении, по данным ряда авторов, варьирует от 30 до 80 % [2, 3]. Актуальной проблемой является хирургическое лечение неспецифических спондилитов, особенно переходных отделов позвоночника. Особую сложность представляют операции по поводу гнойной патологии верхнегрудного отдела позвоночника.

В настоящее время основополагающими принципами хирургического лечения неспецифических спондилитов являются радикальная санация инфекционного очага в объёме резекции пораженного диска или корпоректомии, и реконструкция передних отделов позвоночного столба посредством спондилодеза с использованием погружных титановых металлоконструкций. Оптимальным способом их реализации стали центральные доступы, применение которых при хирургическом лечении неспецифических спондилитов верхнегрудной локализации из-за особенностей анатомии и оперативной доступности этого отдела позвоночника связано с большим объёмом и высокой

технической сложностью операций, значительным риском ятrogenных осложнений, а также необходимостью проведения отдельным этапом стабилизирующего вмешательства. Это стало побудительным мотивом к поиску оптимальных, как с технической стороны, так и со стороны соблюдения базовых принципов хирургии спондилитов, методов оперативного лечения гнойной патологии верхнегрудного отдела позвоночника. Одним из них является описанный ниже заднебоковой билатеральный экстраплевральный доступ.

### Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ результатов применения заднебокового билатерального экстраплеврального доступа при хирургическом лечении неспецифической гнойной патологии позвоночника верхнегрудной локализации, по поводу которой за период с 2018 по 2023 г. оперировано 12 пациентов (7 женщин и 5 мужчин), средний возраст которых составил 58,7 года. У большинства больных наблюдалась острые стадия заболевания, у 4 – хроническая. Динамика клинической симптоматики, длительность операций и объём кровопотери, полноценность костной консолидации, характер и частота осложнений стали предметом ретроспективного анализа.

Верификация диагноза основывалась на результатах клинического, лабораторного и инструментального обследования.

Оценка тяжести неврологических расстройств осуществлялась по шкале Frankel, болевого синдрома – по визуальной аналоговой шкале (ВАШ). Помимо болевого синдрома у 10 пациентов клиническая картина заболевания была представлена проводниковой симптоматикой различной степени выраженности.

Инструментальная диагностика включала магниторезонансную (МРТ) и компьютерную томографию (КТ). Локализация патологического процесса на уровне Th3-Th4 позвонков имела место у 3 больных, на уровне Th4-Th5 – у 5, и на уровне Th5-Th6 – у 4. Пункционная биопсия как метод предоперационной диагностики не выполнялась ввиду длительной терапии антибиотиками на догоспитальном этапе и наличия у большинства пациентов неврологического дефицита.

Всем больным с целью диагностики патологии и мониторинга активности воспалительного процесса как в до-, так и в послеоперационном периоде проводилось исследование количества лейкоцитов в крови, уровня СОЭ и С-реактивного белка. При наличии признаков системной воспалительной реакции проводилось бактериологическое исследование крови и прокальцитониновый тест.

Проводниковые расстройства, наблюдавшиеся у большинства пациентов с верифицированным диагнозом являлись абсолютным показанием для хирургического лечения. Продолжительный болевой синдром, отсутствие эффекта от длительного консервативного лечения, значительная деструкция смежных тел позвонков и нестабильность позвоночно-двигательного сегмента стали показанием к операции у 2 больных. Всем пациентам выполнено оперативное вмешательство из заднебокового билатерального экстраплеврального доступа: у 4 больных резецировано одно, у остальных – оба тела пораженных позвонков.

В обязательном порядке проводилось бактериологическое, микроскопическое и патогистологическое исследование удаленных тканей.

Оценка полноценности спондилодеза проводилась по данным КТ через 6, 9 и 12 месяцев после операции. Результаты систематизировались в соответствии с критериями, предложенными Eck et al. дляentralных отделов позвоночника [4] (Табл. 1).

Таблица 1

Рентгенологические критерии костного сращения по Eck et al.

Степень сращения	Критерии сращения
Grade I	Сращение с ремоделированием и трабекулярной перестройкой костного трансплантата
Grade II	Костный трансплантат интактный, интеграция и ремоделирование не полные, между ним и замыкательной пластиной просветления нет
Grade III	Костный трансплантат интактный, между ним и замыкательной пластиной имеется просветление

### Окончание Таблицы 1

Степень сращения	Критерии сращения
Grade IV	Костный трансплантат в стадии деструкции, сращение отсутствует

### Хирургическая техника

Под общей анестезией в положении на животе из стандартного срединного разреза скелетировали задние опорные структуры всего верхнегрудного отдела позвоночника и прилежащие рёбра. В тела двух выше и ниже расположенных от предполагаемого уровня корпорэктомии позвонков транспедикулярно вводили полиаксиальные винты. Экстраплеврально удаляли по 2–3 ребра (в зависимости от количества резецируемых позвонков); с одной стороны на протяжении 5–7 см., с другой – 3–4 см. от рёберно-поперечных суставов. Париетальную плевру аккуратно отделяли от обеих боковых поверхностей позвоночного столба. Фиксированные к телам позвонков головки резецированных рёбер вычленяли. Задние опорные структуры выкусывали вплоть до корней дуг подлежащих корпорэктомии позвонков, перевязывали и пересекали корешки с двух сторон. Затем билатерально резецировали одно или два тела до передней продольной связки. Удаляли остатки диска и гиалиновый хрящ с прилегающими поверхностями соседних позвонков. Описанная техника позволяет контролировать полноценность и безопасность корпорэктомии (рис. 1–2). С помощью стержня, фиксированного к головкам винтов с одной стороны, устранили кифотическую деформацию и выполняли дистракцию зоны корпорэктомии. С другой стороны на место резецированных позвонков имплантировали телозамещающий кейдж (“mesh” или телескопический кейдж), предварительно заполненный аутокостью. На завершающем этапе операции производили компрессию кейджа в межтелевом промежутке, окончательный монтаж металлоконструкции. После дренирования через отдельную контрапертуру рана послойно ушивалась наглухо (рис. 3).

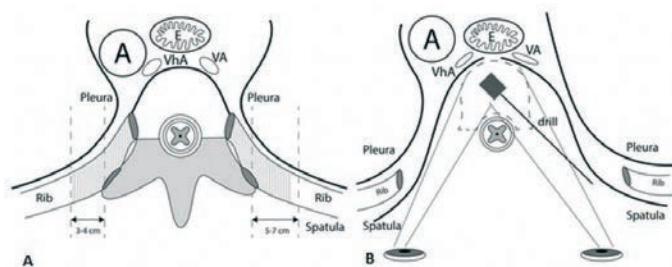


Рисунок 1. Схема оперативного вмешательства.

а - зона резекции задних опорных структур позвоночника и прилежащих рёбер; б - билатеральное экстраплевральное удаление тела позвонка под визуальным контролем с контрлатеральной стороны.

Сокращения: А - аорта, Е - пищевод, VA - vena azygos, VhA - vena hemiazygos

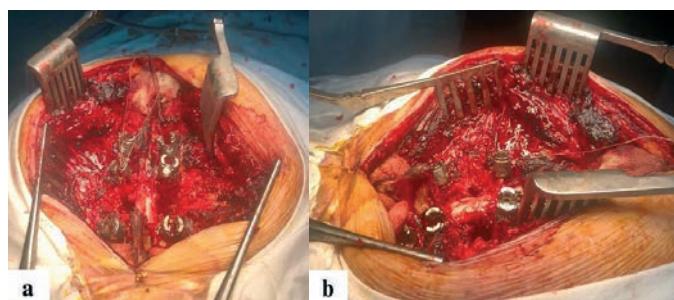


Рисунок 2. Интраоперационные фотографии.

а, б - циркулярная декомпрессия спинного мозга и ложе резецированного позвонка; вид сверху (а) и сбоку (б)

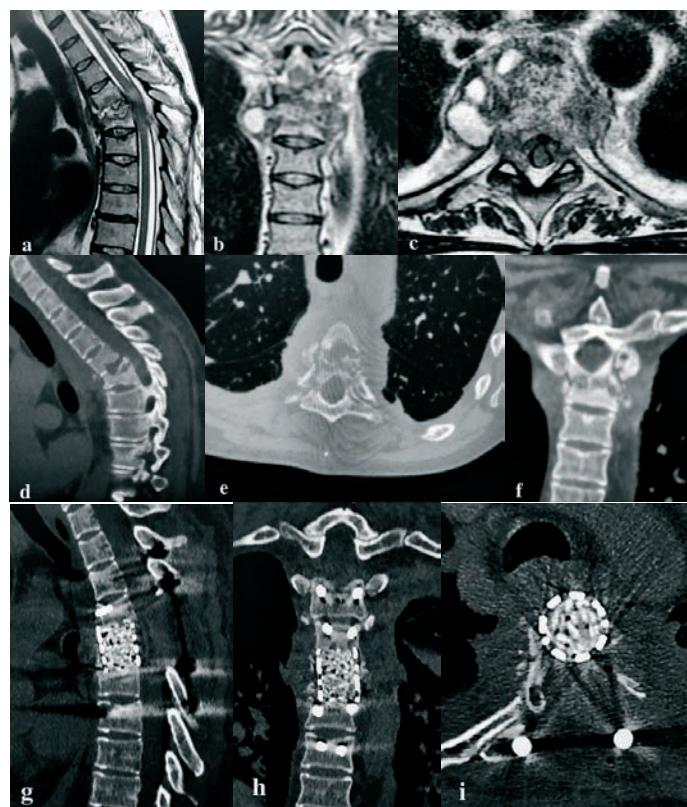


Рисунок 3. Результаты обследования до и после хирургического лечения.

а, б, с - магниторезонансные томограммы (сагittalная проекция (а), фронтальная (б) и аксиальная (с) проекции): определяется гнойный спондилит Th5-Th6 позвонков с паравертебральными абсцессами, со сдавлением спинного мозга и присутствием очага миелоишемии; д, е, ф - компьютерные томограммы в сагittalной (д), аксиальной (е) и фронтальной (ф) проекции: костная деструкция Th5-Th6 позвонков с наличием секвестров и кифотической деформации на уровне поражения; г, х, л - контрольные компьютерные томограммы в сагittalной (г), фронтальной (х) и аксиальной (л) проекции: выполнена циркулярная декомпрессия спинного мозга, корпородез Th4-Th7 позвонков, кифотическая деформация устранена

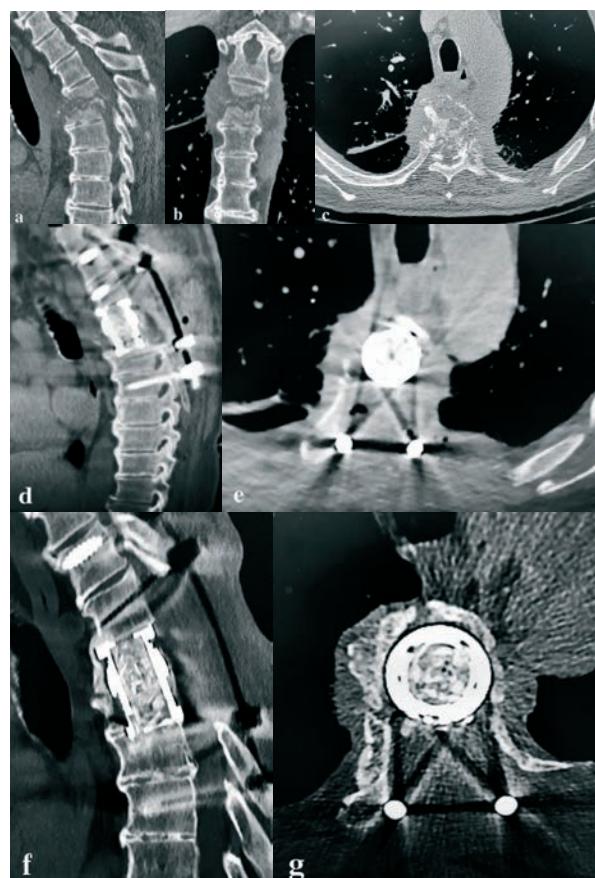


Рисунок 4. Результаты обследования до и после хирургического лечения.  
а, б, с - компьютерные томограммы (сагittalная проекция (а), фронтальная (б) и аксиальная (с) проекции): костная деструкция Th4-Th5 с наличием секвестров и кифотической деформации на уровне поражения; д, е - контрольные компьютерные томограммы сразу после операции в сагittalной (д) и аксиальной (е) проекции; ф, г - контрольные компьютерные томограммы через 8 месяцев после операции в сагittalной (ф) и аксиальной (г) проекции: определяется интеграция и перестройка аутокостной крошки, хорошо выражена оссификация по переферию кейджа (Grade I по Eck et al)

### Результаты

Срок наблюдения больных составил 6–24 месяцев, в среднем – 11,75 мес. Основные сведения о пациентах и проведенных операциях представлены в табл. 2. За время наблюдения у всех пациентов наблюдалось снижение интенсивности болевого синдрома по ВАШ в среднем на 6,2 балла. Из 10 больных с неврологическим дефицитом у 2 в послеоперационном периоде отмечен регресс проводниковой симптоматики, у 5 – полное восстановление. Оценка клинических результатов хирургического лечения отображена в табл. 3.

Длительность операций варьировала от 240 до 375 мин. (в среднем – 307 мин). Объем кровопотери составил от 300 до 1200 мл. (в среднем – 658 мл).

У 2 пациентов имело место интраоперационное повреждение твердой мозговой оболочки вентролатеральной локализации. Дефекты твердой мозговой оболочки ушиты. Эпизодов послеоперационной ликвореи не было.

Таблица 2

## Основные сведения о пациентах и проведенных операциях

№	Пол	Возраст, лет	Уровень поражения	Стадия заболевания	Операция	Длительность операции, мин.	Объем кровопотери, мл.	Микрофлора	Степень сращенности по Eck et al.	Время наблюдения, мес.
1	Ж	61	Th3-Th4	Острая	Корпорэктомия Th4, корпородез Th3-Th5 (mesh+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th5-Th6	300 мин.	400 мл.	Роста нет	I	12 мес.
2	М	78	Th4-Th5	Острая	Корпорэктомия Th4-Th5, корпородез Th3-Th6 (mesh+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th6-Th7 позвонков	250 мин.	800 мл.	E. faecalis E. Coli K. pneumoniae	I	24 мес.
3	М	52	Th3-Th4	Хроническая	Корпорэктомия Th4, корпородез Th3-Th5 (mesh+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th5-Th6 позвонков	335 мин.	1200 мл.	Salmonella enteritidis	I	18 мес.
4	Ж	54	Th5-Th6	Хроническая	Корпорэктомия Th5-Th6, корпородез Th4-Th7 (mesh+аутокость); ТПФ Th3-Th4-Th7-Th8 позвонков	360 мин.	400 мл.	Роста нет	I	12 мес.
5	М	75	Th4-Th5	Хроническая	Корпорэктомия Th4-Th5, корпородез Th3-Th6 (V-Lift+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th6-Th7 позвонков	270 мин.	800 мл.	Роста нет	II	6 мес.
6	Ж	60	Th3-Th4	Острая	Корпорэктомия Th3, корпородез Th2-Th4 (mesh+аутокость); ТПФ Th1-Th2-Th4-Th5 позвонков	300 мин.	300 мл.	St. aureus	I	16 мес.
7	Ж	37	Th4-Th5	Острая	Корпорэктомия Th4-Th5, корпородез Th3-Th6 (mesh+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th4-Th7-Th8 позвонков	305 мин.	300 мл.	St. aureus	II	8 мес.
8	М	46	Th5-Th6	Хроническая	Корпорэктомия Th5-Th6, корпородез Th4-Th7 (mesh+аутокость); ТПФ Th3-Th4-Th7-Th8 позвонков	240 мин.	600 мл.	St. aureus E. faecalis	II	6 мес.
9	М	63	Th4-Th5	Острая	Корпорэктомия Th4-Th5, корпородез Th3-Th6 (V-Lift+аутокость); ТПФ Th2-Th3-Th6-Th7 позвонков	345 мин.	700 мл.	Роста нет	II	6 мес.
10	Ж	54	Th5-Th6	Острая	Корпорэктомия Th5-Th6, корпородез Th4-Th7 (mesh+аутокость); ТПФ Th3-Th4-Th7-Th8 позвонков	270 мин.	500 мл.	K. pneumoniae	II	6 мес.
11	Ж	63	Th5-Th6	Острая	Корпорэктомия Th5-Th6, корпородез Th4-Th7 (mesh+аутокость); ТПФ Th3-Th4-Th7-Th8 позвонков	375 мин.	800 мл.	St. schleiferi	I	9 мес.
12	Ж	62	Th4-Th5	Острая	Корпорэктомия Th5, корпородез Th4-Th6 (mesh+аутокость); ТПФ Th3-Th6-Th7-Th8 позвонков	330 мин.	1100 мл.	St. haemolyticus	I	18 мес.

Таблица 1

## Результаты хирургического лечения

№	BAISH		Frankel	
	До опе- рации	После опе- рации	До опе- рации	После опе- рации
1	7	1	C	E
2	6	0	C	E
3	8	1	E	E
4	7	0	E	E
5	6	0	A	D
6	7	0	D	E
7	5	0	A	A
8	7	1	A	A
9	6	1	A	A
10	7	0	C	E
11	6	1	A	C
12	7	0	C	E

Во всех случаях имело место выпадение кожной чувствительности в соответствующих дерматомах вследствие пересечения корешков при проведении оперативного вмешательства.

По данным обследования специфическое поражение исключено. Возбудитель заболевания выявлен в 8 случаях, из них в 2 – в составе микст-инфекции. Длительность антибиотикотерапии у больных с идентифицированным возбудителем составила 4 недели. Пациентам со стерильным посевом эмпирическая терапия препаратами широкого спектра действия также проводилась в течение 4 недель.

Коррекция кифотических деформаций и полноценность декомпрессии в раннем послеоперационном периоде подтверждена данными лучевых методов диагностики. При контрольном обследовании в отдаленном послеоперационном периоде в 7 случаях констатирован состоявшийся спондилодез (Grade I по Eck et al), в остальных выявлено костное сращение в стадии интеграции и ремоделирования аутокостной крошки (Grade II по Eck et al) (Рис. 4).

**Обсуждение**

История хирургии инфекционной патологии позвоночника, как и спинальной хирургии в целом, берёт своё начало в конце XIX века с попыток оперативного лечения болезни Потта. Ляминэктомия, как первый и единственный на тот момент метод, имевшийся в арсенале у хирургов, доказала свою неэффективность при лечении данной патологии. Осознание необходимости санации очага инфекции и лик-

видации нестабильности стало побудительным мотивом к поиску новых методов хирургического лечения туберкулёзных спондилитов, первым из которых стала костотрансверзэктомия, внедрённая Menard R. в 1894 г. для экстраплеврального дренирования абсцессов [5]. В авторском исполнении операция предполагала удаление поперечного отростка вместе с шейкой и головкой ребра из продольного разреза по наружному краю длинных мышц. С целью улучшения функциональных исходов лечения болезни Потта, являвшейся основной причиной параплегии в начале XX века, Capener N. в 1933 г. модифицировал костотрансверзэктомию Menard R., дополнив её резекцией суставных отростков, ножек и прилегающих отделов дужек позвонков из паравертебрального разреза с поперечным рассечением длинной мускулатуры и мобилизацией её концов каудально и краинально. Широкий боковой доступ в полость позвоночного канала и к телам позвонков, названный им “латеральной ракомией”, позволил проводить радикальную санацию, полноценную декомпрессию и спондилодез [6, 7].

Дальнейшим развитием концепции заднебокового доступа Menard R. и Capener N. стал латеральный экстракавитарный доступ (LECA), впервые внедрённый Larson S.J. в начале 50-х гг. ХХ века для лечения туберкулёзных спондилитов и описанный им в 1976 г., который дал возможность манипулировать как на вентролатеральных отделах, так и на задних опорных структурах грудного и поясничного отделов позвоночника из одного клюшкообразного разреза [7, 8]. Идея выполнения декомпрессивного и стабилизирующего этапов из одного доступа, предложенная Larson S.J., дала толчок дальнейшей модернизации данного метода и адаптации его к решению различных хирургических задач [9–11].

Очевидными преимуществами доступа является возможность одновременного проведения циркулярной декомпрессии спинного мозга,entralного спондилодеза, коррекции деформаций и транспедикулярной фиксации позвоночника. Вместе с тем техническая сложность и большая травматичность подобных операций требует продвинутых хирургических навыков и опыта их выполнения, а также сопряжена с большой, а иногда фатальной кровопотерей, и риском развития послеоперационной ликвореи, легочных и инфекционных осложнений [10–13].

Несмотря на то, что заднебоковые доступы изначально были разработаны для хирургического лечения инфекционных спондилитов, в настоящее время спектр их применения сместился в сторону опухолевой и дегенеративной патологии, аномалий развития и деформаций [10–15]. Объясняется это прежде всего появлением в начале 30-х годов ХХ века вентральных доступов, эффективность и безопасность которых при оперативном лечении гнойных заболеваний позвоночника оказалась гораздо выше [16, 17].

При спондилитах грудного отдела “золотым стандартом” хирургического лечения стала торакотомия. Непо-

средственный доступ к инфекционному очагу, оптимальный “угол атаки” при выполнении корпорэктомии, прямой визуальный контроль магистральных сосудов и висцеральных структур, верификация границ патологических изменений, возможность радикального удаления воспалительно-изменённых тканей является несомненным преимуществом доступа. Вдобавок торакотомия позволяет проводить центральный спондилодез с использованием специально разработанных пластин или металлоконструкций, что исключает необходимость в дополнительной транспедикулярной фиксации.

Между тем особенности анатомии и оперативная доступность верхнегрудного отдела позвоночника лимитируют потенциал торакотомии. Плечевой сустав, лопатка, грудной кифоз, крупные сосуды средостения, адгезивный процесс на уровне поражения превращают радикальную санацию и спондилодез в чрезвычайно сложную и рискованную операцию. Что ещё более важно, центральная фиксация на этом уровне технически не осуществима, вследствие чего необходим задний стабилизирующий этап вмешательства [18,19].

Продленный до вырезки грудины передний шейный доступ позволяет в ряде случаев выполнить подход к телам Th1-Th2 позвонков. Эта возможность определяется индивидуальными особенностями строения пациента. Бесспорными преимуществами метода являются минимальная травматичность и возможность проведения передней фиксации. Его реализации препятствует короткая шея, высокое стояние плечевых суставов и кифоз шейно-грудного перехода. В этой ситуации осуществить подход к верхним грудным позвонкам возможно с помощью резекции грудного конца ключицы и рукоятки грудины. При этом неудобный “угол атаки” из-за кифоза верхнегрудного отдела позвоночника и нависающей грудиной затрудняет визуальный контроль во время проведения операции и препятствует установке центральных металлоконструкций. Кроме того, эти оперативные приёмы не могут обеспечить доступ к передним отделам позвоночника ниже Th3 позвонка [18–20].

Выбор нами заднебокового экстраплеврального доступа был продиктован необходимостью провести радикальную санацию, полноценную декомпрессию спинного мозга и спондилодез в один этап, минимизировав риск ятрогенных осложнений. Мы решили отойти от стандартного исполнения метода Capener N. и Larson S.J. Использованная оперативная техника предполагает билатеральный экстраплевральный подход к вентролатеральным отделам поражённых позвонков по аналогии с методом “vertebral column resection”, что позволяет проводить резекцию с двух сторон, улучшает визуальный контроль, а стало быть радикальность и безопасность вмешательства [15]. Навык скелетирования боковых отделов поражённых тел позвонков в условиях воспалительного процесса представляет нетривиальную

задачу, овладение которым является залогом успешного выполнения подобных операций. Несомненная ценность доступа заключается также в возможности инструментальной коррекции сегментарного кифоза при выполнении центрального спондилодеза.

### Заключение

Описанная техника заднебокового билатерального экстраплеврального доступа позволяет осуществить радикальную санацию, полноценную декомпрессию и спондилодез при неспецифическом гнойном поражении столь сложного с точки зрения оперативной доступности верхнегрудного отдела позвоночника. Отход от стандартного исполнения техники Capener N. и Larson S.J. позволил существенно расширить возможности доступа. Проведенный анализ показал, что данное вмешательство отличает продолжительность и большой объём кровопотери. Вместе с тем, клинические результаты, отсутствие значимых осложнений и данные инструментальных исследований продемонстрировали эффективность и безопасность метода, которые, разумеется, напрямую зависят от опыта выполнения подобных операций. Как показала наша практика хирургического лечения неспецифических спондилитов, применение заднебокового билатерального экстраплеврального доступа, несмотря на сложность и травматичность, на верхнегрудном отделе позвоночника оправдано. Однако на других уровнях использование данного метода, при наличии альтернативы в виде центральных вмешательств, нецелесообразно.

### Список литературы / References:

1. Yunoki M. A Comprehensive review of pyogenic spondylitis management for neurosurgeons. *Asian J Neurosurg.* 2023; 18(4): 724–733. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777272>
2. Mylona E, Samarkos M, Kakalou E, Fanouriakis P, Skoutelis A. Pyogenic vertebral osteomyelitis: a systematic review of clinical characteristics. *Semin Arthritis Rheum.* 2009; 39(1): 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2008.03.002>
3. Hadjipavlou AG, Mader JT, Necessary JT, Muffoletto AJ. Hematogenous pyogenic spinal infections and their surgical management. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000; 25 (13): 1668-1679. <https://doi.org/10.1097/00007632-20000701-00010>
4. Eck KR, Lenke LG, Bridwell KH, Gilula LA, Lashgari CJ, Riew KD. Radiographic assessment of anterior titanium mesh cages. *J Spinal Disord.* 2000; 13: 501–509. <https://doi.org/10.1097/00002517-200012000-00006>
5. Shen FH, Haller J. Extracavitary approach to the thoracolumbar spine. *Seminars in Spine Surgery.* 2010; 22(2): 84-91. <https://doi.org/10.1053/j.semss.2009.12.007>
6. Capener N. The evolution of lateral rhacotomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1954; 36-B (2):173-179. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.36B2.173>
7. Lifshutz J, Lidar Z, Maiman D. Evolution of the lateral extracavitary approach to the spine. *Neurosurg Focus.* 2004; 16 (1): E12.

8. Larson SJ, Holst RA, Hemmy DC, Sances A Jr. Lateral extracavitary approach to traumatic lesions of the thoracic and lumbar spine. *J Neurosurg.* 1976; 45(6): 628–637. <https://doi.org/10.3171/jns.1976.45.6.0628>
9. Schmidt MH, Larson SJ, Maiman DJ. The lateral extracavitary approach to the thoracic and lumbar spine. *Neurosurg Clin N Am.* 2004; 15(4): 437–441. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2004.04.007>
10. Fessler RG, Dietze DD Jr, Millan MM, Peace D. Lateral parascapular extrapleural approach to the upper thoracic spine. *J Neurosurg.* 1991; 75(3): 349–355. <https://doi.org/10.3171/jns.1991.75.3.0349>
11. Maiman DJ, Larson SJ, Luck E, El-Ghatit A. Lateral extracavitary approach to the spine for thoracic disc herniation: report of 23 cases. *Neurosurgery.* 1984; 14(2): 178–182. <https://doi.org/10.1227/00006123-198402000-00010>
12. Resnick DK, Benzel EC. Lateral extracavitary approach for thoracic and thoracolumbar spine trauma: operative complications. *Neurosurgery.* 1998; 43(4): 796–803. <https://doi.org/10.1097/00006123-199810000-00041>
13. Foreman PM, Naftel RP, Moore TA, Hadley MN. The lateral extracavitary approach to the thoracolumbar spine: a case series and systematic review. *Journal of Neurosurgery: Spine.* 2016; 24 (4): 570–579. <https://doi.org/10.3171/2015.6.SPINE15169>
14. Street J, Fisher C, Sparkes J, Boyd M, Kwon B, Paquette S, Dvorak M. Single-stage posterolateral vertebrectomy for the management of metastatic disease of the thoracic and lumbar spine: a prospective study of an evolving surgical technique. *J Spinal Disord Tech.* 2007; 20 (7): 509–520. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3180335bf7>
15. Suk SI, Chung ER, Kim JH, Kim SS, Lee JS, Choi WK. Posterior vertebral column resection for severe rigid scoliosis. *Spine.* 2005; 30: 1682–1687. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000170590.21071.c1>
16. Чаклин В.Д. Радикальная операция автора при спондилолистезе и туберкулезном спондилите. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 1939; 58 (6): 557–589. [Chaklin VD. Author's radical operation for spondylolisthesis and tuberculous spondylitis. *Vestnik khirurgii im I.I. Grekova.* 1939; 58(6): 557–589. (In Russ.)]
17. Ito H, Tsuchiya J, Asami G. A new radical anterior operation for Pott's Disease. Report of ten cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1934; 16: 499–515.
18. Dalgic A, Uckun O, Acar HI, Okay O, Daglioglu E, Ergungor F, Belen D, Tekdemir I. Single-stage posterolateral corpectomy and circumferential stabilization without laminectomy in the upper thoracic spine: cadaveric study and report of three cases. *Turkish Neurosurgery.* 2010; 20(2): 231–240. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.2510-09.3>
19. Kaya RA, Turkmenoglu ON, Koc ON, Genç HA, Cavuşoğlu H, Ziyal IM, Aydin Y. A perspective for the selection of surgical approaches in patients with upper thoracic and cervicothoracic junction instabilities. *Surg Neurol.* 2006; 65 (5): 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2005.08.017>
20. Yoshimoto H, Sato S, Hyakumachi T, Yanagibashi Y, Matsuda T. Pyogenic spondylitis in the cervicothoracic junction with high-positioned aortic arch. Case report and review of the literature. *J Neurosurg (Spine).* 2005; 3 (3): 242 – 245. <https://doi.org/10.3171/spsi.2005.3.3.0242>

## Авторы:

**Лисицкий Игорь Юрьевич** – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый

МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail doclis73.73@mail.ru

**Хоменко Владимир Александрович** – д.м.н., старший научный сотрудник отдела хирургии ФГБНУ “Центральный научно-исследовательский институт туберкулёза” Яузская аллея, д.2, 07564 г. Москва, Россия, e-mail khomenkov@mail.ru

**Лычагин Алексей Владимирович** – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail dr.lychagin@mail.ru

**Заров Алексей Юрьевич** – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail zarow@mail.ru

**Коркунов Алексей Леонидович** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail alekskorkunov@yandex.ru

**Черепанов Вадим Геннадьевич** – д.м.н., профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail cvg\_cherepanov@mail.ru

**Вязанкин Иван Антонович** – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail vzvzvzvan@mail.ru

**Целищева Евгения Юрьевна** – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail tjanetrav-ort@bk.ru

**Петров Павел Игоревич** – к.м.н., ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail drpavelpetrov@gmail.com

**Гаркави Андрей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail avgar22@yandex.ru

**Кавалерский Геннадий Михайлович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail: gkavalerskiy@mail.ru

## Автор, ответственный за переписку:

**Лисицкий Игорь Юрьевич** – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 119048, г. Москва, Россия, e-mail doclis73.73@mail.ru

## Authors:

**Lisitsky Igor Yuryevich** – MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail doclis73.73@mail.ru

**Khomenko Vladimir Alexandrovich** – MD, PhD, Surgery Department, Central TB Research Institute, Yauzskaya alleya str., 2, 07564, Moscow, Russia, e-mail khomenkov@mail.ru

**Lychagin Alexey Vladimirovich** – MD, PhD, Head of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail dr.lychagin@mail.ru

**Zarov Alexey Yuryevich** – MD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail zarow@mail.ru

**Korkunov Alexey Leonidovich** – MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail alekskorkunov@yandex.ru

**Cherepanov Vadim Gennadievich** – MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail cvg\_cherepanov@mail.ru

**Vyazankin Ivan Antonovich** – MD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail vzvzvzvan@mail.ru

**Tselischeva Evgeniya Yuryevna** – MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail tjanetravort@bk.ru

**Petrov Pavel Igorevich** – MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail drpavelpetrov@gmail.com

**Garkavi Andrey V.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail avgar22@yandex.ru

**Kavalersky Gennady M.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail gkavalerskiy@mail.ru

**Corresponding author:**

**Lisitsky Igor Yuryevich**, MD, PhD, Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail doclis73.73@mail.ru

УДК 61(091) (470.4)

© Островский В.В., Гришин С.Е., Бажанов С.П., Федонников А.С., Ульянов В.Ю.,  
Пучиньян Д.М., Норкин И.А., 2025

Оригинальное исследование / Original research

## 80 ЛЕТ НИИ ТРАВМАТОЛОГИИ, ОРТОПЕДИИ И НЕЙРОХИРУРГИИ СГМУ: РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ НА ОСНОВЕ 15-ЛЕТНЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ АРХИВНЫХ ДАННЫХ

**В.В. ОСТРОВСКИЙ<sup>1</sup>, С.Е. ГРИШИН<sup>\*2</sup>, С.П. БАЖАНОВ<sup>1</sup>, А.С. ФЕДОННИКОВ<sup>3</sup>, В.Ю. УЛЬЯНОВ<sup>3</sup>,  
Д.М. ПУЧИНЬЯН<sup>1</sup>, И.А. НОРКИН<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, 410002, Саратов, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия

<sup>2</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Высшая школа креативных индустрий, кафедра рекламы, связей с общественностью и дизайна, 115054, Москва, Стремянный переулок, 36, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, 112, Россия

### Аннотация

В историческом аспекте описано возникновение, становление и развитие Саратовского научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского (НИИТОН СГМУ), его вклад в отечественную науку и здравоохранение.

**Ключевые слова:** научно-исследовательский институт травматологии; ортопедии и нейрохирургии СГМУ; юбилей

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Островский В.В., Гришин С.Е., Бажанов С.П., Федонников А.С., Ульянов В.Ю., Пучиньян Д.М., Норкин И.А. 80 лет научно-лечебной деятельности НИИТОН СГМУ: реконструкция истории на основе 15-летнего исследования архивных данных. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 80–91.

## THE 80TH ANNIVERSARY OF THE TRAUMATOLOGY, ORTHOPEDICS, AND NEUROSURGERY RESEARCH INSTITUTE OF SARATOV STATE MEDICAL UNIVERSITY: HISTORY RECONSTRUCTION BASED ON A 15-YEAR RESEARCH OF ARCHIVAL DATA

**VLADIMIR V. OSRTOVSKIJ<sup>1</sup>, SERGEY E. GRISHIN<sup>\*2</sup>, SERGEY P. BAZHANOV<sup>1</sup>, ALEXANDR S. FEDONNIKOV<sup>3</sup>,  
VLADIMIR YU. ULYANOV<sup>3</sup>, DANIIL M. PUCHINYAN<sup>1</sup>, IGOR A. NORKIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Saratov Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery Research Institute, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russia

<sup>2</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Higher School of Creative Industries, Department of Advertising, Public Relations, and Design, 115054, Stremyanyi per., 36, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410012, Саратов, Большaya Казачья str., 112, Saratov, Russia

### Abstract

This research presents a historical view to the emergence, formation, and development of Saratov Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery Research Institute of V.I. Razumovsky Saratov State Medical University as well as to its contribution to Russian medical science and healthcare.

**Key words:** Research Institute of Traumatology; Orthopedics and Neurosurgery; Saratov State Medical University, anniversary

**Conflict of interests:** The authors declare that there are no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Ostrovskij V.V., Grishin S.E., Bazhanov S.P., Fedonnikov A.S., Ul'yanov V.Y., Puchinyan D.M., Norkin I.A. The 80th Anniversary of the Traumatology, Orthopedics, and Neurosurgery Research Institute of Saratov State Medical University: History Reconstruction Based on a 15-Year Research of Archival Data. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 80–91.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.80-91

## Введение

В ноябре 2025 года НИИТОН СГМУ отмечает свой 80-летний юбилей. Рождение института было связано с необходимостью возвращения к активной трудовой деятельности десятков тысяч раненых и контуженных после победоносного завершения Великой Отечественной войны. Выбор Саратова как регионального центра по лечению и реабилитации военнослужащих и представителей гражданского населения Юго-Востока Российской Федерации с травмами и заболеваниями опорно-двигательной, периферической и центральной нервной систем был обусловлен, прежде всего, наличием профессиональных кадров хирургов, нейрохирургов и специалистов смежных специальностей, имеющих опыт работы на фронтах и в тыловых госпиталях страны, а также наличием Саратовского медицинского института со своими сформировавшимися хирургическими школами. Немаловажное значение при выборе было отведено и географическому расположению города с доступной логистикой транспортировки жителей Юго-Востока России, нуждающихся в специализированной помощи.

Сложный путь становления института совпал и с институализацией в СССР специальности травматология и ортопедия, что придает особую роль послевоенному развитию сети НИИ травматолого-ортопедического профиля в этом процессе.

В истории института можно выделить несколько периодов, отражающих особенности его функционирования:

1. Период формирования (1945–1949 гг.);
2. Период становления (1950–1960 гг.);
3. Период развития (1961–2002 гг.);
4. Период инноваций и лидерства (2003–2019 гг.);
5. Современный период (с 2019 г.).

Цель статьи – реконструировать историю НИИТОН СГМУ, основываясь на данных 15-летней работы в архивах и воспоминаниях ветеранов, анализе и обобщении полученного информационного материала.

## Материалы и методы исследования

В работе использованы материалы федеральных государственных, областных государственных, ведомственных и личных архивов. При работе с архивными материалами применялись историко-генетический и историко-системный методы, на этапе реконструкции использовался метод критического анализа, на последующих этапах – комплекс общенаучных методов.

## Результаты

Период формирования (1945–1949 гг.). Саратовский научно-исследовательский институт восстановительной хирургии, травматологии и ортопедии (ВОСХИТО – первоначальное название учреждения) был организован приказом Наркомздрава РСФСР № 472-О от 19.11.1945 г. [1], когда в стране создавалась сеть НИИ травматологии и ортопедии. Саратов в качестве площадки для размещения института был выбран не случайно: в стенах Саратовского Императорского Николаевского университета и впоследствии Саратовского медицинского института работали известные в России и за рубежом травматологи, ортопеды, нейрохирурги и биомеханики – профессора С.И. Спасокукоцкий, Н.В. Копылов, С.Р. Миротворцев, А.Г. Елецкий, Н.И. Краузе, которые подготовили учеников – будущий научный «костяк» института [2].

Институту была отведена роль лечебно-реабилитационного центра для возвращения к активной жизни участников войны, проживающих на Юго-Западе европейской части Российской Федерации, включающей 13 областей, краев и республик Нижнего Поволжья и Северного Кавказа.

Первым директором института был академик АМН СССР профессор С.Р. Миротворцев, возглавлявший институт до своей смерти в 1949 г. Работая директором по совместительству, он использовал свой авторитет в партийных органах и органах исполнительной власти для кадрового укрепления института. Помимо привлечения своих учеников, он в суровое сталинское время не боялся выдвигать на руководящие должности и поддерживать беспартийных, что по тем временам было большой редкостью. С.Р. Миротворцев поддерживал и способствовал профессиональному и карьерному росту ортопеда З.В. Базилевской и нейрохирурга В.М. Угрюмова. В институте смогли найти работу профессора, уволенные во время «чисток» из вузов и вышедшие из лагерей. В целом, за короткий период руководства институтом С.Р. Миротворцевым была решена проблема кадрового голода.

Значительный вклад в становление института внесла ученица профессора В.Д. Чаклина – научный руководитель ВОСХИТО (в 1957 году переименован в Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии (СарНИИТО) доктор медицинских наук, профессор З.В. Базилевская [3]. За годы работы Зои Васильевны в Саратове полностью проявился ее талант организатора

и ученого. При ее непосредственном участии формировались научные направления работы института, связанные с совершенствованием лечения больных с последствиями травм, полученных во время Великой Отечественной войны. В институте была создана атмосфера, способствующая проведению научных исследований, были заложены основы для выполнения целого ряда кандидатских и докторских диссертаций. В июне 1949 года успешно защитил докторскую диссертацию «Периферические сосудистые реакции при поздних операциях в зоне огнестрельных черепно-мозговых ранений» нейрохирург В.М. Угрюмов [4] – будущий директор Ленинградского нейрохирургического института им. проф. А.Л. Поленова.

В Саратове, за год до организации Всесоюзного общества травматологов и ортопедов, по инициативе Зои Васильевны было создано одно из первых в стране региональное ортопедическое общество [5]. Организаторский талант З.В. Базилевской был высоко оценен Минздравом РСФСР: она была направлена в Иркутск для создания НИИТО, который возглавляла в течение многих лет.

*Период становления (1950–1960 гг.).* На данном этапе институтом руководили ученики академика С.Р. Миротворцева доценты Б.А. Никитин (1949–1954 гг.) и Я.Н. Родин (1954–1972 гг.). Значительный объем лечебной работы института был связан с лечением и реабилитацией инвалидов Великой Отечественной войны. Число инвалидов войны травматолого-ортопедического и нейрохирургического профилей в зоне курирования института достигало десятков тысяч человек. Институт курировал госпитали ветеранов войны на территории всего Юго-Востока России. Следует учитывать, что в 50–60-х годах XX века госпитали были не только лечебными учреждениями, оказывавшими помощь инвалидам войны, но и опорными центрами травматологии, ортопедии и нейрохирургии в регионах. И хотя данная работа продолжалась до конца 1970-х гг., основной объем был выполнен уже в период становления института: большинство инвалидов, находившихся на лечении, вернулось к мирному созидательному труду.

Второй важной задачей, стоявшей перед институтом на данном этапе, была организационная. При активном участии института и его директора Я.Н. Родина формировалась травматолого-ортопедическая сеть: начали создаваться новые травматолого-ортопедические отделения, травматологические пункты и кабинеты, детские ортопедические учреждения, специализированные детские санатории и школы-интернаты. По мере их появления активизировалась работа по раннему выявлению, учету, диспансеризации и лечению детей с врожденными и приобретенными ортопедическими заболеваниями.

С расширением травматолого-ортопедической сети возросла потребность в специалистах, институт приступил к обучению врачей и среднего медицинского персонала путем

их переподготовки и специализации, а также в ординатуре по травматологии и ортопедии. В клинической ординатуре и на рабочих местах прошли обучение свыше 500 врачей. Яков Николаевич Родин проводил значительную работу с органами здравоохранения курируемых институтом областей и автономных республик по созданию разветвленной сети специализированных травматолого-ортопедических лечебных учреждений. Саратовский НИИТО при Я.Н. Родине оказал здравоохранению Юго-Востока России неоценимую практическую помощь, создав эту сеть: в 1960 году в зоне кураторства функционировало 23 круглосуточных травматологических пункта, резко возросло количество травматологических кабинетов и специализированных отделений. Появилась сеть и для детей: 12 ортопедо-травматологических отделений, 31 кабинет, девять санаториев и семь школ-интернатов. Благодаря созданию сети специализированной помощи, городское население и жители большинства сельских районов стали получать высококвалифицированное лечение. Это позволило снизить инвалидность от травм более чем на 45 %, а число неудовлетворительных исходов лечения – до 2,7 %.

В период становления на долю института выпала ещё и задача лечения детей с различными деформациями опорно-двигательной системы инфекционной природы. В послевоенные годы в стране на фоне тяжелой социальной обстановки широкое распространение получили костный туберкулез и полиомиелит. Борьба с последствиями этих недугов были направлены усилия ортопедов института, что нашло отражение в определении основного научного направления института в области ортопедии – совершенствования диагностики, профилактики и хирургического лечения больных с патологией тазобедренного сустава и дегенеративными заболеваниями позвоночника.

В период становления шел процесс формирования научного «лица» института. Сотрудники института защищали первые кандидатские диссертации (Л.П. Штерн, 1951; М.Д. Черфас, 1952; Е.И. Бабиченко, 1953; И.З. Нейман, 1955; А.М. Косицына, 1957 и др.). Наибольших научных успехов в этот период достигли сотрудники нейрохирургического отделения, которым руководили известные в стране нейрохирурги В.М. Угрюмов, П.И. Эмдин и Е.И. Бабиченко. Так, в 1950 году В.М. Угрюмовым была разработана и впервые в Саратове успешно произведена операция на проводящих путях продолговатого мозга (двусторонняя бульботомия) при гиперкинезах (двойном атетозе) [6], а П.И. Эмдиным были внедрены в практическую работу нейрохирургического отделения операции при опухолях гипофиза и III желудочка головного мозга. П.И. Эмдин разработал показания для ранней ламинэктомии при травме позвоночника и спинного мозга и предложил скелетное вытяжение за теменные бугры в остром периоде шейной позвоночно-спинномозговой травмы. Под его руководством начали применяться такие

ранее не использовавшиеся в Саратове диагностические методы, как каротидная ангиография, нисходящая миелография, радиоизотопная диагностика опухолей головного мозга, субокципитальная пункция, пневмоэнцефалография и др. Именно по предложению Павла Иосифовича в Саратове была создана ангиографическая приставка, с помощью которой 25 ноября 1956 г. Л.Я. Лившицем была произведена первая в городе ангиография головного мозга. Саратов стал пятым городом в Советском Союзе, где стала применяться ангиографическая диагностика заболеваний головного мозга [7].

*Период развития (1961–2002 гг.).* Институтом руководили доценты Я.Н. Родин (1954–1972 гг.) и И.И. Жадёнов (1972–2003 гг.).

Существенными характеристиками данного периода стали формирование и развитие научно-педагогических школ и вклад ученых института в становление и развитие эндопротезирования суставов.

Кратко опишем основные научно-педагогические школы.

Ортопедия. Становление ортопедии в институте связано с именем ученика профессоров А.Г. Елецкого и С.Р. Миротворцева – доктора мед. наук А.Я. Демидова. С 1949 по 1964 гг. Алексей Яковлевич Демидов руководил ортопедическим отделением института. Под его руководством произошло научное становление таких признанных в ортопедии специалистов как Л.П. Штерн, М.Д. Черфас, И.З. Нейман, которые, в свою очередь, заложили основы для развития саратовских школ ортопедии детского возраста и подростков (Л.П. Штерн, М.Д. Черфас) и ортопедии взрослых (И.З. Нейман).

С Иосифа Залмановича Неймана начинается формирование Саратовской школы сколиоза взрослых. В его докторской диссертации «Идиопатические и диспластические сколиозы: материалы к патогенезу и оперативному лечению» (1970 г.) показано, что при идиопатических сколиозах в паравertebralных мышцах имеются первичные дистрофические изменения и асимметричные нарушения тонической иннервации. С учетом этих патогенетических механизмов И.З. Нейман предложил комплекс лечебных мероприятий, включающий консервативные и оперативные пособия. При коррекции деформации позвоночника им было рекомендовано шире использовать металлические дистракторы. Анализ клинико-рентгенологических изменений при сколиозе позволил ученому предложить собственную классификацию тяжести сколиоза [8]. Под руководством И.З. Неймана были защищены кандидатские диссертации Н.Н. Павленко (1984 г.) и Ю.Г. Сумина (1985 г.).

Школа детских ортопедов стала формироваться в начале 50-х годов XX века. В 1951 году защищает кандидатскую диссертацию «О замещении дефектов длинных трубчатых костей аутотрансплантатом» старший научный сотрудник ортопедической клиники института Лидия Петровна Штерн.

В своей работе она подчеркивает положительные стороны данного вида трансплантации и на основе рентгенографии выделяет 5 фаз консолидации аутокости с материнской ложей [9]. В 1958 году Л.П. Штерн назначается руководителем отделения ортопедии детского возраста – первой в Нижнем Поволжье и на Юго-Западе России специализированной клиники для детей с ортопедической патологией. Ею подготовлены кандидаты медицинских наук Л.И. Томашенцева (1962), М.В. Ткачева (1963), Н.В. Киселева (1965), В.С. Семенов (1967). В стенах отделения детской ортопедии была подготовлена и успешно защищена докторская диссертация руководителя отделения ортопедии детского возраста (с 1965 г.) М.Д. Черфаса. Михаил Давыдович Черфас в докторской диссертации «Клиника и лечение паралитического сколиоза у детей» (1966) приходит к выводу о том, что задний спондилодез является операцией, препятствующей прогрессированию сколиоза, и чем раньше она выполнена, тем лучше результаты коррекции достигаются после операции. Основной причиной потери коррекции и прогрессирования паралитического сколиоза после заднего спондилодеза является недостаточная протяженность фиксации, неполнценная иммобилизация позвоночника в послеоперационном периоде. Для того времени эти положения диссертационного исследования имели большое практическое значение [10].

По результатам лечения детей с ортопедической патологией тазобедренного сустава и позвоночника были защищены докторские диссертации Татьяной Николаевной Черновой (1994) [11], Игорем Алексеевичем Норкиным (1994) [12], Нэллей Хасяновной Бахтеевой (2002) [13] и Владимиром Владимировичем Зарецким (2003) [14].

Травматология. В ВОСХИТО проблемой острой травмы в научном плане стали заниматься в 1950-е гг. в рамках клиники восстановительной хирургии с оториноларингологическим и глазным отделениями. Первые темы научных изысканий касались проблем травматизма и его профилактики на железнодорожных путях [15], оперативного лечения переломов надколенника [16]. Внедрение в СарНИИТО комплексного подхода к исследованию острой травмы и разработке способов лечения пострадавших связано с именем профессора Александры Михайловны Косицыной. Существенную роль в становлении саратовской школы травматологов внесли также ее ученики – профессор Марк Львович Абрамов [17], д-р мед. наук Юрий Георгиевич Горюнов [18] и Николай Петрович Решетников [19]. В клинике постоянно проводили апробации и внедрения новых методик и конструкций для лечения больных. В их числе аппарат для репозиции костей предплечья, стержни и шурупы из рассасывающихся полимерных материалов, разрезная шина для репозиции костей голени при наложении аппарата Илизарова и изогнутый стержень для фиксации заднего края большеберцовой кости. К 1980 г. в клинике травматологии СарНИИТО

при лечении больных стали выполнять эндопротезирование по Муру-ЦИТО при переломах шейки бедра, наложение аппарата Волкова-Оганесяна при переломах фаланг кисти, применять методику комплексного лечения больных с переломами плечевой кости, осложненными повреждением нервов, и методику восстановительного лечения при переломах лопатки и вывихов концов ключицы. Наложение аппарата Илизарова при переломах длинных костей конечностей с 1976 года стало рутинной операцией [7].

**Нейрохирургия.** В 1965 г. Е.И. Бабиченко защищает докторскую диссертацию «Клиника и комплексное лечение больных в позднем периоде закрытой травмы позвоночника и спинного мозга», в которой выдвигает основные принципы лечения больных с закрытой травмой позвоночника и спинного мозга: восстановление нормальной анатомической структуры поврежденного отдела позвоночника, и особенно просвета позвоночного канала, а также ликвидация сдавления спинного мозга оперативным путем. Особое внимание в работе уделялось адекватному лечению трофических расстройств и нарушений функций мочевого пузыря [20]. Авторитет саратовской школы нейрохирургов явился залогом открытия в 1968 году в Саратовском государственном медицинском институте первой в РСФСР кафедры нейрохирургии, заведующим которой был избран д-р мед. наук Е.И. Бабиченко. Руководителем отдела нейрохирургии СарНИИТО становится ученик В.М. Угрюмова – канд. мед. наук Лев Яковлевич Лившиц (1967-1987 гг.), который защищает докторскую диссертацию в 1968 году [21]. В отделе нейрохирургии, возглавляемом Л.Я. Лившицем, было сформировано научное направление – совершенствование диагностики и лечения больных с тяжкими болевыми синдромами туловища и конечностей. Важными задачами научного поиска явились разработка способов эпидуральной электростимуляции спинного мозга и определение ее места в комплексе лечебных мероприятий при травме спинного мозга и тяжких болевых синдромах. В дальнейшем саратовскую нейрохирургическую школу развивали ученики Л.Я. Лившица д-р мед. наук Эмиль Ефимович Меламуд [22] и д-р мед. наук, профессор Вячеслав Григорьевич Нинель [23].

**Эндопротезирование.** Саратовские ученые внесли значительный вклад в становление и развитие отечественного эндопротезирования суставов. ЦИТО и СарНИИТО стояли у истоков создания отечественных эндопротезов тазобедренного сустава [7]. Доктор медицинских наук, профессор Яков Исаевич Шершер [24] – один из основоположников эндопротезирования в СССР, который, наряду с Константином Митрофановичем Сивашом, стоял у истоков изобретения и внедрения в медицинскую практику первого поколения советских эндопротезов тазобедренного сустава [25]. Конструкции К.М. Сиваша и Я.И. Шершера вызвали интерес во многих странах мира.



Рисунок 1. Пионеры советского эндопротезирования Константин Митрофанович Сиваш (слева) и Яков Исаевич Шершер во время обсуждения конструкций эндопротезов. Ориентировочно 1970-е гг. Из личного архива С.Н. Киреева

В СарНИИТО с декабря 1973 по март 1975 г. Я.И. Шершером были разработаны все шесть самых известных его конструкций эндопротезов. Их отличительной особенностью было упрощение конструкции при одновременном повышении износостойкости протеза, надежности соединения бедренного и тазового его компонентов, а также облегчения выполнения операции. Искусственные тазобедренные суставы Я.И. Шершера были рекомендованы к применению в широкой медицинской практике лечебных учреждений страны. Разработки ученого оказали влияние на дальнейшее совершенствование эндопротезирования тазобедренного сустава в стране и мире.

Наряду с Я.И. Шершером над конструкциями эндопротезов в СарНИИТО работала также научная группа под руководством директора института И.И. Жаденова и биомеханика И.Д. Ковалевой. Результатом работы этой творческой группы было создание эндопротеза тазобедренного сустава СарНИИТО, разборного эндопротеза тазобедренного сустава, бедренного компонента тазобедренного сустава и протеза надацетабуллярной области вертлужной впадины.

Эндопротез для внесуставной коррекции диспластической крыши вертлужной впадины построен на принципиально новом подходе, базирующемся на создании конгруэнтности суставных поверхностей тазобедренного сустава с учетом дефицита объема и формы безымянной кости. По сути, предложенная И.Д. Ковалевой конструкция эндопротеза позволяет решить главные задачи при диспластическом коксартрозе, связанные с недоразвитием крыши вертлужной впадины: адекватно возместить ее костный дефицит и одновременно корректировать патологическую, еще податливую форму впадины в направлении создания максимальной конгруэнтности и центрированности сустава в целом. Разработанные эндопротезы получили признание и были защищены автор-

скими свидетельствами СССР, патентами России и зарубежных стран – США, Великобритании, Франции, ФРГ. Следующим важным этапом исследования и совершенствования лечения патологии суставов стало теоретическое осмысление результатов клинико-рентгенологической, экспериментальной, конструкторской работы по созданию эндопротезов тазобедренных суставов. В 2000 г. вышла монография И.И. Жаденова и И.Д. Ковалевой «Биомеханические аспекты эндопротезирования при коксартрозах», в которой были обобщены результаты 30-летних исследований авторов в области биомеханики эндопротезирования [26].

Накопленный СарНИИТО опыт позволил систематизировать и прирастить знания по топографо-анатомическим, морфолого-функциональным, техническим, биомеханическим и другим аспектам эндопротезирования, что повлияло на переход к этапу массового эндопротезирования.

*Период инноваций и лидерства (2003–2019 гг.).* В этот период институтом руководил доктор медицинских наук, профессор И.А. Норкин. Игорь Алексеевич проработал в должности директора 16 лет и сделал НИИТОН СГМУ одним из лидирующих научно-исследовательских учреждений в стране. И.А. Норкин – инициатор и активный участник возрождения Ассоциации травматологов-ортопедов России и один из создателей общественной организации «Российская ассоциация хирургов-вертебрологов».

Задолго до того, как получило широкое распространение выражение «новые медицинские технологии», профессора И.А. Норкин и А.П. Барабаш при обсуждении структуры института предложили сконцентрировать работу научно-клинических подразделений на перспективной проблематике, внедрив в название клинических подразделений словосочетание «новых технологий». В 2004 году была проведена структурная реорганизация научных подразделений, создано шесть отделов – совершенствования организации травматолого-ортопедической помощи населению, формирования и управления интеллектуальной собственностью, лабораторной и функциональной диагностики, три клинических подразделения – новых технологий в травматологии, ортопедии и вертебрологии с нейрохирургией. Предвосхищая нарождающееся направление в развитии медицины, И.А. Норкин и А.П. Барабаш воплотили в жизнь эти структурные преобразования, сделав акцент на новую стратегическую цель – инновационные технологии. В 2012 году в результате очередной реорганизации были созданы отделы организационно-методической и научно-образовательной деятельности, формирования и управления интеллектуальной собственностью, инновационных проектов в травматологии и ортопедии, инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований. Переименование подразделений отражало направление научной деятельности института в области травматологии и ортопедии

по созданию медицинских технологий и их внедрению в практическое здравоохранение.

Структурная реорганизация института дала свои плоды: активизировалась научная деятельность: было защищено 8 докторских диссертаций (Павленко Н.Н., 2005 [27]; Решетников А.Н., 2005 [28]; Горшков Р.П., 2009 [29]; Чехонацкий А.А., 2011 [30]; Богатов В.Б., 2011 [31]; Белова С.В., 2013. [32]; Ульянов В.В., 2015 [33]; Бажанов С.П., 2018 [34]; Федонников А.С., 2020 [35]) и более 20 кандидатских диссертаций.

С 2012 года на базе института интенсивно создается собственный научно-внедренческий пояс – организуется 2 малых инновационных предприятия, которые начинают выполнять проекты при грантовой поддержке Фонда содействия инноваций, что позволяет совместно с индустриальными партнерами регистрировать и размещать на рынке новые медицинские изделия, а в настоящее время – вести научно-технологические разработки уже на уровне СГМУ.

С 2016 года на базе НИИТОН СГМУ началась разработка и с 2018 года – внедрения в практику здравоохранения цифровой онлайн сервис интерактивного мониторинга состояния здоровья пациентов («СИМОС®»). Он позволяет осуществлять обратную связь с пациентами и оценку результатов медицинской помощи и реабилитации. В настоящее время система включает более 7 000 пациентов, проживающих в Саратовской области и десятках других регионах России. Указанные проекты стартовали и реализованы под руководством заместителя директора по науке СарНИИТО, с 2017 года – проректора по научной работе СГМУ А.С. Федонникова.

В 2018–2021 гг. в партнерстве с Саратовским государственным университетом рабочая группа НИИТОН СГМУ успешно реализовала уникальный, не имеющий аналогов проект мирового уровня по разработке системы поддержки принятия решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса (работы финансировались Фондом перспективных исследований

В этот период дирекция активно занималась вопросами эффективного использования существующих и новых бюджетных и внебюджетных источников финансирования для стимулирования врачей и медицинских работников. Под руководством И.А. Норкина институт одним из первых стал реализовывать государственную программу оказания высокотехнологичной медицинской помощи (ВМП) населению Российской Федерации. Предоставление медицинских услуг по оказанию ВМП стало возможным в СарНИИТО благодаря межведомственному взаимодействию с фондом социального страхования. Эффективная модель стимулирования позволила объединить интересы пациента и лечащего врача, в результате уровень оплаты труда медицинских работников СарНИИТО стал одним из самых высоких среди бюджетных медицинских учреждений России.

Опыт организации труда медицинских сотрудников был одобрен министром здравоохранения России Т.А. Голиковой и рекомендован для внедрения в стране. Достижения и успехи сотрудников вывели институт к 2015 году на лидирующую позицию в группе медицинских НИИ Российской Федерации. В тот период была реализована инновационная модель работы института. Наиболее востребованные разработки ученых СарНИИТО прошли все этапы внедрения и были выведены на рынок медицинских изделий, в том числе стержень BNB (Barabash – Norkin – Barabash), аугменты для замещения краевых дефектов костей и инструментарий для вертебро- и кифопластики. В области практического здравоохранения много сделано в развитии артроскопии, нейронавигации, вертебрологии, хирургии крупных суставов, была создана эндоскопическая служба (В.Ю. Ульянов). С целью освоения новых способов хирургического лечения больных с травматолого-ортопедической и нейрохирургической патологией И.А. Норкин создавал условия для обучения молодых специалистов в ведущих клиниках страны и зарубежья, что позволило повысить уровень оказываемой специализированной помощи до мирового.

В начале XXI века «второе дыхание» получил так называемый блокируемый интрамедуллярный остеосинтез (БИОС), который стал в мире «золотым стандартом» при хирургическом лечении больных с переломами диафизов костей конечностей. Этот малоинвазивный способ надежной фиксации зоны переломов впервые был внедрен в Саратове заведующим травматологическим отделением канд. мед. наук Андреем Геннадьевичем Чибриковым, что послужило началом широкого применения БИОС в Саратове и зоне курирования института.

В течение 2004-2010 годов сотрудниками института были внедрены новые медицинские технологии: эндопротезирование тазобедренного сустава современными конструкциями; артроскопия коленного и плечевого суставов; операции на позвоночнике из переднего доступа; транспедикулярные коррекция и фиксация позвоночника, пункционная чрескожная вертебропластика при гемангиомах позвонков и эндоскопические операции на позвоночнике; эндопротезирование коленного сустава; эндоскопические пособия при обследовании внутренних органов [36].

Новый этап развития травматологии в НИИТОН СГМУ в указанный период связан с именем ученика академика Г.А. Илизарова, лауреатом Государственной премии РФ в области науки и техники, доктором медицинских наук, профессором Анатолием Петровичем Барабашом. С его приходом активизировалась работа по разработке прогрессивных технологий в травматологии. Восемь лет он руководил отделом новых технологий в травматологии, с 2012 года – отделом инновационных проектов в травматологии и ортопедии. Под его началом для ускорения процесса регенерации костной ткани были внедрены варианты метода

хирургической агрессии в зоне патологии, брефоматериал, способы регуляции силовых воздействий на заживление костной раны по ее стадиям. За период его работы в НИИТОН СГМУ внедрено более 50 методик, разработано около 40 новых способов лечения и устройств, зарегистрированы 5 новых технологий лечения. Устройство для внутрикостного остеосинтеза длинных костей конечностей было создано при государственной грантовой поддержке, опытный образец зарегистрирован в Росздравнадзоре как медицинское изделие и разрешен к практическому применению в здравоохранении в рамках реализации протокола клинической апробации [37].

*Современный период (с 2019 г.).* В 2019 году СарНИИТО в результате политики государства, направленной на оптимизацию научной и образовательной деятельности, вошел в состав Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского в качестве НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии (НИИТОН). Институт возглавил доктор медицинских наук Владимир Владимирович Островский.



Рисунок 2. Директор НИИТОН СГМУ д.м.н., доцент, профессор кафедры травматологии и ортопедии СГМУ им. В.И. Разумовского, Заслуженный врач Российской Федерации Владимир Владимирович Островский

Специфика современного этапа заключается в том, что с появлением цифровых технологий началась новая технологическая революция, которая кардинально изменила и ландшафт медицинской науки. Высокотехнологичные инновации стали неотъемлемой частью научного творчества и практической деятельности врачей, в том числе травматологов-ортопедов. В стенах НИИТОН СГМУ

были разработаны уникальные медицинские технологии и модели работы с инновациями. Все большее внимание стало уделяться внедрению последних достижений науки и техники в разработки изделий и технологий медицинского назначения, что, бесспорно, отразится на уровне диагностики и качестве лечения пациентов.

Научная деятельность института в основном стала регламентироваться тематикой государственного задания («Разработка средств, эффективных в отношении пленкообразующих микроорганизмов при лечении инфекционных осложнений эндопротезирования суставов», «Разработка системы поддержки принятия врачебных решений при комплексном лечении травм периферической нервной системы методами электронейромодуляции», «Разработка персонализированного подхода к выбору тактики хирургической реабилитации пациентов с последствиями внутрисуставных повреждений дистального отдела костей голени», «Разработка цифровой персонализированной интеллектуальной системы объективизации субхондрального ремоделирования для ранней диагностики остеоартроза на основе математической модели прогнозирования прогрессирования воспалительно-дегенеративных изменений в опорных соединительных тканях», «Разработка системы прогнозирования и профилактики неблагоприятных исходов хирургического лечения травм грудного и поясничного отделов позвоночника на основе комплексного персонализированного анализа скорости reparacji позвонков»), что отразилось на сокращении количества инициативных тем НИР. Несмотря на это, в рамках тем государственных заданий уже защищено три докторские (Островский В.В., 2020 [38]; Лихачев С.В., 2024 [39]; Гиркало М.В., 2025 [40]) и три кандидатские диссертации (Мизюров С.А., 2023; Зоткин В.В., 2024; Айтемиров Ш.М., 2024).

В области цифровой медицины с индустриальным партнером SberMedAI (группа компаний СБЕР) в 2023-2024 гг. проведена разработка уникального цифрового помощника врача – российского программного обеспечения для определения рентгенологической стадии первичного остеоартроза коленных суставов на основе искусственного интеллекта, используемого в амбулаторной травматологии и ортопедии для диагностики патологии и динамической оценки ее прогрессирования. Уже в 2023 году разработка заняла первое место среди цифровых медицинских проектов ПАО Сбербанк в Приволжском федеральном округе. С марта 2024 года идет pilotное внедрение проекта на базе института. Далее запланировано pilotирование проекта в НМИЦ травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова (г. Курган) и Департаменте здравоохранения г. Москвы. После регистрации программного обеспечения как медицинского изделия планируется оснащение им автоматизированных рабочих мест врачей медицинских организаций России, осуществляющих первичную медико-санитарную и специализированную помощь пациентам с остеоартрозом коленных суставов. Про-

ект стартовал и реализуется под руководством заместителя директора по научной и инновационной работе НИИТОН СГМУ, в настоящее время – проректора по инновационной деятельности и стратегическому развитию СГМУ д-ра мед. наук В.Ю. Ульянова.

По инициативе директора НИИТОН СГМУ В.В. Островского за три года приобретены 64 единицы нового медицинского оборудования для операционного блока, отделений лабораторной и лучевой диагностики, эндоскопического кабинета. Оснащены и переоборудованы помещения приемного отделения, операционного блока, кабинет офтальмолога и т. д. Это позволило оптимизировать работу коечного фонда института, улучшить условия и качество обследования и лечения больных, обеспечить возможность оказания специализированной медицинской помощи более чем семи тысячам пациентов ежегодно, сохранить показатели хирургической активности (более 99%) и госпитальной летальности (менее 0,1%). В институте проводятся роботизированные операции.



Рисунок 3. Эндопротезирование коленного сустава с помощью роботизированной системы CUVIS-joint

Современный уровень оказания специализированной травматолого-ортопедической помощи при сложных переломах и заболеваниях длинных костей конечностей и позвоночника вытеснил многоэтапные и не всегда эффективные операции более рациональными вмешательствами, связанными с эндопротезированием суставов, замещением поврежденных позвонков и межпозвонковых дисков конструкциями, костных дефектов – искусственными материалами. Глубокие преобразования в мировой травматолого-ортопедической сфере нашли отражение в деятельности отделений травматологии и ортопедии НИИТОН СГМУ. В настоящее время значительная часть хирургических вмешательств – это высоко-

технологичные операции, позволяющие достаточно быстро достичь восстановления утраченных функций сегментов опорно-двигательной системы. Травматологи и ортопеды института в полной мере владеют этими технологиями.

Передовые позиции нейрохирургов института в лечении хронических болевых синдромов туловища и конечностей нейрогенной природы электростимуляционным путем получили широкое признание в стране. Разработки ученых НИИТОН СГМУ, связанные с диагностикой и лечением больных с диспластическими и дегенеративными поражениями позвоночника, спинномозговыми травмами, защищены более чем сорока авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ на изобретения и полезные модели. Все крупные научные разработки внедрены на федеральном уровне. Внедрение в практику высоких медицинских технологий позволяет проводить сложные и высокотехнологичные оперативные вмешательства на позвоночнике и спинном мозге с использованием современных металлоконструкций и протезов позвонков и межпозвонковых дисков, операции на позвоночнике с использованием эндоскопической техники, нейромониторинга. Заложены основы для широкого распространения метода длительной эпидуральной электростимуляции при дисковенных радикулоишемиях. Активно внедряются в хирургию позвоночника новейшие методы коррекции и фиксации позвонков, лечения вертеброгенного болевого синдрома в сочетании с гемангиомами. Автоматизированные рабочие места врачей оснащаются системами поддержки принятия врачебных решений, системами мониторинга и обратной связи с пациентами.

### **Заключение**

НИИТОН СГМУ – ровесник великой Победы советского народа в войне с нацистской Германией. За 80 лет своего существования институт прошел путь, отмеченный знаковыми событиями, которые определили поступательный характер его развития в организационной, научной, лечебной и иных смежных сферах деятельности. Это стало возможным благодаря сплоченности коллектива института, состоящего из научных работников, врачей, медицинских работников среднего и младшего звена, технического персонала, приверженным заложенным традициям по поиску новых знаний, оказанию медицинской помощи взрослому и детскому населению с патологией опорно-двигательной, центральной и периферической нервной системы. За тот исторический отрезок времени, который отделяет нас от военных лет, выполнен колоссальный труд, определивший лицо современных травматологии, ортопедии и нейрохирургии. Институт всегда идет в ногу со временем, несмотря на все трудности, которые встречались на пути его развития. И сегодня можно с уверенностью сказать, что профессионализм сотрудников и современная инфраструктура позволяют проводить приоритетные научные исследования,

оказывать пациентам высокотехнологичную медицинскую помощь. Благоприятные условия для творческой работы, созданные руководством института, обеспечивают возможности для полноценной реализации интеллектуальных, профессиональных и творческих способностей всех сотрудников института.

### **Список литературы / References:**

1. Приказ о создании ВОСХИТО в г. Саратове. ГАСО. Ф. Р-2527. Оп. 1. Д. 1. Л. 1 [Order on the establishment of Saratov Research Institute of Reconstructive Surgery, Traumatology and Orthopedics in Saratov. State Archives of Saratov Region. Archive R-2527. List 1. Case 1. Sheet 1].
2. Травматология и ортопедия в Саратове: история, традиции, достижения: в III томах. Том I. С.Е. Гришин, В.Ю. Ульянов, В.В. Островский и др. Саратов: ООО «Иновационные медицинские технологии», 2020. 304 с. [Traumatology and Orthopedics in Saratov: History, Traditions, Achievements: in III Volumes. Volume I. S.E. Grishin, V.Yu. Ulyanov, V.V. Ostrovskij, et al. Saratov: Innovative Medical Technologies LLC, 2020. 304 p.]
3. ГА РФ. Ф. А-482. Оп. 48. Д. 290. Л. 26 [The State Archive of the Russian Federation. Archive A-482. List 48. Case 290. Sheet 26].
4. Архив НИИТОН СГМУ. Оп. 1 л/с. Л. 170 [The archive of Saratov Research Institute of Traumatology, Orthopedics, and Neurosurgery V.I. Razumovsky Saratov State Medical University List. 1 f. Sheet 170].
5. ГАСО. Ф. Р-2527. Оп. 1-н. Д. 24. Л. 1-17 [State Archives of Saratov Region. Archive R-2527. List 1-n. Case 24. Sheet 1-17].
6. ГАСО. Ф. Р-2527. Оп. 1. Д. 18. Л.170. [State Archives of Saratov Region. Archive R-2527. List 1. Case 184. Sheet 170].
7. Травматология и ортопедия в Саратове: история, традиции, достижения: в III томах. Том II / С.Е. Гришин, В.Ю. Ульянов, В.В. Островский [и др.]. Саратов : Изд. центр Сарат. гос. мед. ун-та, 2021. 322 с. [Traumatology and Orthopedics in Saratov: History, Traditions, Achievements: in III volumes. Volume II. S.E. Grishin, V.Yu. Ulyanov, V.V. Ostrovskij, et al. Saratov: Publishing center of Saratov State Medical University, 2021. 322 p.].
8. Нейман И.З. Идиопатические и диспластические сколиозы: Материалы к патогенезу и оперативному лечению: автореф. дис. ... д-ра мед. наук, 1970. 22 с. [Neiman I.Z. Idiopathic and dysplastic scoliosis: Materials on pathogenesis and surgical treatment: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis, 1970. 22 p.].
9. Штерн Л.П. О замещении дефектов длинных трубчатых костей аутотрансплантатом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 1951. 11 с. [Shtern L.P. On the replacement of defects in long tubular bones with an autograft: Abstract of a PhD thesis. Saratov, 1951. 11 p.].
10. Черфас М.Д. Изменение активности фосфатазы и содержания неорганического фосфора сыворотки крови при переломах длинных трубчатых костей и некоторых их осложнениях: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 1952. 9 с. [Cherfas M.D. Changes in phosphatase activity and inorganic phosphorus content of blood serum in fractures of long tubular bones and some of their complications: Abstract of a PhD thesis. Saratov, 1952. 9 p.].
11. Чернова Т.Н. Автоматизированная система диагностики, прогнозирования исходов и выбора метода лечения врожденного

вывиха бедра у детей: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 1994. 26 с. [Chernova T.N. Automated system for diagnosis, prediction of outcomes and selection of treatment method for congenital hip dislocation in children: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. St. Petersburg, 1994. 26 p.].

12. Норкин И.А. Хирургическое лечение детей и подростков с прогрессирующей формой сколиоза: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 1994. 44 с. [Norkin I.A. Surgical treatment of children and adolescents with progressive scoliosis: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. St. Petersburg, 1994. 44 p.].

13. Бахтеева Н.Х. Профилактика развития остеоартроза у детей и подростков с патологией тазобедренного сустава: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Самара, 2002. 50 с. [Bakhteeva N.Kh. Prevention of osteoarthritis development in children and adolescents with hip joint pathology: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Samara, 2002. 50 p.].

14. Зарецков В.В. Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника у детей и подростков (клиника, диагностика и лечение): автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2003. 44 с. [Zaretskov V.V. Degenerative-dystrophic diseases of the spine in children and adolescents (clinic, diagnostics and treatment): Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. St. Petersburg, 2003. 44 p.].

15. Широкинский Н.И. Травматизм на железнодорожных путях, его профилактика и борьба с ним: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 1950. 9 с. [Shirokinsky N.I. Injuries on railway tracks, their prevention and control: Abstract of a PhD thesis. Saratov, 1950. 9 p.].

16. Красюкова Ю.Д. Оперативное лечение переломов надкапитенника в свете клинических и экспериментальных наблюдений: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 1955. 10 с. [Kras'yukova Yu.D. Surgical treatment of patella fractures in clinical and experimental observations: Abstract of a PhD thesis. Saratov, 1955. 10 p.].

17. Абрамов М.Л. Лечение мыщелков бедра и большеберцовой кости: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 1974. 23 с. [Abramov M.L. Treatment of the femur and tibia condyles: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 1974. 23 p.].

18. Горюнов Ю.Г. Медицинская реабилитация больных с повреждениями костей плечевого пояса и верхнего отдела плеча (комплексное консервативное и хирургическое лечение): автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Кубышев, 1979. 26 с. [Goryunov Yu.G. Medical rehabilitation of patients with injuries to shoulder girdle and upper arm bones (complex non-surgical and surgical treatment): Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Kuibyshev, 1979. 26 p.].

19. Решетников Н.П. Восстановительные операции при несросшихся переломах, ложных суставах и дефектах шейки бедренной кости с сохранением ее головки: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Кубышев, 1982. 32 с. [Reshetnikov N.P. Reconstructive surgery for non-union fractures, pseudoarthrosis and defects of the femoral neck with preservation of femoral head: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Kuibyshev, 1982. 32 p.].

20. Бабиченко Е.И. Клиника и комплексное лечение больных в позднем периоде закрытой травмы позвоночника и спинного мозга: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 1965. 20 с. [Babichenko E.I. Clinic and complex treatment of patients in the late period of closed spine and spinal cord injury: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 1965. 20 p.].

21. Лившиц Л.Я. Невралгия тройничного нерва и ее лечение методом направленной деструкции чувствительного тригеми-

нального корешка: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов. 1968. 23 с. [Livshits L.Ya. Trigeminal neuralgia and its treatment by targeted destruction of the sensory trigeminal root: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov. 1968. 23 p.].

22. Меламуд Э.Е. Повреждения позвоночника и спинного мозга у детей и подростков (клиника, диагностика и лечение): автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1983. 28 с. [Melamud Eh.E. Injuries to the spine and spinal cord in children and adolescents (clinic, diagnostics and treatment): Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 1983. 28 p.].

23. Нинель В.Г. Электростимуляция спинного мозга в лечении тяжких болевых синдромов туловища и конечностей нейрогенной природы: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1994. 29 с. [Ninel V.G. Electrical stimulation of the spinal cord in the treatment of severe neurogenic pain syndromes of the trunk and limbs: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 1994. 29 p.].

24. Шершер Я.И. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 1975. 24 с. [Shersher Ya.I. Total hip arthroplasty: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 1975. 24 p.].

25. Загородний Н.В. Эндопротезирование тазобедренного сустава: основы и практика. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2013. 704 с. [Zagorodniy N.V. Hip arthroplasty: fundamentals and practice. Moscow: GEOTAR-Media, 2013. 704 p.].

26. Жаденов И.И., Ковалева И.Д. Биомеханические аспекты эндопротезирования при коксартрозах. Саратов: Изд-во Сарат. гос. мед. ун-та, 2000. 199 с. [Zhadenov I.I., Kovaleva I.D. Biomechanical aspects of endoprosthetics for coxarthrosis. Saratov: Publishing house of Saratov State Medical University, 2000. 199 p.].

27. Павленко Н.Н. Хирургическое лечение больных с деформацией грудной клетки: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2005. 48 с. [Pavlenko N.N. Surgical treatment of patients with chest deformities: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 2005. 48 p.].

28. Решетников А.Н. Оптимизация лечения больных с ложными суставами и дефектами длинных костей нижних конечностей: клинико-экспериментальное исследование: автореферат дис. ... д-ра мед. наук. Самара, 2005. 41 с. [Reshetnikov A.N. Optimization of treatment for patients with pseudoarthrosis and defects of long bones of lower extremities: clinical and experimental study: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Samara, 2005. 41 p.].

29. Горшков Р.П. Реабилитация больных с повреждением плечевого сплетения (клинико-экспериментальное исследование): автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2009. 45 с. [Gorshkov R.P. Rehabilitation of patients with brachial plexus injury (clinical and experimental study): Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 2009. 45 p.].

30. Чехонатский А.А. Радикуло- и миелопатические синдромы остеохондроза шейного отдела позвоночника: диагностика, прогнозирование течения, лечение: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2011. 50 с. [Chekhonatsky A.A. Radiculo- and myelopathic syndromes of cervical spine osteochondrosis: diagnostics, prognosis of the course, treatment: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 2011. 50 p.].

31. Богатов В.Б. Артроскопическое хирургическое лечение травматических повреждений коленного сустава у детей: экспериментально-клиническое исследование: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2011. 49 с. [Bogatov V.B. Arthroscopic surgical treatment of

traumatic knee injuries in children: experimental and clinical study: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 2011. 49 p.].

32. Белова С.В. Метаболическое состояние соединительной ткани в условиях физиологической нормы и его регуляция соединениями естественного происхождения при экспериментальном артите: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Астрахань, 2013. 36 с. [Belova S.V. Metabolic condition of connective tissue in physiological norm and its regulation by natural compounds in experimental arthritis: Abstract of a Doctor of Biology Sciences thesis. Astrakhan, 2013. 36 p.].

33. Ульянов В.Ю. Патогенетические и саногенетические механизмы гомеостаза в остром и раннем периодах травматической болезни спинного мозга у пациентов с повреждениями шейного отдела позвоночника : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2015. 44 с. [Ulyanov V.Yu. Pathogenetic and sanogenetic homeostasis mechanisms in acute and early periods of traumatic spinal cord disease in patients with cervical spine injuries: Abstract of a PhD thesis. Saratov, 2015. 44 p.].

34. Бажанов С.П. Комплексный подход к тактике дифференцированного лечения больных с травмами шейного отдела позвоночника и спинного мозга в острый и ранний периоды: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2018. 42 с. [Bazhanov S.P. An integrated approach to differentiated treatment tactics for patients with cervical spine and spinal cord injuries in the acute and early periods: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Saratov, 2018. 42 p.].

35. Федонников А.С. Совершенствование управления медицинской реабилитацией пациентов с патологией опорно-двигательной системы: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2020. 48 с. [Fedonnikov A.S. Improving the management of medical rehabilitation of patients with musculoskeletal pathology: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 2020. 48 p.].

36. Травматология и ортопедия в Саратове: история, традиции, достижения: в III томах. Том III (дополнительный). С.Е. Гришин, В.Ю. Ульянов, В.В. Островский и др. Саратов: Сарат. гос. мед. ун-т, 2023. 228 с. [Traumatology and Orthopedics in Saratov: History, Traditions, Achievements: in III Volumes. Volume III (supplement). S.E. Grishin, V.Yu. Ulyanov, V.V. Ostrovskij, et al. Saratov: Saratov State Medical University, 2023. 228 p.].

37. Травматология и ортопедия в Саратове: история, традиции, достижения: в 3 томах. Том III. С.Е. Гришин, В.Ю. Ульянов, Д.М. Пучиньян и др. Саратов: Изд. центр Сарат. гос. мед. ун-та, 2022. 264 с. [Traumatology and Orthopedics in Saratov: History, Traditions, Achievements: in III Volumes. Volume III. S.E. Grishin, V.Yu. Ulyanov, D.M. Puchinyan, et al. Saratov: Saratov State Medical University, 2022. 264 p.].

38. Островский В.В. Совершенствование диагностики и тактики хирургического лечения пациентов с травматическими и дегенеративными поражениями шейного отдела позвоночника: автореферт дис. ... д-ра мед. наук. М., 2020. 46 с. [Ostrovskij V.V. Improving diagnostics and tactics of surgical treatment fo patients with traumatic and degenerative lesions of the cervical spine: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 2020. 46 p.].

39. Лихачев С.В. Оптимизация методик хирургической реконструкции при повреждениях переходных отделов позвоночника с применением современных возможностей биомеханического моделирования: автореферт дис. ... д-ра мед. наук. М., 2024. 47 с. [Likhachev S.V. Optimization of surgical reconstruction techniques for injuries of the transitional spine using modern biomechanical modeling capabilities: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 2024. 47 p.].

40. Гиркало М.В. Оптимизация ревизионного эндопротезирования коленного сустава: автореферт дис. ... д-ра мед. наук. М., 2025. 43 с. [Girkalo M.V. Optimization of revision knee arthroplasty: Abstract of a Doctor of Medical Sciences thesis. Moscow, 2025. 43 p.].

#### Авторы:

**Островский Владимир Владимирович**, доцент, д. м. н., профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, директор научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Саратов, 410002, Россия, e-mail: sarniito@yandex.ru

**Гришин Сергей Евгеньевич**, профессор, д. полит. н., профессор кафедры рекламы, связей с общественностью и дизайна Высшей школы креативных индустрий Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 115054, Россия, e-mail: vfqvyjbl@yandex.ru

**Бажанов Сергей Петрович**, д. м. н., заместитель директора научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России по научной и инновационной деятельности, начальник отдела клинической и экспериментальной нейрохирургии, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Саратов, 410002, Россия, e-mail: baj.s@mail.ru

**Федонников Александр Сергеевич**, доцент, д. м. н., проректор ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России по научной работе, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail: fedonnikov@mail.ru

**Ульянов Владимир Юрьевич**, доцент, д. м. н., проректор ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России по инновационной деятельности и стратегическому развитию, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail: v.u.ulyanov@gmail.com

**Пучиньян Даниил Миронович**, профессор, д. м. н., старший научный сотрудник отдела клинической и экспериментальной травматологии и ортопедии научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Саратов, 410002, Россия, e-mail: puchinyan@mail.ru

**Норкин Игорь Алексеевич**, профессор, д. м. н., почетный директор научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail: norkinia@yandex.ru

#### Автор, ответственный за переписку:

**Гришин Сергей Евгеньевич** e-mail: vfqvyjbl@yandex.ru

#### Authors:

**Ostrovskij Vladimir V.**, Docent, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Director of the Research

Institute of Traumatology, Orthopedics, and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, N.G. Chernyshevsky st., 148, Saratov, 410002, Russia, e-mail: sarniito@yandex.ru

**Grishin Sergey E.**, Professor, Doctor of Political Sciences, Professor of the Department of Advertising, Public Relations and Design, Higher School of Creative Industries, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia, e-mail: vfqvjybl@yandex.ru

**Bazhanov Sergey P.**, Doctor of Medical Sciences, Deputy Director for Research and Innovations, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Research Institute of Traumatology, Orthopedics, and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, N.G. Chernyshevsky st., 148, Saratov, 410002, Russia, e-mail: baj.s@mail.ru

**Fedonnikov Alexander S.**, Docent, Doctor of Medical Sciences, Vice-Rector for Research, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 112 Bolshaya Kazachya St., Saratov, 410012, Russia, e-mail: fedonnikov@mail.ru

**Ulyanov Vladimir Yu.**, Docent, Doctor of Medical Sciences, Vice-Rector for Innovation and Strategic Development, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 112 Bolshaya Kazachya St., Saratov, 410012, Russia, e-mail: v.u.ulyanov@gmail.com

**Puchinyan Daniil M.**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher, Department of Clinical and Experimental Traumatology and Orthopedics, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 N.G. Chernyshevsky St., Saratov, 410002, Russia, e-mail: puchinyan@mail.ru

**Norkin Igor A.**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Honorary Director of the Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 112 Bolshaya Kazachya St., Saratov, 410012, Russia, e-mail: norkinia@yandex.ru

**Corresponding author:**

**Grishin Sergey E.**, e-mail: vfqvjybl@yandex.ru

УДК 617-089.844

© Римский А.А., Гаркави А.В., Романов Д.А., Найда Д.А., Кнеллер Л.О., Кавалерский Г.М., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## РЕФИКСАЦИЯ КОРНЯ МЕДИАЛЬНОГО МЕНИСКА. ОЦЕНКА ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИИ НА КЛИНИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ

**А.А. РИМСКИЙ<sup>1</sup>, А.В. ГАРКАВИ<sup>1</sup>, Д.А. РОМАНОВ<sup>1</sup>, Д.А. НАЙДА<sup>2</sup>, Л.О. КНЕЛЛЕР<sup>3</sup>, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко», Москва, Россия

<sup>3</sup> АО «К 31 Сити», Москва, 119415, Россия

### Аннотация

**Введение.** Повреждение корня медиального мениска частая патология коленного сустава, которая может привести к полной потери функции медиального мениска (ММ) и значительным дегенеративным изменениям в коленном суставе. Примечательным является остаточная экструзия ММ на послеоперационной МРТ. Ряд авторов не нашли корреляции между исходом операции и функциональным результатом. **Цель работы** оценка субъективных и объективных результатов лечения пациентов с разрывом корня медиального мениска коленного сустава после рефиксации заднего корня медиального мениска транстибиальной модифицированной техникой.

**Материалы и методы.** Проспективное нерандомизированное исследование включает 32 пациента с разрывом корня ММ, которым выполнена рефиксация корня с применением модифицированной транстибиальной техники фиксации. Все пациенты женщины 43–72 лет, ни у одной пациентки хондромаляция не превышала 2 ст. по классификации ICRS. Функциональное состояние оценивали по KOOS и ВАШ, а также выполняли МРТ с оценкой экструзии мениска и степени сращения корня ММ до и после операции. Срок наблюдения 12 мес.

**Результаты.** У 28 пациенток (87,5 %) отмечено полное заживление, а в 4 (12,5 %) – частичное заживление. Показатель болевого синдрома снизился с (7,7±0,7) балла по ВАШ до (1,8±1,2) балла. Средний показатель по шкале KOOS улучшился с (38,6±12,5) баллов до (75,6±14,4) баллов. Средняя величина экструзии мениска до операции составила (4,06±0,82) мм, после операции – (2,67±0,71) мм, что явилось статистически значимым.

**Заключение.** Рефиксация корня медиального мениска, выполненная с применением модифицированной техники, позволила добиться хороших результатов в 75,0 % наблюдений у пациентов с разрывом корня медиального мениска коленного сустава. Степень экструзии ММ после артроскопической фиксации его корня показала умеренную тесноту связи с функцией коленного сустава. При варусной деформации нижней конечности со значением угла НКА <175° функциональные результаты статистически значимо ухудшаются, и оцениваются как неудовлетворительные.

**Ключевые слова:** корень медиального мениска; экструзия мениска; рефиксация корня мениска.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Римский А.А., Гаркави А.В., Романов Д.А., Найда Д.А., Кнеллер Л.О. Кавалерский Г.М. Рефиксация корня медиального мениска. Оценка послеоперационных результатов и влияние экструзии на клинический результат. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 92–101.

## REFIXATION OF THE ROOT OF MEDIAL MENISCUS. EVALUATION OF POSTOPERATIVE TREATMENT RESULTS AND THE INFLUENCE OF EXTRUSION ON CLINICAL OUTCOME.

**ARSENIY A. RIMSKIY<sup>1</sup>, ANDREY V. GARKAVI<sup>1</sup>, DMITRIY A. ROMANOV<sup>1</sup>, DARIA A. NAYDA<sup>2</sup>, LEV O. KNELLER<sup>3</sup>, GENNADY M. KAVALERSKIY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

<sup>2</sup> FSEI N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> AO «K 31 City», Moscow, 119415, Russia

**Abstract**

**Introduction.** Medial meniscus root injury (MMRI), a frequent knee pathology that can lead to complete loss of medial meniscus (MM) function and significant degenerative changes in the knee joint. Residual extrusion of the medial meniscus on postoperative magnetic resonance imaging (MRI) is noteworthy. Several authors have not found a correlation between surgical outcome and functional outcome. The aim of this study was to evaluate subjective and objective results after refixation of the root of the medial meniscus.

**Materials and Methods.** A prospective non-randomised study, 32 patients with MM root rupture who underwent root refixation with modified technique transtibial Pull-Out fixation using a were included. All patients were women, 43-72 years old, and none of them had chondromalacia not exceeding the 2nd degree according to the ICRS classification. Functional status was assessed by KOOS and VAS, and MRI was performed to evaluate meniscus excursion and the degree of MM root fusion before and after surgery. The follow-up period was 12 months.

**Results.** Complete healing was noted in 28 patients (87.5%) and partial healing in 4 (12.5%). The pain score decreased from  $7.7 \pm 0.7$  VAS score to  $1.8 \pm 1.2$ . The mean KOOS score improved from  $38.6 \pm 12.5$  points to  $75.6 \pm 14.4$  points. The mean meniscus extrusion preoperatively was  $4.06 \pm 0.82$  mm and postoperatively  $2.67 \pm 0.71$  mm, which was statistically significant.

**Conclusion.** Meniscus root refixation performed using a modified technique allowed to achieve good results in 75.0% of cases. The degree of MM extrusion after arthroscopic fixation of its root showed a moderate close relationship with the function of the knee joint. In case of varus deformity of the lower limb with the value of the NKA angle  $< 175^\circ$ , the functional results statistically significantly worsened and were assessed as unsatisfactory.

**Key words:** meniscus root; meniscus extrusion; meniscus refixation.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Rimskiy A.A., Garkavi A.V., Romanov D.A., Naida D.A., Kneller L.O., Kavalerskiy G.M. Refixation of the root of medial meniscus. Evaluation of postoperative treatment results and the influence of extrusion on clinical outcome. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 92–101.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.92-101

**Введение**

Среди разрывов медиального мениска, составляющих до 14 % от всех травм коленного сустава, около 30 % повреждений затрагивают его корень – область, располагающуюся в пределах 9 мм от костного прикрепления заднего рога внутреннего мениска к большеберцовой кости [1]. В последние годы к этой патологии проявляется всё больший клинический интерес, при повреждении корня медиального мениска (ПКММ) нарушается анатомическая целостность полукольца мениска что приводит к полной потери его функции [2].

Несмотря на высокую распространённость ПКММ, диагноз не всегда устанавливается своевременно. Примечательно, что при ПКММ в большинстве случаев в анамнезе пациенты не указывают факта травмы, отмечая появление боли после незначительной нагрузки [3]. Боль нередко носит хронический характер вследствие ежедневной микротравматизации мениска из-за повышенной локальной нагрузки. Последствия нелеченого ПКММ коленного сустава сопоставимы с полной резекцией мениска, приводя к быстрому прогрессированию остеоартроза и разрушению сустава, что подтверждают экспериментальные работы [4]. В связи с этим восстановление целостности корня мениска рассматривается как необходимый этап лечения [5–8].

S.C. Faucett et al.[9] выполнили метаанализ, сравнив 10-летние результаты восстановления корня мениска, менискэктомии и консервативной терапии. Были продемонстрированы убедительные данные о клинической и рентгенологической эффективности артроскопического

восстановления корня мениска. Результаты консервативного лечения были сопоставимы с результатами менискэктомии, демонстрируя выраженное прогрессирование остеоартроза, снижение качества жизни и раннюю конверсию в тотальное эндопротезирование коленного сустава. Тем не менее, даже после восстановления корня мениска могут наблюдаться неудовлетворительные клинические и функциональные результаты, что требует более тщательного анализа факторов риска.

B.Y. Hwang et al. [10] показали, что пожилой и старческий возраст, сниженная физическая активность, повышенный индекс массы тела (ИМТ) повышают вероятность неудовлетворительных результатов. Наиболее неблагоприятным фактором риска стала варусная деформация конечности, с величиной которой напрямую коррелировали неудовлетворительные клинические результаты.

Кроме того, многие авторы уделяют внимание исследованию влияния экструзии мениска, другими словами подвыших мениска, на клинический исход. Анализ данных магнитно-резонансной томографии (МРТ), выполненной после фиксации корня мениска, показал отсутствие корреляции уровня по-слеоперационной экструзии мениска с клинической картиной [11–13]. Однако данные остаются противоречивыми: даже при отсутствии выраженной экструзии может сохраняться болевой синдром, и наоборот – уменьшение экструзии не всегда сопровождается улучшением клинической картины. Причины таких различий, возможно, кроются в используемой хирургической технике.

## Цель исследования

Оценка субъективных и объективных результатов лечения пациентов с разрывом корня медиального мениска коленного сустава после рефиксации корня медиального мениска транстибиальной модифицированной техникой.

## Материалы и методы

### Дизайн исследования

В проспективное нерандомизированное исследование включены 32 пациентки, которым на основании данных анамнеза, клинического осмотра и результатов МРТ был поставлен диагноз: разрыв корня медиального мениска коленного сустава.

Критерии включения в исследование:

- возраст старше 18 лет;
- диагностированный разрыв корня медиального мениска с возможностью выполнения его рефиксации;
- хондромаляция коленного сустава не выше 2 ст по ICRS

Критерии невключения в исследование:

- рентгенологические признаки остеоартроза более 2 ст. по классификации Kellgren-Lawrence;
- избыточная масса тела пациента с ИМТ  $\geq 35 \text{ кг}/\text{м}^2$ ;
- сопутствующие повреждения связочного аппарата коленного сустава с явлениями нестабильности;
- трофические нарушения и гнойно-воспалительные процессы в области исследуемого сегмента.

Все пациенты – женщины в возрасте от 43 до 72 лет, средний возраст составил  $(55,38 \pm 6,74)$  лет. У 15 (53,1 %) из них отмечено повреждение мениска правого коленного сустава, у 17 (46,9 %) – левого.

Согласно критериям включения, ни у одной пациентки хондромаляция не превышала 2 ст. по классификации ICRS (табл. 1).

Таблица 1

### Степень хондромаляции у пациентов по классификации ICRS

Локализация	Количество пациентов		
	2 степень	1 а+b степень	0 степень
Внутренний мыщелок большеберцовой кости	25	7	0
Внутренний мыщелок бедренной кости	20	9	3

Всем пациенткам выполнено оперативное артроскопическое вмешательство. До операции и в сроки 12 мес. после операции проведена оценка состояния коленного сустава по 10-балльной шкале ВАШ и шкале-опроснику KOOS. Результат по KOOS с оценкой в диапазоне 79–100 баллов оценивали как хороший, 65–78 баллов – удовлетворительный, меньше 65 баллов – неудовлетворительный.

МРТ коленного сустава выполняли до операции и через 12 мес. после операции, оценивая экструзию прооперированного мениска в T2-режиме во фронтальной проекции от медиального края большеберцовой кости, не считая остеофит, до мениска в области его наибольшей его экструзии. (рис. 1) Данные исследования были выполнены на аппаратах мощностью не менее 1,5 Тесла. Экструзия мениска оценивалась одним специалистом по описанной выше методике.



Рисунок 1. МРТ коленного сустава пациентки А. фронтальная проекция T2 режим. Метод оценки уровня экструзии

Пациенткам выполнена телерентгенография обеих нижних конечностей в положении стоя. На данных рентгенограммах определяли механическую ось нижней конечности и угол НКА (англ.: Hip-Knee-Ankle). Данный угол измеряется между двумя линиями которые проводятся от центра головки бедренной кости и центра блока таранной кости до центра коленного сустава. (рис. 2)



Рисунок 2. Телерентгенограмма пациентки Б. Методика измерения угла НКА

### Условия проведения

Исследования проводились на клинической базе ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

**Продолжительность исследования**

Срок наблюдения за пациентами составил 12 месяцев.

**Этическая экспертиза**

Все пациенты дали письменное добровольное информированное согласие на обработку персональных данных, участие в исследовании и публикацию его результатов.

**Методика оперативного вмешательства**

Все оперативные вмешательства выполнены одной группой хирургов под спинальной анестезией, в положении пациента на спине с боковым упором на уровне средней трети бедра и упором под стопой с целью удержания коленного сустава в положении 90° сгибания. Для адекватной визуализации полости сустава на верхнюю треть бедра накладывали пневматический жгут.

Вначале из стандартных артроскопических доступов выполняли ревизию коленного сустава, оценивая, в том числе, характер разрыва мениска и выраженность хондромаляции. Далее при необходимости выполняли дебридмент нестабильных участков хрящевой ткани, а также «освежали» край разрыва мениска. Для лучшей визуализации и манипуляции в области задневнутреннего отдела сустава выполняли чрескожный релиз медиальной коллатеральной связки в области дистального ее крепления на большеберцовой кости. После приступали к формированию канала в большеберцовой кости.

По классической методике транстибиальной фиксации корня медиального мениска канал для проведения нитей формируют в медиальном мышцелке большеберцовой кости, что, по нашему мнению, вследствие дальнейшего натяжения мениска вниз и вперед, зачастую приводит к избыточному «загибанию» его заднего рога, придавая мениску неестественную форму. По этой причине в своей практике канал к точке инсерции корня мениска мы формировали через наружный мышцелок большеберцовой кости, предварительно выполнив к нему передне-наружный послойный доступ протяженностью до 4 см. Благодаря такому расположению канала последующее натяжение мениска происходило кнаружи, вниз и кпереди, что позиционировало его задний рог более анатомично (рис. 3).

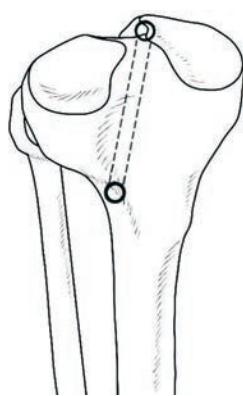


Рисунок 3. Схема формирования транстибиального канала через наружный мышцелок большеберцовой кости.

Для формирования канала использовали специальный направитель фирмы производителя Arthrex (рис.4), а также ретроградное сверло FlipCutter (рис.5), которое благодаря своей конструкции позволяло увеличить диаметр концевой части непосредственно в полости сустава и путем обратного рассверливания на 3–4 мм освежать зону инсерции корня для лучшего сращения и сформировать ложе для мениска.



Рисунок 4. Направитель для формирования канала.



Рисунок 5. Ретроградное сверло.

Через сформированный канал в передне-медиальный артроскопический порт заводили нить-проводник, после чего задний рог мениска прошивали с использованием инструмента Knee Scorpion двумя нерассасывающимися нитями с формированием «петель». Данные нити при помощи нити-проводника выводили на наружный кортикальный слой большеберцовой кости и поочередно завязывали с умеренным натяжением на кортикальной пуговице при вальгусной нагрузке на коленный сустав, которую применяли с целью снижения давления внутреннего мышцелка бедренной кости на задний рог мениска в процессе натяжения и завязывания нитей (рис. 6). На завершающем этапе выполняли фото- и видеоконтроли, санацию сустава. Раны ушивали, накладывали асептическую повязку.



**Рисунок 6.** Этапы фиксации корня мениска: а) прошивание корня медиального мениска при помощи инструмента Knee Scorpion; б) прошитый мениск, нити погружены в ранее сформированный канал и выведены на наружный кортикальный слой большеберцовой кости; в) вид медиального мениска после фиксации и натяжения нитей на кортикальной пуговице

### Послеоперационное ведение пациентов

Послеоперационное ведение было одинаковым для всех включенных в исследование пациентов. На следующие сутки после операции с целью контроля расположения кортикальной пуговицы выполняли рентгенографию коленного сустава в двух проекциях. Осевую нагрузку на оперированную конечность полностью исключали до 6 недель с момента операции. Иммобилизацию нижней конечности не применяли, однако на этот срок ограничивали сгибание в коленном суставе до 90°. В раннем послеоперационном периоде рекомендовали возвышенное положение конечности, а также в первые 3 сут. – локальную гипотермию каждые 2–3 часа. С первого послеоперационного дня выполняли изометрические упражнения для мышц нижних конечностей. Через 6 нед. пациенты отказывались от костылей, восстанавливали походку и полный объем движений в коленном суставе, занимались активным укреплением мышц.

Результаты лечения оценивали через 12 мес. с момента выполнения оперативного вмешательства. Всем пациентам выполняли МРТ коленного сустава для оценки прирастания корня внутреннего мениска и уровня экструзии внутреннего мениска. Кроме того, на контрольном осмотре пациенты заполняли шкалы-опросники ВАШ и KOOS.

Статистическую обработку полученных данных выполняли при помощи программы Microsoft Excel 16.42 и IBM SPSS 23. Для проверки статистической значимости полученных данных использовали t-критерий Стьюдента, на основании которого определяли p-значение. Прогностическую модель, характеризующую зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывали с помощью метода линейной регрессии. Построение прогностической модели вероятности определенного исхода выполняли при помощи метода логистической регрессии. Мерой определенности, указывающей на ту часть дисперсии, которая может быть объяснена с помощью логистической регрессии, служил коэффициент R<sup>2</sup> Найджелкерка. При p<0,05 различия считали статистически значимыми.

### Результаты

У всех пациенток послеоперационный период протекал без особенностей, случаев инфекционных и нейроваскулярных осложнений не отмечено. Через 12 мес. ни у одной пациентки не отмечено отечности коленного сустава.

На контрольных МРТ через 12 мес. после операции у 28 пациенток (87,5 %) отмечено полное заживление, а у четырех (12,5 %) – частичное заживление с наличием усиленного МР-сигнала в области корня внутреннего мениска (рис. 7).



**Рисунок 7.** МРТ через 12 мес после операции: а) полное восстановление; б) частичное восстановление

Средний показатель болевого синдрома снизился с (7,7±0,7) баллов до (1,8±1,2) балла по ВАШ, перейдя из оценочного диапазона «сильная боль» в диапазон «умеренная боль». Разница составила 5,9 баллов. Такое уменьшение болевого синдрома в 4,1 раза является статистически значимым отличием ( $p < 0,05$ ), при условии, что клинически значимым показателем является разница выше двух баллов.

Средний показатель по шкале KOOS улучшился с (38,6±12,5) балла до (75,6±14,4) балла, или в 2,0 раза. Парный t-критерий Стьюдента равен 16,3, критическое значение t-критерия Стьюдента при числе степеней свободы равном 31 составляет 2,04, такие изменения признака являются статистически значимыми. При этом следует отметить, что у 6 пациентов (18,8 %) показатели KOOS превысили 90 баллов, что является отличным результатом.

Средняя величина экструзии мениска до операции составила (4,06±0,82) мм, после операции (2,67±0,71) мм ( $p > 0,05$ ) (табл. 2), что явилось статистически значимым, т.е. экструзия мениска сохранилась, хотя ее степень все же несколько уменьшилась (используемый метод: парный t-критерий Стьюдента). При этом у пяти пациенток (15,6 %) отмечено уменьшение только на (0,38±0,1) мм, то есть осталась практически на прежнем уровне. При проведении анализа влияния степени экструзии мениска на функциональный результат по KOOS до и после операции, установлены статистически значимые изменения (рис. 8) ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: парный t-критерий Стьюдента).

Таблица 2

## Анализ экструзии до операции и через 1 год после операции

Экструзия				p	
до операции		после операции			
M±SD	95% ДИ	M±SD	95% ДИ		
4,06±0,82 (n=32)	3,77–4,36	2,67±0,71 (n=32)	2,42–2,93	< 0,001	

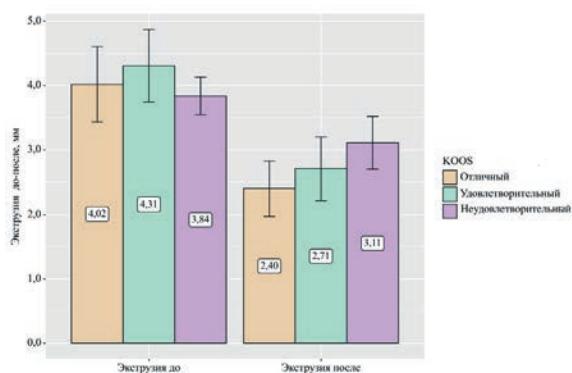


Рисунок 8. Влияние степени экструзии мениска (в мм) на показатели KOOS

При оценке линейной регрессии зависимости результата по KOOS от степени экструзии мениска установлена следующая зависимость. Увеличение экструзии после операции на 1 мм приводит к уменьшению показателя KOOS на 8,02 баллов, а увеличение показателя KOOS на один балл соответствует уменьшению экструзии мениска на 0,02 мм. Полученная регрессионная модель характеризуется коэффициентом корреляции  $r_{xy} = 0,395$ , что соответствует умеренной тесноте связи по шкале Чеддока. Модель была статистически значимой ( $p = 0,025$ ). Полученная модель объясняет 15,6 % наблюдаемой дисперсии KOOS после операции.

При анализе зависимости показателей KOOS после операции от угла НКА, были установлены статистически значимые различия ( $p=0,020$ ) (используемый метод: Критерий Краскела – Уоллиса) (рис. 9).

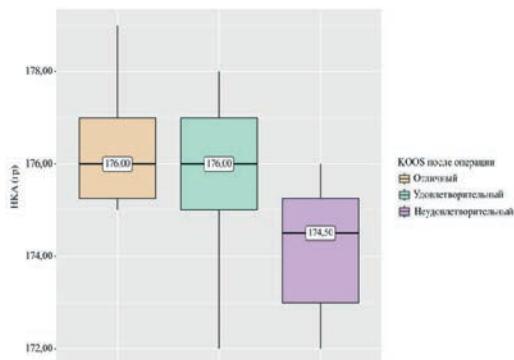


Рисунок 9. Влияние угла НКА (в градусах) после операции на показатели KOOS

Нами также была проанализирована зависимость выраженности болевого синдрома по ВАШ после операции от степени экструзии мениска при помощи линейной регрессии. Установлено, что увеличение экструзии после операции на 1 мм приводит к увеличению показателя ВАШ на 0,794 балла. Полученная регрессионная модель характеризуется коэффициентом корреляции  $r_{xy} = 0,367$ , что соответствует умеренной тесноте связи по шкале Чеддока. Модель была статистически значимой ( $p = 0,039$ ). Полученная модель объясняет 13,5 % наблюдаемой дисперсии ВАШ после операции.

## Обсуждение

Повреждение корня медиального мениска — серьёзная патология, которая при отсутствии своевременного лечения может привести к прогрессирующему разрушению коленного сустава. Экспериментальная работа L. Dzidzishvili et al. [4] продемонстрировала, что ПКММ по тяжести дегенеративных изменений внутреннего отдела коленного сустава и скорости развития остеоартроза сопоставимо с тотальной менискотомией. L. Willinger et al. провели схожую экспериментальную работу на кадаверном материале и получили аналогичные результаты [14].

В настоящее время артроскопический шов корня мениска признан методом выбора при его повреждении и демонстрирует значительное улучшение качества жизни пациентов [6, 15–18]. В настоящем исследовании отсутствует прямая контрольная группа, данные литературы позволяют провести косвенное сравнение результатов. Например, в работе A.J. Krych et al. [19] пациенты с разрывом корня медиального мениска, получавшие консервативное лечение, продемонстрировали снижение показателей KOOS до 45–50 баллов через 12 месяцев, тогда как в нашем исследовании после рефиксации корня мениска средний KOOS составил  $75,6 \pm 14,4$  балла. Это указывает на потенциальное превосходство хирургического подхода, а так же отсутствие оперативного лечения данной патологии влечёт за собой выраженное снижение клинических показателей и может потребовать ранней конверсии в тотальное эндопротезирование.

В нашем исследовании было отмечено статистически значимое улучшение функционального состояния коленного сустава по шкале KOOS после артроскопической рефиксации корня медиального мениска (табл. 3). Схожие результаты продемонстрированы в систематическом обзоре P.S. Chang et al. [20], включившего 994 пациента из 28 исследований. Авторы отметили улучшение функциональных результатов по шкалам-опросникам IKDC, HSS, Lysholm score. Помимо положительных клинических и функциональных результатов, в данной работе отмечается явное замедление прогрессирования гонартроза и, как следствие, более поздняя конверсия в тотальное эндопротезирование, что говорит о явном увеличении выживаемости коленного сустава после восстановления корня мениска. D.R. Lee et al. [21] про-

анализировав 56 исследований с участием 3191 пациента, пришли к аналогичным выводам, хотя большинство работ были низкого уровня доказательности.

Таблица 3

#### Результат оценки по KOOS после операции

Показатели KOOS	$M \pm SD$ (в баллах)	95% ДИ $Q_1 - Q_3$
до операции	$38,62 \pm 12,52$	$34,11 - 43,14$
через 1 год	$75,56 \pm 14,39$	$70,37 - 80,75$

В то же время, в ряде случаев, после оперативного вмешательства сохраняются неоднозначные клинические результаты, несмотря на удовлетворительную МРТ-картину. Так в работе G. R. Jackson et al. [22] продемонстрировали, что общая частота осложнений при рефиксации корня медиального мениска составила 10,4 %, однако только 1,4 % потребовалась конверсия в тотальную артропластику сустава. В нашей работе (табл. 4) при оценке неудовлетворительных результатов отмечено, что среднее значение НКА у этих пациентов составило  $174,50^\circ$  ( $173,00^\circ - 175,25^\circ$ ) и имела средний показатель KOOS  $65,2 \pm 8,4$  балла. Схожие результаты опубликованы в статье K.S. Chung et al. [23], которые при долгосрочном наблюдении отметили, что худший функциональный результат был получен у пациентов с варусной деформацией, составляющей ( $175,3 \pm 1,8$ )°. J.H. Ahn et al. [24] провели исследование и пришли к тем же выводам, при варусной деформации  $>5^\circ$  ( $>175^\circ$ ), результаты лечения сопоставимы с консервативным лечением. Таким образом, пациенты с углом НКА  $<175^\circ$  могут рассматриваться как «контрольная» подгруппа с неблагоприятными исходами, что подчеркивает необходимость предоперационной коррекции оси конечности.

Таблица 4

#### Зависимость оценки функции коленного сустава по KOOS после операции от значений угла НКА

Показатель KOOS	Категории	НКА, °		
		Ме	$Q_1 - Q_3$	n
Через 1 год после операции	Отличный	176,00	$175,25 - 177,00$	14
	Удовлетворительный	176,00	$175,00 - 177,00$	10
	Неудовлетворительный	174,50	$173,00 - 175,25$	8

В нашей работе мы отметили восемь неудовлетворительных результатов, при этом было выявлено, что у данных пациентов средние показатели экструзии внутреннего мениска находились в диапазоне ( $3,11 \pm 0,49$ ) мм, что в 1,5 раза больше ( $p < 0,05$ ), чем у пациентов, функциональные результаты которых находились в диапазонах «удовлетворительно» или «отлично». Полученные данные могут свидетельствовать

о том, что повышенный уровень экструзии мениска отрицательно влияет на клинические результаты. Однако вопрос влияния экструзии внутреннего мениска после рефиксации корня на клинические результаты все еще остается предметом дискуссии. Так, в своем исследовании Daniel J. Kaplan et al. [12] отметили, что при увеличении средней величины экструзии после операции на 1,24 мм, показатели IKDC и Lysholm достоверно уменьшались, а так же при имеющейся до операции экструзии  $>3$  мм, после операции не отмечено уменьшение. H.K. Moon et al. [11], в своем исследовании долгосрочных результатов продемонстрировали, что экструзия медиального мениска увеличилась после оперативного вмешательства с 3,6 до 5,0 мм. В противовес указанным работам S.B. Kim et al. (13) обнаружили, что экструзия после операции уменьшилась у 87 % исследуемых пациентов и снизилась до 2,94 мм. J.R. Khoo et al. [25] провели систематический обзор с метаанализом, и пришли к выводам что меньшая экструзия мениска приводит к лучшим клиническим результатам и лучшему приживлению при послеоперационном МРТ исследовании. Однако в работе S. E. Flores et al. [26] не было выявлено корреляции между наличием экструзии до операции и исходами лечения пациентов. В нашей работе мы отметили уменьшение экструзии у 100 % пациентов (табл. 5), что коррелировало с улучшением функционального результата по KOOS и уменьшением болевого синдрома. Это косвенно свидетельствует о преимуществе предложенной техники. На этом фоне интересной представляется работа N.D. Leafblad et al. [27], в которой продемонстрирована техника централизации медиального мениска, заключающаяся в восстановлении анатомического положения мениска при его экструзии, что теоретически может обеспечить улучшение клинических показателей. Централизация мениска заключается в том, что производиться прошивание тела мениска с фиксацией к большеберцовой кости (транстибиальная или анкерная) тем самым происходит вправление мениска в сустав и восстановление функции менискотибимальной связки. Y. Mochizuki et al. [28] в свое работе продемонстрировали что данная процедура значительно улучшила клинические результаты и уменьшила экструзию мениска. A.J. Krush et al. [29] пришли к схожим результатам. Остается не ясным, какие показания к выполнению централизации мениска при повреждениях корня. В своей работе K. Doan et al. [30] продемонстрировали, что при повреждении корня медиального мениска и менискотибимальной связки, экструзия значительно больше, чем при изолированном повреждении корня мениска, однако в этой работе они показали что изолированное восстановление корня мениска значительно уменьшает экструзию и давление на внутренних мышцах большеберцовой и бедренной кости. В этой же работе они продемонстрировали, что изолированное повреждение менискотибимальной связки не изменяет контактное давление во внутреннем отделе коленного сустава.

Таблица 4

**Зависимость оценки функции коленного сустава по KOOS после операции от значений угла НКА**

Результат по KOOS через 1 год после операции	Экструзия				<i>p</i>	
	до операции		через 1 год после операции			
	M ± SD	95% ДИ	M ± SD	95% ДИ		
Отличный (n=14)	4,02±1,02	3,43–4,60	2,40±0,74	1,97–2,82	<0,001	
Удовлетворительный (n=10)	4,31±0,79	3,74–4,87	2,71±0,69	2,21–3,20	<0,001	
Неудовлетворительный (n=8)	3,84±0,35	3,55–4,13	3,11±0,49	2,70–3,52	0,009	
<i>p</i>	0,481		0,072		–	

Таким образом, рефиксация медиального мениска приводит к достижению хороших функциональных результатов у большинства пациентов, что подтверждается как данными литературы, так и нашими исследованиями. Вместе с тем, на результаты операции оказывает влияние ряд факторов, среди которых можно указать степень деформации оси нижней конечности (угол НКА), а также величину экструзии мениска. Однако важно продолжать дальнейшие исследования, направленные на оценку и снижение влияния факторов риска, ведущих к неудовлетворительным результатам.

#### Выходы

Рефиксация корня медиального мениска коленного сустава, выполненная с применением модифицированной хирургической техники тарнстибильной фиксации, у пациентов с поражениями суставного хряща не выше 2 степени по классификации ICRS, позволила добиться отличных и удовлетворительных клинических и функциональных результатов в 75,0 % наблюдений, что позволяет рекомендовать эту операцию в качестве метода выбора при верификации соответствующих повреждений.

После операции наблюдалось статистически значимое уменьшение экструзии мениска с 4,06 мм до 2,67 мм. Хотя экструзия полностью не исчезла установлена зависимость степени экструзии медиального мениска после артроскопической фиксации его корня с функцией коленного сустава (умеренная частота связи по шкале Чеддока -  $r_{xy} = 0,395$ ), что позволяет использовать данный критерий как один из маркеров прогнозирования и оценки результатов лечения. Это подчеркивает важность хирургической техники восстановления мениска.

При варусной деформации нижней конечности со значением угла НКА  $<175^\circ$  функциональные результаты после фиксации корня внутреннего мениска без коррекции этого

угла статистически значимо ухудшаются, и оцениваются как неудовлетворительные, что требует выполнения дополнительных хирургических техник для коррекции угла варусной деформации до операции.

Ограничениями данного исследования являются сравнительно небольшая выборка пациентов, короткий период наблюдения и отсутствие группы сравнения. Также следует изучить эффективность комбинации рефиксации с централизацией мениска и коррекцией угла варусной деформации.

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

#### Список литературы:

1. LaPrade C.M., James E.W., Cram T.R. et al. Meniscal root tears: a classification system based on tear morphology. *The American journal of sports medicine*. 2015; 43 (2): 363–369. <https://doi.org/10.1177/0363546514559684>
2. Langhans M.T., Lamba A., Saris D.B. et al. Meniscal extrusion: diagnosis, etiology, and treatment options. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2023; 16 (7): 316–327. <https://doi.org/10.1007/s12178-023-09840-4>
3. Furumatsu T., Okazaki Y., Okazaki Y. et al. Injury patterns of medial meniscus posterior root tears. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2019; 105 (1): 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.10.001>
4. Dzidzishvili L., López-Torres I.I., Guerrero C.C. et al. Developing an experimental model of early knee osteoarthritis after medial meniscus posterior root release: an in vivo study. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2022; 9(1): 66. <https://doi.org/10.1186/s40634-022-00501-y>
5. Edwards C., Goldman B.H., Turley J. et al. Outcomes after surgical repair of medial meniscal root tears: a review. *The Journal of Knee Surgery*. 2021; 34(14): 1599–1602. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1710565>
6. Pache S., Aman Z.S., Kennedy M. et al. Meniscal root tears: current concepts review. *Archives of Bone and Joint Surgery*. 2018; 6 (4): 250. <https://doi.org/10.1177/0363546511435622>
7. Krivich L.M., Kunze K.N., Parvaresh K.C. et al. Comparison of long-term radiographic outcomes and rate and time for conversion to total knee arthroplasty between repair and meniscectomy for medial meniscus posterior root tears: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. 2022; 50 (7): 2023–2031. <https://doi.org/10.1177/03635465211017514>
8. Lee D.R., Reinholtz A.K., Till S.E. et al. Current reviews in musculoskeletal medicine: current controversies for treatment of meniscus root tears. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2022; 15 (4): 231–243. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09759-2>
9. Fauchet S.C., Geisler B.P., Chahla J. et al. Meniscus root repair vs meniscectomy or nonoperative management to prevent knee osteoarthritis after medial meniscus root tears: clinical and economic effectiveness. *The American journal of sports medicine*. 2019; 47 (3): 762–769. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.10.001>
10. Hwang B.Y., Kim S.J., Lee S. et al. Risk factors for medial meniscus posterior root tear. *The American journal of sports medicine*. 2012; 40 (7): 1606–1610. <https://doi.org/10.1177/0363546512447792>

11. Moon H.K., Koh Y.G., Kim Y.C. et al. Prognostic factors of arthroscopic pull-out repair for a posterior root tear of the medial meniscus. *The American journal of sports medicine*. 2012; 40 (5) : 1138-1143. <https://doi.org/10.1177/0363546511435622>
12. Kaplan D.J., Alaia E.F., Dold A.P. et al. Increased extrusion and ICRS grades at 2-year follow-up following transtibial medial meniscal root repair evaluated by MRI. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2018; 26: 2826-2834. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4755-8>
13. Kim S.B., Ha J.K., Lee S.W. et al. Medial meniscus root tear refixation: comparison of clinical, radiologic, and arthroscopic findings with medial meniscectomy. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2011; 27(3): 346-354. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2010.08.005>
14. Willinger L., Lang J.J., Berthold D. et al. Varus alignment aggravates tibiofemoral contact pressure rise after sequential medial meniscus resection. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2020; 28: 1055-1063. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05654-5>
15. Moore M., Levitt S., Lin C.C. et al. Clinical outcomes following transtibial medial meniscal root repair are maintained at long-term follow-up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2024; 32 (11): 2959-2966. <https://doi.org/10.1002/ksa.12321>
16. Ro K.H., Kim J.H., Heo J.W. et al. Clinical and radiological outcomes of meniscal repair versus partial meniscectomy for medial meniscus root tears: a systematic review and meta-analysis. *Orthopaedic journal of sports medicine*. 2020; 8 (11): 232. <https://doi.org/10.1177/2325967120962078>
17. Day M.S., Ryan M.K., Strauss E.J. Meniscal Root Tears: Evaluation and Management. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*. 2018; 76 (1): 14-21. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.15.00082>
18. Bernard CD, Kennedy NI, Tagliero AJ, et al. Medial meniscus posterior root tear treatment: a matched cohort comparison of nonoperative management, partial meniscectomy, and repair. *The American journal of sports medicine*. 2020; 48 (1): 128-132. <https://doi.org/10.1177/0363546519888212>
19. Krych A.J., Reardon P.J., Johnson N.R. et al. Non-operative management of medial meniscus posterior horn root tears is associated with worsening arthritis and poor clinical outcome at 5-year follow-up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017; 25: 383-389. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4359-8>
20. Chang, P.S., Radtke L., Ward P., Brophy R.H. Midterm outcomes of posterior medial meniscus root tear repair: a systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*. 2022; 50 (2): 545-553. <https://doi.org/10.1177/0363546521998297>
21. Lee D.R., Lu Y., Reinholtz A.K., et al. Root repair has superior radiological and clinical outcomes than partial meniscectomy and nonoperative treatment in the management of meniscus root tears: a systematic review. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2025; 41 (2): 390-417. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09759-2>
22. Jackson G.R., Warrier A.A., Wessels M., et al. A systematic review of adverse events and complications after isolated posterior medial meniscus root repairs. *The American Journal of Sports Medicine*. 2024; 52 (4): 1109-1115. <https://doi.org/10.1177/03635465231157758>
23. Chung K.S., Ha J.K., Ra H.J., Kim J.G. Preoperative varus alignment and postoperative meniscus extrusion are the main long-term predictive factors of clinical failure of meniscal root repair. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2021; 29 (12): 4122-4130. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06405-7>
24. Ahn J., Jeong H., Lee Y., et al. Comparison between conservative treatment and arthroscopic pull-out repair of the medial meniscus root tear and analysis of prognostic factors for the determination of repair indication. *Archives of Orthopaedic & Trauma Surgery*. 2015; 135 (9). <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2269-8>
25. Khoo J.R., Yau W.P.. Repair of meniscus root tear-Is there a difference between medial meniscus root repair and lateral meniscus root repair? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery*. 2023; 31 (2): 102. <https://doi.org/10.1177/10225536231175233>
26. Flores S.E., Manatrakul R., Anigwe C., et al. Prognostic Factors on Preoperative MRI for Patient-Reported Outcomes After Posterior Medial Meniscus Root Repair. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2024; 12 (8): 232. <https://doi.org/10.1177/23259671241263648>
27. Leafblad N.D., Smith P.A., Stuart M.J., Krych A.J. Arthroscopic centralization of the extruded medial meniscus. *Arthroscopy techniques*. 2021; 10 (1): 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2020.09.005>
28. Mochizuki Y., Kawahara K., Samejima Y., et al. Short-term results and surgical technique of arthroscopic centralization as an augmentation for medial meniscus extrusion caused by medial meniscus posterior root tear. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*. 2021; 31: 1235-1241. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-02874-9>
29. Krych A.J., Boos A.M., Lamba A., Smith P.A. Satisfactory clinical outcome, complications, and provisional results of meniscus centralization with medial meniscus root repair for the extruded medial meniscus at mean 2-year follow-up. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2024; 40 (5): 1578-1587. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2023.10.003>
30. Doan K., Dey Hazra M.E., Brown J.R., et al. Biomechanical analysis of meniscotibial ligament tenodesis to treat meniscal extrusion in the setting of posterior medial meniscus root repair. *The American Journal of Sports Medicine*. 2023; 51 (12): 3204-3210. <https://doi.org/10.1177/03635465231193961>

## А в т о р ы :

**Римский Арсений Александрович** – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail arsim@mail.ru

**Андрей Владимирович Гаркави** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail avgar22@yandex.ru

**Дмитрий Алексеевич Романов** – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail dr.romanov67@mail.ru

**Дарья Александровна Найда** – кандидат медицинских наук, заведующая кабинетом биологической и хирургической реконструкции крупных суставов ФГБУ «ГВКТ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва, 105094, Россия, e-mail dariaanayda@gmail.com.

**Лев Олегович Кнеллер** – кандидат медицинских наук, заведующий отделением – врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения АО «К 31 Сити», Москва, 123112, Россия, e-mail okneller90@gmail.com

**Геннадий Михайлович Кавалерский** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail: gkavalerskiy@mail.ru

**Автор, ответственный за переписку:**

**Римский Арсений Александрович**, 89265214545, arsrin@mail.ru

**Authors:**

**Rimskiy Arseniy A.** – I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, Postgraduate of the department, Moscow, 119991, Russia, e-mail dr.romanov67@mail.ru

**Garkavi Andrey V.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of

Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail avgar22@yandex.ru

**Romanov Dmitriy A.** – I.M. PhD of Medical Sciences, Sechenov First Moscow State Medical University, Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, assistant of the department, Moscow, 119991, Russia, e-mail dr.romanov67@mail.ru

**Daria A. Naida** – MD, PhD, Head of the office of biological and surgical reconstruction of large joints of the Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko Russian Defense Ministry, Moscow, 105094, Russia e-mail dariaanayda@gmail.com

**Kneller Lev O.** – PhD of Medical Sciences, AO «K 31 City», Trauma and orthopedic surgeon and head of department, Moscow, 123423, Russia, e-mail okneller90@gmail.com

**Kavalersky Gennady M.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail gkavalerskiy@mail.ru

**Corresponding author:**

**Rimskiy Arseniy Aleksandrovich**, arsrin@mail.ru

УДК 617.3

© Зубиков В.С., Перецманас Е.О., Герасимов И.А., Рукин Я.А., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## ВЛИЯНИЕ ВИЧ ИНФЕКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХЭТАПНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ПРИ СЕПТИЧЕСКОМ КОКСИТЕ

**В.С. ЗУБИКОВ<sup>1</sup>, Е.О. ПЕРЕЦМАНАС<sup>1</sup>, И.А. ГЕРАСИМОВ<sup>1</sup>, Я.А. РУКИН<sup>\*1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, 127994, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО "Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, 117513, Россия

### Аннотация

**Введение.** Двухэтапное эндопротезирование при деструктивной форме септического коксита (СК) с использованием цементных артикулирующих спайсеров с антибиотиками в настоящее время используется весьма ограниченным кругом авторов в отличие от похожей тактики, применяющейся при лечении перипротезной инфекции. Данные по эффективности метода на основе анализа значимого по объему клинического материала представлены лишь в единичных работах, и полностью отсутствуют данные о применении метода у больных с ВИЧ инфекцией.

**Цель исследования.** Оценка эффективности метода двухэтапного эндопротезирования с использованием артикулирующих цементных спайсеров, насыщенных антибактериальными препаратами, при лечении деструктивных форм септического коксита, включая случаи с ВИЧ-инфекцией.

**Материал и методы.** В исследование включено 50 пациентов с септическим кокситом, которым в 51 случае выполнялась санация тазобедренного сустава с использованием цементных артикулирующих спайсеров с антибиотиками. Больные были разделены на группы. В 1-ю группу вошли 40 пациентов (41 случай), не страдающих ВИЧ инфекцией, во 2-ю группу – 10 пациентов с ВИЧ инфекцией. В 1-й группе больных, интактных по ВИЧ инфекции, второй этап хирургического лечения выполнен в 37 (90,2 %) случаях, а во 2-й группе, с ВИЧ инфекцией – в 8 (80 %).

**Результаты.** Положительным результатом проведенного хирургического лечения считали выполнение двух этапов хирургического лечения при отсутствии инфекции установленного эндопротеза, а также восстановление опороспособности конечности. Таким образом, в 1-й группе положительные результаты получены в 34 (82,9 %) из 41 случая. Во 2-й группе - только в 4-х (40 %) из 10 случаев. Функциональные результаты по системе HHS оценивали в отдельных группах только у пациентов, которым выполнены оба этапа хирургического лечения, включая случаи с тяжелыми инфекционными осложнениями, где эндопротез был удален. Оценка в баллах по системе HHS в первой группе больных (n = 37) дала существенное улучшение средних показателей: с 39,1±10,7 (до начала хирургического лечения) до 89,8±11,2 (после получения окончательного результата). Подобная оценка во 2-й группе у больных с ВИЧ инфекцией (n=8) дала следующие данные: 38,3±6,7 (до хирургического лечения) и 51±7,8 (после оценки окончательного результата).

**Заключение.** Результаты исследования показали достаточную эффективность двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава при деструктивной форме септического коксита у больных без ВИЧ инфекции. У ВИЧ инфицированных больных результаты были существенно хуже в связи с большим количеством инфекционных осложнений как на первом, так и на втором этапе хирургического лечения.

**Ключевые слова:** септический коксит; двухэтапное эндопротезирование тазобедренного сустава; цементный артикулирующий спайсер с антибиотиками; ВИЧ инфекция.

**Конфликт интересов:** ни у одного из авторов нет конфликта интересов, который мог бы ненадлежащим образом повлиять на эту работу.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Зубиков В.С., Перецманас Е.О., Герасимов И.А., Рукин Я.А. влияние вич инфекции на результаты двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава при септическом коксите. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 102–111.

## INFLUENCE OF HIV INFECTION ON THE OUTCOMES OF TWO-STAGE HIP ARthroPLASTY IN SEPTIC COXITIS

**ZUBIKOV V. S.<sup>1</sup>, PERETZMANAS E. O.<sup>1</sup>, GERASIMOV I. A.<sup>1</sup> RUKIN YA. A.<sup>\*1,2</sup>**

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, 127994, Russia

<sup>2</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, Moscow, 117513 Russia

**Abstract**

**Introduction:** Two-stage total hip arthroplasty for destructive septic coxitis using cemented articulating spacers with antibiotics is currently used by a very limited number of authors, in contrast to a similar approach used to treat hip periprosthetic infection. Data on the effectiveness of this method, based on the analysis of significant clinical observations, are presented only in a few studies, and there are no data on its use in patients with HIV infection. Purpose of the study. Evaluation of the effectiveness of a two-stage hip arthroplasty using articulating cement spacers with antibiotics in the treatment of destructive forms of septic coxitis, including cases with HIV infection.

**Materials and Methods.** The study included 50 patients with septic coxitis, 51 of whom underwent hip joint debridement using cemented articulating spacers with antibiotics. The patients were divided into groups. Group 1 included 40 patients (41 cases) who were HIV-negative, and Group 2 included 10 patients with HIV infection. In Group 1, the second stage of surgical treatment was performed in 37 (90.2%) patients, while in Group 2, the second stage of surgical treatment was performed in 8 (80%) patients.

**Results.** A positive outcome of the surgical treatment was considered to be the completion of two stages of surgical treatment in the absence of infection of the hip endoprosthesis, as well as the restoration of the weight-bearing ability of the limb. Thus, in the Group 1, positive results were obtained in 34 (82.9%) of 41 cases. In the Group 2 - only in 4 (40%) of 10 cases. Functional results according to the HHS system were assessed only in patients who underwent both stages of surgical treatment, including cases with severe infectious complications, where the endoprosthesis was removed. The assessment in points according to the HHS system in the first group of patients ( $n = 37$ ) gave a significant improvement in the average indicators: from  $39.1 \pm 10.7$  (before surgical treatment) to  $89.8 \pm 11.2$  (after obtaining the final result). A similar assessment in the 2nd group of patients with HIV infection ( $n=8$ ) yielded the following data:  $38.3 \pm 6.7$  (before surgical treatment) and  $51 \pm 7.8$  (after assessing the final result).

**Conclusion.** The study demonstrated the reasonable effectiveness of two-stage hip arthroplasty for destructive septic coxitis in patients without HIV infection. In HIV-infected patients, the results were significantly worse due to the higher incidence of infectious complications in both the first and second stages of surgery.

**Key words:** septic coxitis, two-stage hip arthroplasty, cemented articulating spacer with antibiotics, HIV infection.

**Conflict of interests:** None of the authors has a conflict of interest that could unduly influence this work.

**Funding:** This study has not received any specific grants from funding organizations in the public, commercial or non-profit sectors.

**For citation:** Zubikov V.S., Peretsmanas E.O., Gerasimov I.A., Rukin Y.A. influence of hiv infection on the outcomes of two-stage hip arthroplasty in septic coxitis. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 102–111.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.102-111

**Введение**

Септический коксит (СК) – достаточно редкое, но опасное заболевание, способное быстро разрушить тазобедренный сустав. Частота возникновения септического артрита тазобедренного и коленного суставов, по данным литературы, составляет от 2 до 10 случаев на 100 000 населения [1, 2]. Авторами подчеркивается, что в возникновении септического артрита важными факторами являются: сахарный диабет, состояния иммунодефицита, а также предшествующие внутрисуставные инъекции кортикостероидных препаратов [3]. Ключевым фактором в случаях СК являются сроки протекания инфекции (от ее возникновения до диагностики и начала активного лечения) При раннем выявлении инфекции сустава и выделении возбудителя может быть применена операция открытого или артроскопического дебридмента сустава на фоне этиотропной антибактериальной терапии [4]. Если уже выявляются деструктивные изменения суставного хряща и костной ткани, то требуется применение более радикальной хирургии. Однако, широко применяемая ранее резекционная артропластика по-Girdlestone, несмотря на успехи в лечении самой инфекции, давала неудовлетворительные ортопедические результаты из-за формирования укорочения конечности, нарушения подвижности сустава и ограниченной опоры на оперированную ногу [5]. При последующем эндопротезировании тазобедренного

сустава после резекционной артропластики хорошее функциональное восстановление наблюдалось далеко не всегда [6]. Другими авторами у пациентов после резекционной артропластики отмечен весьма высокий уровень рецидивов инфекции – 31.6 % [7]. Для хирургического лечения деструктивной формы СК по аналогии с лечением перипротезной инфекции применяется двухэтапный метод эндопротезирования с использованием артикулирующих цементных спайсеров, насыщенных антибиотиками.

В последние годы накоплен определенный опыт по применению двухэтапного метода эндопротезирования при СК с использованием антибактериального артикулирующего спайсера из цемента с антибиотиками. Однако, приводимое авторами количество клинических наблюдений не так велико. Наибольшее количество наблюдений приведено в обзорах С. Ху и соавт. [8] и А. Russo и соавт. [9]. Рядом авторов приводится анализ от 20 до 28 наблюдений [10, 11, 12, 13, 14], другими – от 11 до 15 наблюдений [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21], а некоторыми – всего от 5 до 9 случаев [22, 23, 24]. Эффективность применения данного метода остается недостаточно ясной, данные широко колеблются в зависимости от количества наблюдений.

В российской печати имеются лишь единичные работы, касающихся проблем двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава при СК [13, 20, 25].

В современной литературе имеются противоречивые данные влияния ВИЧ инфекции на результаты эндопротезирования суставов. По одним данным, наличие ВИЧ инфекции у пациента не является отягощающим обстоятельством при эндопротезировании суставов при условии постоянного применения высокоактивной антиретровирусной терапии [26, 27]. Другие авторы сообщают об ухудшении результатов эндопротезирования у ВИЧ инфицированных больных [28, 29]. В то же время, в доступной литературе мы не нашли данных как о фактах, так и о результатах эндопротезирования тазобедренного сустава у больных с СК и ВИЧ инфекцией, в частности, при применении двухэтапной методики.

### Цель исследования

Оценить эффективность метода двухэтапного эндопротезирования с использованием артикулирующих цементных спайсеров, насыщенных антибактериальными препаратами, при лечении деструктивных форм септического коксита, включая случаи с ВИЧ-инфекцией.

### Материал и методы

Проведено проспективное когортное моноцентровое исследование, в которое включено изучение результатов 51 случая хирургического лечения у 50 пациентов с деструктивной формой СК. У одного из пациентов имел место двусторонний процесс. Операции выполнены в период с 2012 по 2024 гг. Критериями включения являлись случаи активно протекающего СК неспецифической этиологии с наличием необратимой костно-хрящевой деструкции в суставе как при отсутствии, так и при наличии ВИЧ инфекции. Критериями исключения являлись случаи туберкулеза сустава.

Дизайн работы предусматривал осуществление эндопротезирования всем больным по двухэтапной методике с использованием на 1-м этапе артикулирующих спайсеров из цемента, насыщенного антибактериальными препаратами [31]. Предусматривалось получение данных о результатах лечения как по основной когорте пациентов, так и сравнительная оценка результатов в зависимости от ВИЧ-статуса пациента.

Все 50 пациентов подписали информированное согласие на участие и были включены в исследование, так как соответствовали критериям включения.

### Анализ клинических данных

В общей когорте больных преобладали мужчины – 32 (64,0 %), пациентов женского пола было существенно меньше – 18 (36,0 %).

Возраст больных на момент начала хирургического лечения составлял от 31 до 69 лет, в среднем  $-53,23 \pm 11,97$  лет.

Распределение пациентов по полу и возрасту представлено в таблице 1.

Таблица 1

### Распределение пациентов общкой когорты по возрасту и полу

Пол	31–45 лет (группа молодых)	46–59 лет (группа среднего возраста)	60–69 лет (старшая возрастная группа)	Итого:
Мужской	13 (26,0%)	7 (14,0%)	12 (24,0%)	32 (64,0%)
Женский	5 (10,0%)	4 (8,0%)	9 (18,0%)	18 (36,0%)
Всего	18 (36,0 %)	11 (22,0%)	21 (42,3%)	50 (100%)

Как видно из таблицы 1, случаи заболевания септическим кокситом не имели отчетливой связи с возрастом больных и встречались во всех возрастных группах в целом, несколько превалируя в старшей возрастной группе, как среди мужчин, так и женщин.

Для оценки результатов исследования все 50 пациентов с деструктивным септическим кокситом ретроспективно были разделены на две группы в зависимости от наличия или отсутствия ВИЧ инфекции:

Группа 1 – пациенты, не имеющие ВИЧ инфекции (40 пациентов);

Группа 2 – пациенты с ВИЧ инфекцией (10 пациентов).

При этом в первой группе нами пролечен пациент с двусторонним септическим кокситом, и количество наблюдений составило 41 (у 40 больных)

Всем пациентам с деструктивным септическим кокситом до назначения хирургического лечения осуществлялась инвазивная диагностика: трепанобиопсия головки бедренной кости с взятием биологического материала из зон костной деструкции (в одном или более локусов) с последующим микробиологическим, гистологическим и молекулярно-генетическим исследованием с использованием полимеразно-цепной реакции (ПЦР). Последняя выполнялась с целью исключения туберкулеза сустава. Другой целью предоперационной диагностики была верификация возбудителя инфекции, что являлось непростой задачей, так как у целого ряда больных с септическим кокситом существовала история предшествующего лечения антибактериальными препаратами, в основном – антибиотиками широкого спектра действия. Поэтому верификация неспецифической инфекции была частично выполнена с помощью микробиологического исследования, частично – по анамнестическим данным или из представленной медицинской документации, а у части больных возбудитель инфекции выявить не удалось, хотя диагноз «септического коксита» сомнений не вызывал (таблица 2). В подавляющем большинстве случаев при септическом коксите мы наблюдали гематогенный путь инфицирования сустава и только в одном случае инфицирование возникло

ятрогенным путем после хирургического вмешательства на суставе с оставлением в ране инородного тела. Характер выявленной инфекции и распределение по группам больных представлены в таблице 2. В отдельных случаях у больных при исследовании биологического материала получены ассоциации патогенных микроорганизмов. При возникновении осложнений разные патогены могли выявляться на разных этапах хирургического лечения.

Таблица 2

**Характер бактериальной инфекции  
при септическом коксите в группе больных, интактных  
по ВИЧ инфекции и в группе ВИЧ инфицированных**

Вид инфекции	Группы больных	
	Группа 1 интактные по ВИЧ	Группа 2 ВИЧ инфи- цированные
MSSA	27	4
MRSA	1	-
Pseudomonas aeruginosa	1	1
Klebsiella pneumoniae	1	-
Enterococcus	1	-
Streptococcus	1	-
Acinetobacter baumanii	-	1
Mycobacterium chelonae	1	-
Proteus mirabilis	1	-
Полими- кробная инфекция:	MRSA, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa	1
	Strept. Epidermidis, MSSA	-
	Staph. Pettenkofer, Staph. Warner	1
	Proteus mirabilis, E. coli, Pseudomonas aeruginosa	1
	MSSA, Klebsiella pneumoniae	-
Верифицировать не удалось	5 (12,2%)	1 (10%)
ИТОГО:	41	10

– MSSA – метициллин чувствительный золотистый ста- филококк

– MRSA – метициллин резистентный золотистый ста- филококк

Все пациенты с ВИЧ инфекцией (10 наблюдений) имели 4Б стадию заболевания. У этих больных оценивали как вирусную нагрузку, так и степень снижения иммунитета по уровню CD4 клеток в крови. У 4-х пациентов вирусная нагрузка в крови на время лечения септического коксита отсутствовала – (0), у остальных 6 пациентов она колебалась в значениях от 50 до 686 копий, в среднем –  $167 \pm 255$  копий.

Уровень CD4 клеток в крови находился в диапазоне от 140 до 1072, в среднем –  $447,7 \pm 274,5$ .

**Особенности хирургического лечения**

В соответствии с принятым дизайном работы планировалось двухэтапное лечение. На первом этапе после санирующей резекции сустава устанавливали артикулирующий спейсер из цемента, насыщенного антибиотиками. На ранних этапах выполнения работы использовали премоделированный спейсер промышленного производства «Tecres», который изготовлен из цемента, официально насыщенного гентамицином (рисунок 1г). Подобный спейсер установлен нами в 12 случаях (23,5%). Однако, ограниченность спектра антибактериального действия гентамицина, а также сложность адаптации стандартных размеров спейсера к индивидуальной анатомии нативного тазобедренного сустава при септическом коксите привели к необходимости выработки технологии индивидуального изготовления цементного артикулирующего спейсера из метилметакрилового цемента интраоперационно (рисунки 2б и 2в). Такие цементные спейсера, изготовленные во время операции, использованы нами в 39 наблюдениях (76,5%). Индивидуальное изготовление спейсера на операции для случаев септического коксита осуществляли в два этапа, обычно используя две дозы цемента. Ножка такого спейсера с установленной внутри нее арматурой отливалась из цемента высокой вязкости в универсальной форме. Наш опыт показал, что для большинства случаев коксита (в отличие от случаев перипротезной инфекции) паз в канале бедренной кости для ножки спейсера может быть сформирован одним рашпилем выбранного (малого) размера, а для формирования ножки спейсера использована универсальная отливочная силиконовая форма. Головку спейсера отливали в серии полушироковидных силиконовых форм с разницей в диаметре в 2 мм (от 46 мм до 62 мм). Это давало возможность получить размер головки спейсера, соответствующий размеру удаленной головки бедра при ее относительной сохранности (или размеру полушироковидной фрезы, хорошо адаптирующейся в ацетабуллярной ямке при ее обработке (рисунок 2б). Для улучшения качества элюирования цемента создана полезная модель цементного спейсера с двуслойной головкой, где антибактериальным препаратом насыщали только поверхностный слой цемента [32].

Как видно из таблицы 3, в большем количестве случаев [34] был использован цементный спейсер, сформированный хирургом в операционной.

Премоделированный спейсер «Tecres» из цемента с гентамицином применялся более ограниченно и, как указывалось, на ранних этапах работы, в основном в группе пациентов, интактных по ВИЧ инфекции. Более широкое применение спейсеров, изготовленных хирургом интраоперационно, было обусловлено их преимуществом, изложенным выше.

Следует отметить, что большее количество «самодельных» спейсеров в группе ВИЧ инфицированных больных давало возможность использования большего спектра антибиотиков в цементе и применения более анатомичных размеров.

Таблица 3

**Характер установленного цементного спейсера  
в группе больных, интактных  
по ВИЧ инфекции и в группе ВИЧ инфицированных**

Группы больных	Характер установленного спейсера. (n -51)		
	Премоделированный «Tecres»	Сделанный в операционной с отливкой 2-х цементных модулей	
		- с гомогенной головкой	- с двуслойной головкой <sup>2</sup>
Группа 1	11	28	2
Группа 2	1	6	3
Итого:	12	34	5
Итого:	12	39	

Как видно из таблицы 3, премоделированные спейсеры промышленного производства с гентамицином использовались преимущественно в группе пациентов без ВИЧ инфекции, что объясняется тем фактом, что набор клинического материала по ВИЧ инфекции начал осуществляться несколько позже, после того как были оценены негативные качества премоделированных спейсеров и возникла необходимость к отказу от их применения.

Таблица 4

**Распределение пациентов  
общей когорты по возрасту и полу**

Антибиотики	Группы больных	
	Группа 1	Группа 2
Гентамицин	31	4
Ванкомицин	2	1
Клиндамицин	-	1
Фторхинолоны	2	1
Цефтриаксон	-	1
Амикацин	2	-
Линезолид	4	1
Азитромицин	-	1
ИТОГО:	41	10

В структуре применения антибактериальных препаратов для насыщения костного цемента в группе больных интактных по ВИЧ инфекции использование гентамицина почти в два раза превышало данные по группе с ВИЧ инфекцией, что, как уже упоминалось, связано с большим применением в группе 1 премоделированных спейсеров промышленного производства из цемента, насыщенного гентамицином.

Приводим клинический пример случая двухэтапного хирургического лечения септического коксита с использованием премоделированного цементного спейсера (промышленного производства) из цемента, насыщенного гентамицином (рисунок 1).

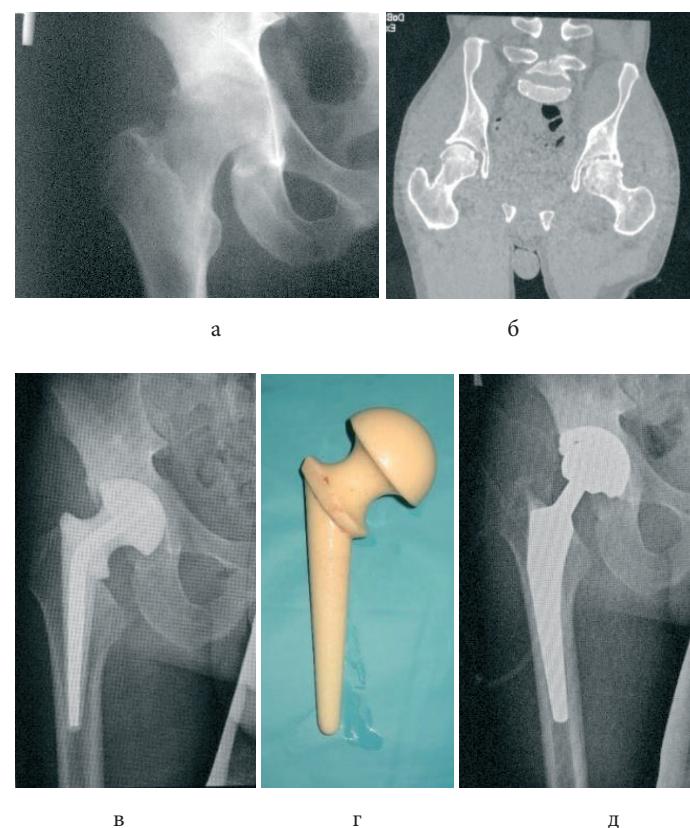


Рисунок 1. Случай двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава у пациента 40 лет, с деструктивной формой правостороннего септического коксита с применением премоделированного цементного спейсера с гентамицином: а - рентгенограмма пораженного сустава; б - компьютерная томография сустава; в - рентгенограмма тазобедренного сустава после установки спейсера на первом этапе хирургического лечения; г - внешний вид премоделированного цементного спейсера тазобедренного сустава (после удаления); д - рентгенограмма тазобедренного сустава с установленным эндопротезом на втором этапе хирургического лечения

В качестве альтернативного варианта приводим пример случая двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава при септическом стафилококковом коксите с использованием цементного спейсера, изготовленного интраоперационно с отливанием его компонентов в силиконовых формах.



а



б



в



г

д

е

**Рисунок 2.** Случай двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава у больной М, 46 лет с деструктивной формой правостороннего септического коксита с использованием интраоперационно изготовленного спейсера: а - рентгенограммы больной перед операцией; б - интраоперационное двухэтапное формирование анатомически адаптированного артикулирующего цементного спейсера в силиконовых формочках на 1-ом этапе хирургического лечения; в - рентгенограммы тазобедренного сустава с установленным спейсером; г - внешний вид удаленного цементного спейсера на 2-м этапе хирургического лечения; д - рентгенограммы тазобедренного сустава с установленным эндопротезом.

У 7 пациентов на фоне протекания септического коксита были отмечено формирование значительных анатомических изменений тазовой кости в области вертлужной впадины, в частности, – недостаточность верхнего края вертлужной впадины, что не позволяло устойчиво имплантировать головку цементного спейсера. В таких случаях на 1-м этапе хирургического лечения была осуществлена установка спейсера с созданием цементного надацетабулярного навеса по запантентованной методике (рисунок 3) [33].



**Рисунок 3.** Спейсер с армированным навесом у пациента с кокситом и дефектом тела подвздошной кости

## Результаты

В подавляющем большинстве случаев 45 (88,2 %) у пациентов удалось выполнить оба этапа хирургического лечения и установить эндопротез. В двух случаях 2-й этап лечения с установкой эндопротеза не был выполнен в связи с неявкой пациентов на дальнейшее обследование. В 4-х наблюдениях как первичная установка спейсера, так и его замена не привели к купированию инфекции. Этим больным выполнена операция по-Girdlestone с удалением повторно установленного спейсера, и попытки дальнейшего хирургического лечения не предпринимались. В этих случаях был достигнут только санирующий эффект. Дальнейшая реабилитация осуществлялась с целью создания подвздошно-бедренного неоартраоза и формирования частичной опороспособности нижней конечности при компенсации возникшего укорочения с помощью ортопедической обуви.

Сроки между этапами хирургического лечения оценивались отдельно в каждой из групп и только у 45 пациентов, которым были выполнены оба этапа хирургического лечения. Средние сроки между этапами хирургического лечения в группе 1 составили:  $5,2 \pm 2,9$  мес.; в группе 2 –  $6,9 \pm 2,7$  мес.

Полученные в ходе хирургического лечения осложнения имели место в обеих группах, что отражено в таблице 5.

Таблица 5

### Осложнения при двухэтапном эндопротезировании при септическом коксите в группе больных, интактных по ВИЧ инфекции и в группе ВИЧ инфицированных

Характер осложнений на этапах хирургического лечения	Группа 1 41 случай	Группа 2 10 случаев
Глубокая инфекция, в т.ч. при повторной установке, приведшая к полному удалению имплантата (1-й этап)	2	2
Нестабильность головки установленного спейсера (1-й этап)	5	-

## Окончание Таблицы 5

Характер осложнений на этапах хирургического лечения	Группа 1 41 случай	Группа 2 10 случаев
Поломка металлической арматуры спейсера (1-й этап)	2	-
Глубокая инфекция после установки эндопротеза (2-й этап)	2	5
Неявка больного для выполнения 2-го этапа хирургического лечения	1	1
Всего (% к общему количеству):	13 (31,7%)	9 (90%)

– двое пациентов (по одному в каждой группе) не явились для второго этапа лечения и были включены в статистику как «осложнения».

В 6 случаях у больных 1-й группы и в одном случае во 2-й группе на первом этапе хирургического лечения была выполнена дополнительная операция по замене или укреплению установленного цементного спейсера связи асептическим расшатыванием или вывихом головки. В двух случаях усталостного перелома металлической арматуры спейсера в сроки от 2 до 3 месяцев после установки последний был удален и установлен эндопротез.

Положительным результатом проведенного хирургического лечения считали выполнение двух этапов хирургического при соответствии двум основным критериям:

- отсутствие инфекции установленного эндопротеза (достижение санирующего эффекта);
- восстановление опороспособности оперированной конечности и функции ходьбы.

Таким образом, в группе 1-й группе у ВИЧ (-) больных, положительные результаты получены в 34 (82,9%) из 41 случая.

Во 2-й группе, у ВИЧ (+) пациентов – положительные результаты получены только в 4-х (40%) из 10 случаев.

Функциональные результаты по системе NHS подсчитывали в отдельных группах только у пациентов, которым выполнены оба этапа хирургического лечения и удалось установить эндопротез, включая случаи с инфекционными осложнениями, где эндопротез в итоге был удален.

Таким образом, функциональная оценка в баллах по системе NHS в первой группе больных ( $n = 37$ ) дала существенное улучшение средних показателей: с  $39,1 \pm 10,7$  (до начала хирургического лечения) до  $89,8 \pm 11,2$  (после получения окончательного результата). Подобная оценка во 2-й группе у больных с ВИЧ инфекцией ( $n=8$ ) дала следующие данные:  $38,3 \pm 6,7$  (до хирургического лечения) и  $51 \pm 7,8$  (после оценки окончательного результата). Как видно из полученных данных, в группе ВИЧ инфицированных пациентов показатели функционального восстановления были значительно ниже, чем в группе больных, интактных по ВИЧ, что явилось следствием

относительно большего количества инфекционных осложнений, возникших у больных с ВИЧ инфекцией.

Отдаленные результаты в сроки от 1 года до 12 лет прослежены только у пациентов, имевших положительные результаты лечения: это – 34 случая в первой группе и 4 случая во второй группе. Средние сроки наблюдения больных в 1-й группе составили  $7,5 \pm 3,2$  года. Один из пациентов этой группы умер через 4 года после завершения лечения от причин, не связанных с основным заболеванием. В 2-х случаях пациенты 1-й группы были оперированы повторно в отдаленные сроки (8 и 9 лет) после установки эндопротеза в связи с развившейся асептической нестабильностью одного из компонентов. Им обоим успешно выполнена ревизионная операция, рецидива инфекции не выявлено.

Во 2-й группе отдаленные результаты прослежены у 4-х пациентов с установленным эндопротезом в сроки от 1 до 3-х лет, еще в одном наблюдении отмечен рецидив перипротезной инфекции через 6 месяцев после второго этапа ревизионного эндопротезирования.

### Обсуждение

Следует отметить, что в литературе, преимущественно зарубежной, авторами достаточно четко разделяются такие патологические состояния как «перипротезная инфекция» и «септический артрит». Так в иностранной литературе укоренились устойчивые аббревиатуры для этих понятий «Prosthetic Joint Infection (PJI)» и «Septic Arthritis (SA)» [30]. Нам не удалось найти ни одной публикации, в которых был бы представлен обобщенный анализ двух указанных видов патологии. А там, где «перипротезная инфекция» и «септический артрит» рассматриваются в одной статье, авторы представляют и анализируют их раздельно, что, с нашей точки зрения, дает весомые основания считать их различными нозологическими формами.

Анализ современной литературы, включая существующие обзоры [31], дополненные отечественными данными, позволил определить круг авторов, занимающихся проблемой двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава при септическом коксите и географию этих исследований (Таблица 6).

Таблица 6

### Авторские коллективы и география работ, посвященных двухэтапному эндопротезированию тазобедренного сустава при септическом коксите

Авторы	Год	Страна	Количество наблюдений
Chen C.E. и соавт. [10]	2008	Китай	28
Diwanji S.R. и соавт. [22]	2008	Южная Корея	9
Huang T.W. и соавт. [15]	2009	Тайвань	15

## Окончание Таблицы 6

Авторы	Год	Страна	Количество наблюдений
Kelm J. и соавт. [23]	2009	Германия	8
Bauer T. и соавт. [16]	2010	Франция	13
Fleck E.E. и соавт. [17]	2011	США	14
Romanò C.L. и соавт. [11]	2011	Италия	20
Shen H. и соавт. [24]	2013	Китай	5
Anagnostakos K. и соавт. [12]	2016	Германия	23
Papanna M. C. и соавт. [18]	2018	Велико-Британия	11
Зубиков В.С. и соавт. [13]	2019	Россия	28
Li W. и соавт. [19]	2019	Китай	14
Xu C. и соавт. [8]	2019	Китай	55
Николаев Н.С. и соавт. [20]	2020	Россия	15
Kunze K.N. и соавт. [21]	2020	США	12
Russo A. и соавт. [14]	2021	Италия	25
Russo A. и соавт. [9]	2024	Италия	61

В отличие от собственных наблюдений анализ литературы показывает, что у ряда авторов значительную долю в причинах развития септического коксита составили предшествующие операции на тазобедренном суставе, такие как остеосинтез при переломах костей в области сустава [31], а у некоторых авторов это явилось основной причиной заболевания [8].

Что касается эффективности применения метода двухэтапного эндопротезирования, которые у авторов колеблется в пределах от 100 % до 85 %, то данный показатель зависит от количества и сроков клинических наблюдений. При малых количествах наблюдений и ограниченных сроках авторами приводятся лучшие результаты.

Наши данные двухэтапного эндопротезирования у больных с септическим кокситом при отсутствии ВИЧ инфекции близки к данным, представленным другими авторами. Однако, у больных с ВИЧ инфекцией процент положительных результатов значительно ниже. Полученные данные по ВИЧ инфекции мы не смогли сравнить с данными других авторов, так как не нашли подобной информации в доступных источниках литературы.

Ограниченнное количество наблюдений по двухэтапному эндопротезированию у больных с ВИЧ инфекцией не позволяют с доказательной достоверностью сравнить их результаты с результатами больных без ВИЧ инфекции. Однако, полученные нами предварительные данные могут

свидетельствовать о возможности ухудшения результатов двухэтапного эндопротезирования при септическом коксите на фоне ВИЧ инфекции, чем при ее отсутствии. Это согласуется с данными некоторых авторов в отношении как первичного, так и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава у ВИЧ инфицированных больных [28, 29].

**Заключение**

Результаты двухэтапного эндопротезирования тазобедренного сустава у больных с септическим кокситом подтверждают возможность получения положительных результатов у подавляющего большинства оперированных больных. Наличие у пациентов сопутствующей ВИЧ инфекции способно ухудшить результат лечения в связи с более частым возникновением инфекционных осложнений как на первом этапе хирургического лечения после установки артикулирующего цементного спейсера, так и на втором этапе после установки эндопротеза, что приводило к необходимости удаления установленного имплантата.

**Список литературы:**

1. Ross J. J. Septic arthritis of native joints. *Infect Dis Clin North Am.* 2017; 31 (2): 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2017.01.001>
2. Hassan A. S., Rao A., Manadan A. M., Block J. A. Peripheral bacterial septic arthritis: review of diagnosis and management. *J Clin Rheumatol.* 2017; 23 (8): 435–442. <https://doi.org/10.1097/RHU.0000000000000588>
3. Portier E., Zeller V., Kerroumi Y., Heym B., Marmor S., Chazerain P. Arthroplasty after septic arthritis of the native hip and knee: retrospective analysis of 49 joints. *J Bone Jt Infect.* 2022; 7 (2): 81–90. <https://doi.org/10.5194/jbji-7-81-2022>
4. Elsissy J. G., Liu J. N., Wilton P. J., Nwachukwu I., Gowd A. K., Amin N. H. Bacterial septic arthritis of the adult native knee Joint: a review. *JBJS Rev.* 2020 Jan; 8 (1): e0059. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00059>
5. Zamora-Nava P., Estades-Rubio F. J.. Quality of life after Girdlestone resection arthroplasty. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed).* 2021 Jan-Feb; 65 (1): 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2020.07.001>
6. Charlton W. P., Hozack W. J., Teloken M. A., Rao R., Bissett G. A. Complications associated with reimplantation after girdlestone arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2003 Feb; (407): 119–26. <https://doi.org/10.1097/00003086-200302000-00019>
7. Ikebe S., Sonohata M., Kitajima M., Kawano S., Mawatari M. Total hip arthroplasty following Girdlestone arthroplasty. *J Orthop Sci.* 2018 May; 23 (3): 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2018.01.014>
8. Xu C., Kuo F. C., Kheir M., Li X., Chai W., Chen J. Y. Outcomes and predictors of treatment failure following two-stage total joint arthroplasty with articulating spacers for evolutive septic arthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019 Jun 3; 20 (1): 272. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2652>
9. Russo A., Migliorini F., Giustra F., Bosco F., Massè A., Burastero G. Two-stage total joint replacement for hip or knee septic arthritis: post-traumatic etiology and difficult-to-treat infections predict poor outcomes. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024 Dec; 144 (12): 5111–5119. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05249-x>

10. Chen C. E., Wang J. W., Juhn R. J. Total hip arthroplasty for primary septic arthritis of the hip in adults. *Int Orthop.* 2008 Oct; 32 (5): 573-80. <https://doi.org/10.1007/s00264-007-0366-1>
11. Romanò C. L., Romanò D., Meani E., Logoluso N., Drago L. Two-stage revision surgery with preformed spacers and cementless implants for septic hip arthritis: a prospective, non-randomized cohort study. *BMC Infect Dis.* 2011 May 16; 11: 129. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-11-129>
12. Anagnostakos K., Duchow L., Koch K. Two-stage protocol and spacer implantation in the treatment of destructive septic arthritis of the hip joint. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016 Jul; 136 (7): 899-906. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2455-3>
13. Зубиков В. С., Перецманас Е. О., Герасимов И. А. Опыт хирургического лечения туберкулезного и неспецифического артрита методом двухэтапной артропластики с использованием артикулирующих цементных спейсеров, насыщенных антибиотиками. *Туберкулез и болезни легких.* 2019; 97 (11): 25-33. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-11-25-32> [Zubikov V. S., Peretsmanas E. O., Gerasimov I. A. The experience of surgical treatment of tuberculosis and non-specific arthritis with two-stage arthroplasty using articulating cement spacers saturated with antibiotics. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2019;97(11):25-33. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-11-25-32> ].
14. Russo A., Cavagnaro L., Chiarlone F., Clemente A., Romagnoli S., Burastero G. Clinical outcomes and survivorship of two-stage total hip or knee arthroplasty in septic arthritis: a retrospective analysis with a minimum five-year follow-up. *Int Orthop.* 2021 Jul; 45 (7): 1683-1691. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05013-5>
15. Huang T. W., Huang K. C., Lee P. C., Tai C. L., Hsieh P. H. Encouraging outcomes of staged, uncemented arthroplasty with short-term antibiotic therapy for treatment of recalcitrant septic arthritis of the native hip. *J Trauma.* 2010 Apr; 68 (4): 965-9. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181af6e70>
16. Bauer T., Lacoste S., Lhotellier L., Mamoudy P., Lortat-Jacob A., Hardy P. Arthroplasty following a septic arthritis history: a 53 cases series. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2010 Dec; 96 (8): 840-3. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.06.009>
17. Fleck E. E., Spangehl M. J., Rapuri V. R., Beauchamp C. P. An articulating antibiotic spacer controls infection and improves pain and function in a degenerative septic hip. *Clin Orthop Relat Res.* 2011 Nov; 469 (11): 3055-64.
18. Papanna M. C., Chebbout R., Buckley S., Stockley I., Hamer A. Infection and failure rates following total hip arthroplasty for septic arthritis: a case-controlled study. *Hip Int.* 2018 Jan; 28 (1): 63-67. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000538>
19. Li W., Fang X., Zhang C., Xu Y., Huang Z., Yu Z., Zhang W. Comparison of efficacy and complications between two types of staging arthroplasty in treating chronic septic hip arthritis: A retrospective clinical study. *Exp Ther Med.* 2019 May; 17 (5): 4123-4131. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.7430>
20. Николаев Н. С., Карпухин А. С., Максимов А. Л., Степанов Е. Г., Пчелова Н. Н., Малюченко Л. И. Опыт лечения больных с неспецифическим кокситом методом двухэтапного эндопротезирования. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2020; 4: 5-13. <https://doi.org/10.17238/issn2226-2016.2020.4.5-13> [Nikolaev NS, Karpukhin AS, Maksimov AL, Stepanov EG, Pchelova NN, MALYUCHENKO LI. Experience in the treatment of patients with nonspecific coxitis using two-stage endoprosthetics. *Department of traumato*
- matology and orthopedics.* 2020; 4 (42): 5-13. [https://doi.org/10.17238/issn2226-2016.2020.4.5-13 \].](https://doi.org/10.17238/issn2226-2016.2020.4.5-13)
21. Kunze K. N., Sadauskas A. J., Kernzer B., Levine B. R. Two-Stage Primary Arthroplasty of Native Hips and Knees That Had Previously Failed Treatment for Septic Arthritis: A Single-Center Experience. *Arthroplast Today.* 2020 Jun 23; 6 (3): 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2020.05.012>
22. Diwanji S. R., Kong I. K., Park Y. H., Cho S. G., Song E. K., Yoon T. R. Two-stage reconstruction of infected hip joints. *J Arthroplasty.* 2008 Aug; 23(5): 656-61. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2007.06.007>
23. Kelm J., Bohrer P., Schmitt E., Anagnostakos K. Treatment of proximal femur infections with antibiotic-loaded cement spacers. *Int J Med Sci.* 2009 Sep 3; 6 (5): 258-64. <https://doi.org/10.7150/ijms.6.258>
24. Shen H., Wang Q. J., Zhang X.L., Jiang Y. Novel articulating medullary-sparing spacer for the treatment of infectious hip arthritis. *Orthopedics.* 2013 Apr; 36 (4): e404-8. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130327-13>
25. Зубиков В. С., Перецманас Е. О. Двухэтапная артропластика при гнойных артритах. *Сборник статей «Современные аспекты травматологии, ортопедии и реконструктивной хирургии».* Астрахань, 2017: 37-41. [Zubikov V. S., Perecmanas E. O. Dvuhetapnaya artroplastika pri gnojnyh artritah. *Sbornik statej «Sovremennye aspekty travmatologii, ortopedii i rekonstruktivnoj hirurgii».* Astrahan', 2017: 37-41].
26. Enayatollahi M. A., Murphy D., Maltenfort M. G., Parvizi J. Human Immunodeficiency Virus and Total Joint Arthroplasty: The Risk for Infection Is Reduced. *J Arthroplasty.* 2016 Oct; 31 (10): 2146-51. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2016.02.058> Epub 2016 Mar 10.
27. Tornero E., García S., Larrousse M., Gallart X., Bori G., Riba J., Rios J., Gatell J., Martinez E. Total hip arthroplasty in HIV-infected patients: a retrospective, controlled study. *HIV Med.* 2012 Nov; 13 (10): 623-9. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1293.2012.01017.x>
28. O'Neill S. C., Queally J. M., Hickey A., Mulhall K. J. Outcome of total hip and knee arthroplasty in HIV-infected patients: A systematic review. *Orthop Rev (Pavia).* 2019 Mar 22; 11 (1): 8020. <https://doi.org/10.4081/or.2019.8020>
29. Triapichnikov A. S., Ermakov A. M., Malkova T. A. Outcomes of Revision Arthroplasty for Hip Joint Infection in Matched Groups of HIV-Positive and HIV-Negative Patients. *Curr HIV Res.* 2022; 20 (5): 365-372. <https://doi.org/10.2174/1570162X20666220805093833>
30. Amanatullah D., Dennis D., Oltra EG., Marcelino Gomes LS., Goodman SB., Hamlin B., Hansen E., Hashemi-Nejad A., Holst DC., Komnos G., Koutalos A., Malizos K., Martinez Pastor JC., McPherson E., Meermans G., Mooney JA., Mortazavi J., Parsa A., Pécora JR., Pereira GA., Martos MS., Shohat N., Shope AJ., Zullo SS. Hip and Knee Section, Diagnosis, Definitions: Proceedings of International Consensus on Orthopedic Infections. *J Arthroplasty.* 2019 Feb; 34 (2S): S329-S337. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.09.044>.
31. Зубиков В. С., Волошин В. П., Еремин А. В., Перецманас Е. О. Способ эндопротезирования тазобедренного сустава : пат. № 2480175 Рос. Федерация. № 2011152476/14 ; заявл. 22.12.2011 ; опубл. 27.04.2013 ; Бюл. № 12. [Zubikov V. S., Voloshin V. P., Eremin A. V., Perecmanas E. O. Sposob endoprotezirovaniya tazobedrennogo sustava : pat. № 2480175 Ros. Federaciya. № 2011152476/14 ; zayavl. 22.12.2011 ; opubl. 27.04.2013 ; Byul. № 12].
32. Перецманас Е. О., Тюлькова Т. Е., Зубиков В. С., Есин И. В., Герасимов И. А. Антимикробный спейсер тазобедренного сустава : свидетельство № 212287 Рос. Федерация. № 2021140011/2021 ;

заявл. 30.12.2021 ; опубл. 14.07.2022 , Бюл. № 20. [Perecmanas E. O., Tyul'kova T. E., Zubikov V. S., Esin I. V., Gerasimov I. A. Antimikrobnij spejser tazobedrennogo sustava : svidetel'stvo № 212287 Ros. Federaciya. № 2021140011 ; zayavl. 30.12.2021 ; opubl. 14.07.2022 , Byul. № 20].

33. Зубиков В. С., Перецманас Е. О., Герасимов И. А. Способ стабилизации тазобедренного сустава при установке цементного артикулирующего спайсера в условиях дефекта края вертлужной впадины : пат. № 2751280 Рос. Федерация. № 2020133954 ; заявл. 15.10.2020 ; опубл. 12.07.2021 ; Бюл. № 20. [Zubikov V. S., Perecmanas E. O., Gerasimov I. A. Sposob stabilizacii tazobedrennogo sustava pri ustanovke cementnogo artikuliruyushchego spejsera v usloviyah defekta kraya vertluzhnoj vpadiny : pat. № 2751280 Ros. Federaciya. № 2020133954 ; zayavl. 15.10.2020 ; opubl. 12.07.2021 ; Byul. № 20].

#### Авторы:

**Зубиков Владимир Сергеевич**, д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник научного отдела костно-суставной патологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2, 127473, Россия, e-mail zubikovladimir@gmail.com

**Перецманас Евгений Оркович**, д.м.н., руководитель научного отдела костно-суставной патологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2, 127473, Россия, e-mail peretsmanas58@mail.ru

**Герасимов Илья Александрович**, к.м.н., врач травматолог-ортопед отделения для лечения больных с туберкулезом внелегочной локализации ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2, 127473, Россия, e-mail 1987cotvot@gmail.com

**Рукин Ярослав Алексеевич**, д.м.н., ведущий научный сотрудник научного отдела костно-суставной патологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2, 127473, Россия, профессор кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ Института хирургии ФГАОУ ВО "Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1, 117513, Россия, e-mail yar.rukin@gmail.co

#### Автор, ответственный за переписку:

**Рукин Ярослав Алексеевич**, д.м.н., ведущий научный сотрудник научного отдела костно-суставной патологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2, 127473, Россия; профессор кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ Института хирургии ФГАОУ ВО "Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1, 117513, Россия

e-mail yar.rukin@gmail.com

#### Authors:

**Vladimir S. Zubikov**, Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia, e-mail zubikovladimir@gmail.com

**Evgeniy O. Peretsmanas**, Dr. Sci. (Med.) Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia, e-mail peretsmanas58@mail.ru

**Ilya A. Gerasimov**, Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia, e-mail zubikovladimir@gmail.com

**Yaroslav A. Rukin**, Dr. Sci. (Med.) Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia; Pirogov Russian National Research Medical University Address: 1/6 Ostrovitianova St, Moscow, 117513, Russia, e-mail yar.rukin@gmail.com

#### Corresponding author:

**Yaroslav A. Rukin**, Dr. Sci. (Med.) Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases" of the Ministry of Health of the Russian Federation Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia

Pirogov Russian National Research Medical University Address: 1/6 Ostrovitianova St, Moscow, 117513, Russia, e-mail yar.rukin@gmail.com

УДК 616.71-77-002.4

© Сергеев Г.К., Мальчевский В.А., Сергеев К.С., Лебедев И.А., Владимиров А.Б., Архипенко В.И., Альфайюми М.С., 2025



Оригинальное исследование / Original research

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТА ИМПЛАНТАЦИИ ВНУТРИКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С МЕДЬСОДЕРЖАЩИМ ПОКРЫТИЕМ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА У ЖИВОТНЫХ ПРИ ГЛУБОКОЙ ГРАМ-ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ИНФЕКЦИИ БЕДРА

**Г.К. СЕРГЕЕВ<sup>1</sup>, В.А. МАЛЬЧЕВСКИЙ<sup>1</sup>, К.С. СЕРГЕЕВ<sup>1\*</sup>, И.А. ЛЕБЕДЕВ<sup>1</sup>, А.Б. ВЛАДИМИРОВ<sup>3</sup>,  
В.И. АРХИПЕНКО<sup>2</sup>, М.С. АЛЬФАЙЮМИ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет», 625023, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Областная клиническая больница №2, 625048, Тюмень, Россия

<sup>3</sup> ИФМ УрО АН РФ, 620108, Екатеринбург, Россия

### Аннотация

**Обоснование.** Резистентность патогенных микроорганизмов к антибактериальной терапии при явлениях перипротезной инфекции является причиной хронического течения и невозможности купирования воспалительного процесса. Использование имплантатов с антибактериальным покрытием открывает новые возможности для профилактики и эффективного лечения послеоперационных осложнений инфекционного характера при операциях с применением небиотических имплантатов.

**Цель исследования.** Осуществить комплексную оценку клинических и параклинических показателей у животных с моделированной грам-отрицательной перииимплантной инфекцией бедренной кости при использовании интрамедуллярных титановых стержней без покрытия и с медьюсодержащим покрытием на основе аморфного наноуглерода.

**Материалы и методы.** Материалом исследований послужили показатели выраженности нарушений стато-динамической функции, выраженности локальных признаков воспаления, динамика массы тела животного, а также патоморфологическая картина течения заболевания двух сравниваемых групп животных (каждая группа включала 16 особей) с моделью перииимплантной глубокой инфекции бедра с этиотропным агентом в виде музейного штамма *P. aeruginosa*. Оценка результатов лечения учитывала сумму критериев. Критерий выражался в баллах от 0 до 4. В экспериментальных операциях применялись интрамедуллярные имплантаты из титанового сплава без покрытия (контрольная группа) и с покрытием на основе аморфного наноуглерода, содержащего микрочастицы меди в определенной концентрации (основная группа). Исследования проводились на 3, 7, 14 и 28 сутки. Применялись клинический, электронно-микроскопический, лучевой и статистический методы исследований.

**Результаты.** Выявлено, что использование инновационных имплантатов с медьюсодержащим покрытием при грам-отрицательном остеомиелите бедренной кости у лабораторных крыс обеспечивает оптимальный результат лечения в виде отсутствия у них гиподинамии, снижения массы тела, обширной площади остеолизиса и массива некротических тканей. Суммарная оценка результата у животных контрольной группы составила 11,7 балла (неудовлетворительный исход), в основной группе — 4,7 балла (хороший результат). Статистический расчет различия определил их существенную достоверную разницу ( $t=11,32$ ;  $df=30$ ,  $p=0,01$ ).

**Заключение.** Комплексное изучение воспалительной реакции при использовании имплантатов с покрытием на основе аморфного наноуглерода с частицами меди в условиях экспериментальной грам-отрицательной инфекции позволяет рассматривать данный тип имплантатов как перспективный инструмент для решения проблем лечения и профилактики перипротезной инфекции и остеомиелита в клинической практике.

**Ключевые слова:** модели заболеваний на животных; инфекции, связанные с протезированием; антибактериальные средства; свойства поверхности.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Сергеев Г.К., Мальчевский В.А., Сергеев К.С., Лебедев И.А., Архипенко В.И., Владимиров А.Б., Альфайюми М.С., Оценка результата имплантации внутрикостных конструкций с медьюсодержащим покрытием в условиях эксперимента у животных при глубокой грамм-отрицательной инфекции бедра. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 112–118.

**Этическая экспертиза.** Все стадии проводимого нами исследования строго соответствовали законодательству РФ, международным этическим нормам и нормативным документам. На проведение исследования было получено одобрение комитета по этике при ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ» и выполнено в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей (Страсбург, 1986) и Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

# COMPREHENSIVE EVALUATION OF COPPER-COATED INTRASSEOUS STRUCTURES IMPLANTATION IN EXPERIMENTAL CONDITIONS WITH DEEP GRAM-NEGATIVE HIP INFECTION IN ANIMALS

G.K. SERGEEV<sup>1</sup>, V.A. MALCHEVSKY<sup>1</sup>, K.S. SERGEEV<sup>1\*</sup>, I.A. LEBEDEV<sup>1</sup>, A.B. VLADIMIROV<sup>3</sup>, V.I. ARKHIPENKO<sup>2</sup>, M.S. ALFAYYUMI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> Regional Clinical Hospital №2, 625048, Tyumen, Russia

<sup>3</sup> Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620108, Yekaterinburg, Russia

## Abstract

**Introduction:** The resistance of pathogenic microorganisms to antibacterial therapy in cases of periprosthetic infection is the cause of the chronic course and the inability to stop the inflammatory process. The use of antibacterial coated implants opens up new opportunities for the prevention and effective treatment of postoperative complications of an infectious nature during operations using non-biotic implants.

**Purpose.** To carry out a comprehensive assessment of clinical and paraclinical indicators in animals with modeled gram-negative periimplant infection of the femur using intramedullary titanium rods without coating and with copper-containing coating based on amorphous nanocarbon.

**Materials and methods.** The research material included indicators of the severity of disorders of static-dynamic function, the severity of local signs of inflammation, the dynamics of animal body weight, as well as the pathomorphological picture of the disease course of two compared groups of animals (each group included 16 individuals) with a model of periimplant deep hip infection with an etiopathic agent in the form of a museum strain of *P. aeruginosa*. The evaluation of treatment outcomes took into account the sum of criteria. The criterion was expressed in scores from 0 to 4. In experimental operations, intramedullary titanium alloy implants were used without coating (control group) and coated with amorphous nanocarbon containing microparticles of copper in a certain concentration (main group). The studies were conducted on days 3, 7, 14, and 28. Clinical, electron microscopic, radiation and statistical research methods were used.

**Results.** It has been revealed that the use of innovative copper-coated implants for gram-negative osteomyelitis of the femur in laboratory rats achieves optimal treatment results in the absence of physical inactivity, weight loss, extensive osteolysis and an array of necrotic tissues. The total assessment of the result in animals of the control group was 11.7 points (unsatisfactory outcome), in the main group — 4.7 points (good result). Statistical calculation of the difference determined their significant reliable difference ( $t=11.32$ ;  $df=30$ ,  $p=0.01$ ).

**Conclusions.** A comprehensive study of the inflammatory response when using coated implants based on amorphous nanocarbon with copper particles in conditions of experimental gram-negative infection allows us to consider this type of implant as a promising tool for solving the problems of treatment and prevention of periprosthetic infection and osteomyelitis in clinical practice.

**Key words:** Disease Models, Animal; Prosthesis-Related Infections; Anti-Bacterial Agents; Surface Properties.

**Conflict of interests:** The authors declare that there are no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Sergeev G.K., Malchevsky V.A., Sergeev K.S., Lebedev I.A., Arkhipenko V.I., Vladimirov A.B., Alfaiyumi M.S., Evaluation of the result of implantation of copper-coated intrasseous structures in experimental conditions with deep gram-negative hip infection. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 112–118.

**Ethics approval:** All stages of our research strictly complied with the legislation of the Russian Federation, international ethical standards and regulatory documents. The study was approved by the Ethics Committee of the Tyumen State Medical University and carried out in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments and Other Scientific Purposes (Strasbourg, 1986) and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of September 22, 2010 on protection of animals for scientific purposes.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.112-118

## Введение

Для современной травматологии и ортопедии характерно увеличение числа случаев имплантат-ассоциированной инфекции [1, 2]. Важной причиной стойкого течения постоперационной инфекции и неудачного лечения является процесс формирования биопленки на поверхности имплантата [3]. Грам-отрицательные бактерии являются причиной острой и полимикробной инфекции в 10–23 % случаев оперативного лечения, связанного с выполнением эндопротезирования или внутреннего остеосинтеза,

чаще всего вызывая осложнения [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. При этом лечение характеризуется длительной госпитализацией, хронизацией воспалительного процесса, значительными материально-техническими затратами, в том числе и по причине наличия у пациентов сопутствующего иммунодепрессивного синдрома [11, 12, 13].

*P. aeruginosa* считается одним из самых трудноизлечимых возбудителей из-за способности вырабатывать биопленки, устойчивые к воздействию большинства известных антибактериальных препаратов [14, 15, 16]. Профилактика

инфекционного воспаления связана с предупреждением адгезии микроба к поверхности имплантата. В этом случае антибактериальный агент действует на возбудителя, когда он присутствует в планктонной форме. В реализации данного механизма важную роль играют матрицы, представленные различными материалами в виде титановых нанотрубок, мезопористых структур, гидроксиапатита, хитозана, полимеролитных мультислоев [17, 18, 19, 20, 21].

Доступной отечественной технологией является иммерсионно-плазменное напыление на поверхность титановых имплантов ионов Ag<sup>+</sup> или Cu<sup>2+</sup>. Исследованиями доказано, что легирование титановых сплавов частицами меди или серебра усиливает их антимикробную активность [22, 23, 24]. Достоинство медьсодержащих препаратов заключается в меньшем потенциале токсичности из-за возможности выведения вещества из организма естественным путем [25]. В целях обоснованного применения в клинической практике имплантатов с медьсодержащим антибактериальным агентом необходимость проведения экспериментальных работ на модели остеомиелита у животных не вызывает сомнений. Недостатком известных моделей экспериментального остеомиелита является несоответствие их реальным условиям клинической практики, где процесс лечения проходит на фоне относительно длительной микробной контаминации кости и окружающих тканей [26, 27].

Анализ результатов, полученных в ходе экспериментальных исследований у животных с моделью патологического процесса, требует комплексной количественной оценки, которая включает параметры клинико-функционального состояния животных и данные патоморфологических и лучевых методов исследований. К сожалению, существующие методы оценки результата эксперимента нельзя признать комплексными и релевантными по отношению к клинической практике [28, 29].

**Цель исследования.** Осуществить комплексную оценку клинических и параклинических показателей у животных с моделюированной грам-отрицательной периимплантной инфекцией бедренной кости при использовании интрамедуллярных титановых стержней без покрытия и с медьсодержащим покрытием на основе аморфного наноуглерода.

#### Материалы и методы

Исследование проводилось у 32 половозрелых крыс породы Wistar (самки). Общая выборка включила две группы животных (основную и контрольную) по 16 особей в каждой группе. Всем животным проведена однотипная операция по имплантации двух типов титанового штифта. Первый тип конструкции (контрольная группа) представлял собой штифт из сплава ВТ-6 длиной 10 мм и диаметром 1 мм. Второй тип конструкции с такими же геометрическими параметрами отличался тем, что поверхность штифта имела

покрытие на основе аморфного наноуглерода с микрочастицами меди (основная группа). Нанесение покрытия производилось в условиях лаборатории нейтронно-синхротронных исследованийnanoструктур ИФМ УрО РАН (г. Екатеринбург).

В предлагаемом способе экспериментального моделирования периимплантной инфекции трубчатых костей, включающем выполнение вертикального разреза кожи и подкожной клетчатки в области большого вертела бедренной кости у лабораторных крыс под общей анестезией, затем в области большого вертела производилась трепанация бедренной кости с доступом в костномозговой канал.

Методика предусматривала несколько отличий от существующих ранее. Первое отличие заключалось в том, что в полость костномозгового канала через трепанационное отверстие в области большого вертела вводили имплантат в дистальном направлении на 2,5 см. Второй отличительный признак техники эксперимента состоял в том, что на поверхности штифта предварительно формировали микробные биопленки путем его погружения в питательную среду с культурой *P. aeruginosa* в концентрации 10<sup>6</sup> микробных тел в 1 мл в течение 24 часов при температуре 37°C. Операционную рану наглоухо и послойно ушивали.

Основой данной модели имплантат-ассоциированной инфекции и остеомиелита явился патент РФ № 2824017 от 31.07.2024 (авторы: Сергеев Г.К., Сергеев К.С., Мальчевский В.А.). Выведение животных из опыта производилось на 3, 7, 14, 28 сутки. В каждый срок учитывался результат у 4 животных каждой группы.

Авторами предлагается оригинальный «Способ комплексной оценки результатов лечения остеомиелита бедренной кости у лабораторных крыс» (патент РФ 2814076 от 21.02.2024, авторы: Сергеев Г.К, Сергеев К.С., Мальчевский В.А.). Комплексная оценка результатов лечения остеомиелита бедренной кости у лабораторных крыс проводится в баллах от 0 до 4 по следующим критериям:

1. Выраженность нарушений стато-динамической функции:

- Отсутствие хромоты – 0 баллов
- Наличие хромоты, не мешающей мобильности – 1 балл
- Наличие хромоты, умеренно ограничивающей мобильность – 2 балла

• Наличие хромоты, сильно ограничивающей мобильность – 3 балла

• Полное или практически полное отсутствие опорной функции оперированной конечности – 4 балла

2. Выраженность локальных признаков воспаления:

• Отсутствие локальных воспалительных признаков – 0 баллов

• Локальная гиперемия области швов, отсутствие экссудации из раны – 1 балл

• Локальная гиперемия и субфебрильная температура, отек с отсутствием экссудации из раны – 2 балла

• Локальная гиперемия, локальная температура, отек бедра и экссудация гнойного и серозно-гнойного отделяемого из раны – 3 балла

- Появление свища – 4 балла

### 3. Динамика массы тела:

- Набор массы тела – 0 баллов

- Стабильная масса тела – 1 балл

- Снижение не более 8 % от массы тела – 2 балла

- Потеря в весе более 8–10 % от массы тела – 3 балла

- Потеря в весе более 10 % от массы тела – 4 балла

### 4. Патоморфологические проявления заболевания:

• Нет явлений остеомиелита на гистоморфологических препаратах – 0 баллов

• Наличие зоны костной резорбции в костномозговом канале – 1 балл

- Начальные явления остеонекроза костной ткани – 2 балла

• Признаки лизиса обширных участков костной ткани и остеонекроз (интрамедуллярная фаза) – 3 балла

• Остеонекроз с некрозом мягких тканей – формирование свища (экстрамедуллярная фаза) – 4 балла

Полученные результаты комплексной оценки имплантат-ассоциированной инфекции (osteомиелита) расцениваются по следующей шкале:

• 0–4 баллов – хорошая оценка

• 5–8 баллов – удовлетворительная оценка

• 9–12 баллов – неудовлетворительная оценка

• 13–16 баллов – крайне неудовлетворительная оценка

Статистический расчет проводился с целью определения достоверности различия между сравниваемыми показателями с учетом количества животных ( $n=16$ ) в каждой группе на основе  $t$ -критерия.

## Результаты

При обследовании животных двух сравниваемых групп в сроки 3, 7, 14, 28 сутки установлено, что наиболее выраженные стато-динамические нарушения наблюдались в контрольной группе в сроки позднее 7 дней после операции.

**Нарушения стато-динамической функции.** В контрольной группе дисфункция оперированной конечности достигала 2 баллов у всех 4 животных на 14-е и 28-е сутки. В основной группе оценка нарушения двигательной функции конечности составляла 1 балл у 3 из 4 животных на 7-е сутки и у всех 4 животных на 14-е и 28-е сутки.

**Локальные воспалительные изменения.** Картина локальных воспалительных изменений имела определенные различия между группами. Наличие отека послеоперационной раны в обеих группах отмечено на 7-е и 14-е сутки (2 балла у 4 из 4 животных в каждой группе). Эксудативная реакция отсутствовала. Появление гипертермии до субфебрильной температуры зарегистрировано только в контрольной группе на 7-е и 14-е сутки у 3 из 4 животных. В остальные сроки температура у всех животных была в пределах нормы.

**Динамика массы тела.** Снижение массы тела, оцениваемое в 2 балла, наблюдалось в срок 7 и 14 дней у всех 4 животных контрольной группы. У животных основной группы масса тела была стабильной во все сроки наблюдения (1 балл у всех животных).

**Патоморфологические изменения.** При патоморфологическом исследовании отмечено наличие признаков выраженного остеолизиса с признаками начального некроза в костной ткани в контрольной группе на 14-й день эксперимента (2 балла у всех 4 животных). На 28-й день зона периимплантного остеолизиса была более выраженной, отмечено формирование обширного некроза костной ткани (3 балла у всех 4 животных). В основной группе на 14-й день зоны остеолизиса были локальными (1 балл у всех 4 животных). Формирование локальных областей костной деструкции в сочетании с реакцией остеолиза в периимплантной зоне к 28-му дню эксперимента позволило количественно интегрально оценить данную ситуацию у животных основной группы в 2 балла у всех 4 животных.

Для получения интегрального показателя по каждому критерию суммировались баллы всех животных группы во все сроки наблюдения, затем рассчитывалось среднее значение на одно животное. Распределение количественных показателей изучаемых признаков представлено в таблице 1.

Таблица 1

### Распределение изучаемых показателей в различные сроки послеоперационного периода у животных основной и контрольной групп

Показатель	Основная группа, сутки				Контрольная группа, сутки			
	3	7	14	28	3	7	14	28
Дисфункция оперированной конечности, балл (количество животных)	0 (4)	1 (3)	2 (4)	2 (4)	0 (4)	1 (4)	2 (4)	2 (4)
Среднее значение на группу	1,3				2,3			
Локальная воспалительная реакция, балл (количество животных)	0 (4)	1 (4)	2 (4)	2 (4)	1 (4)	2 (4)	2 (4)	2 (4)
Среднее значение на группу	1,3				2,8			
Снижение массы тела, балл (количество животных)	0 (4)	1 (4)	1 (4)	1 (4)	1 (4)	2 (4)	2 (4)	2 (4)
Среднее значение на группу	0,8				2,8			
Патоморфологические изменения, балл (количество животных)	0 (4)	1 (4)	2 (4)	2 (4)	0 (4)	1 (4)	2 (4)	3 (4)
Среднее значение на группу	1,3				3,8			
Общая сумма баллов по группе	4,7				11,7			

Таким образом, суммарная оценка результата у животных контрольной группы составила 11,7 балла, что соответствует неудовлетворительному исходу имплантат-ассоциированного остеомиелита. В основной группе исход лечения оценивался в 4,7 балла, что соответствует диапазону хорошего результата. Статистический расчет различия в сравниваемых группах интегральной количественной оценки (4,7 балла в основной и 11,7 балла в контрольной группах) с использованием t-критерия Стьюдента определил их существенную достоверную разницу ( $t=11,32$ ;  $df=30$ ,  $p=0,01$ ).

### Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют значительные преимущества медьсодержащих имплантатов в профилактике и лечении грам-отрицательной перииmplантной инфекции. Интегральная оценка показала 2,5-кратное снижение тяжести патологического процесса в основной группе по сравнению с контрольной (4,7 балла против 11,7 балла соответственно,  $p=0,01$ ). Наиболее выраженные различия между группами наблюдались по критерию динамики массы тела (снижение показателя в 3,5 раза: 0,8 балла в основной группе против 2,8 балла в контрольной) и патоморфологическим изменениям (снижение в 2,9 раза: 1,3 балла против 3,8 балла соответственно). Это свидетельствует о том, что медьсодержащее покрытие не только предотвращает развитие локальных воспалительных изменений, но и оказывает протективное действие на общее состояние организма.

*P. aeruginosa*, выбранная в качестве возбудителя в данном исследовании, характеризуется высокой устойчивостью к большинству антибиотиков и способностью формировать устойчивые биопленки [14, 15, 16]. Согласно литературным данным, грам-отрицательные бактерии вызывают 10–23 % случаев имплантат-ассоциированных инфекций [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], что делает поиск эффективных методов борьбы с ними особенно актуальным.

Механизм антибактериального действия меди реализуется через несколько путей: прямое повреждение клеточной стенки бактерий ионами  $Cu^{2+}$ , генерация активных форм кислорода, нарушение работы ферментных систем микроорганизмов [22, 23, 24]. Важным преимуществом медьсодержащих покрытий является их низкая токсичность для организма хозяина благодаря естественным механизмам метаболизма меди [25].

Разработанная нами модель перииimplантной инфекции с предварительным формированием биопленки на поверхности имплантата в течение 24 часов максимально приближена к клинической ситуации, где инфекционный процесс развивается на фоне уже сформированной микробной биопленки. Это принципиально отличает данную модель от существующих методик, где контаминация происходит в момент имплантации [26, 27].

Предложенная система балльной оценки позволяет объективно количественно оценить течение экспериментального

остеомиелита, что особенно важно для сравнительной оценки эффективности различных методов лечения. Статистически значимое различие между группами ( $t=11,32$ ;  $p=0,01$ ) подтверждает высокую чувствительность разработанной методики оценки.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, показавших эффективность медьсодержащих покрытий против грам-отрицательных бактерий [22, 23, 24]. Однако наше исследование является первым, где проведена комплексная количественная оценка эффективности медьсодержащих имплантатов на модели перииimplантной инфекции, вызванной *P. aeruginosa* с предварительно сформированной биопленкой.

### Заключение

Экспериментальное исследование на 32 половозрелых крысах породы Wistar с моделью имплантат-ассоциированного остеомиелита, вызванного *P. aeruginosa*, убедительно доказало эффективность медьсодержащих покрытий на основе аморфного наноуглерода. Применение инновационных имплантатов с медьсодержащим покрытием обеспечило достижение хорошего результата лечения (4,7 балла по разработанной шкале оценки) против неудовлетворительного результата в контрольной группе (11,7 балла), что соответствует улучшению показателей в 2,5 раза ( $p=0,01$ ).

Наиболее выраженный эффект медьсодержащего покрытия проявился в предотвращении системных нарушений: снижение массы тела животных основной группы составило всего 0,8 балла против 2,8 балла в контрольной группе (улучшение в 3,5 раза). Патоморфологические изменения в основной группе были минимальными (1,3 балла против 3,8 балла в контрольной группе), что свидетельствует о выраженном локальном антибактериальном эффекте. Функциональные нарушения (дисфункция оперированной конечности) в основной группе были в 1,8 раза менее выражены по сравнению с контрольной группой (1,3 балла против 2,3 балла соответственно).

Доказанный антибактериальный эффект медьсодержащих покрытий в концентрации  $10^6$  микробных тел *P. aeruginosa* в 1 мл, отсутствие системной токсичности и стабильность покрытия в течение 28 дней наблюдения позволяют рекомендовать данный тип имплантатов для дальнейших доклинических исследований с перспективой внедрения в клиническую практику лечения гнойно-воспалительных заболеваний костей.

### Список литературы / References:

1. Trampuz A., Zimmerli W. Diagnosis and treatment of implant-associated septic arthritis and osteomyelitis. *Curr Infect Dis Rep.* 2008; 10: 394-403. <https://doi.org/10.1007/s11908-008-0064-1>
2. del Pozo J.L., Patel R. The challenge of treating biofilm-associated bacterial infections. *Clin Pharmacol Ther.* 2007;82:204-9. <https://doi.org/10.1038/sj.cpt.6100247>

3. Arciola C.R., Campoccia D., Montanaro L. Implant infections: adhesion, biofilm formation and immune evasion. *Nat Rev Microbiol.* 2018; 16(7): 397-409. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0019-y>
4. Cerioli M., Batailler C., Conrad A., Roux S., Perpoint T., Becker A., et al. Pseudomonas aeruginosa Implant-Associated Bone and Joint Infections: Experience in a Regional Reference Center in France. *Front Med.* 2020; 7: 513242. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.513242>
5. Zimmerli W., Trampuz A., Ochsner P.E. Prosthetic-joint infections. *N Engl J Med.* 2004; 351: 1645-54. <https://doi.org/10.1056/NEJMra040181>
6. Murillo O., Grau I., Lora-Tamayo J., Gomez-Junyent J., Ribera A., Tubau F., et al. The changing epidemiology of bacteraemic osteoarticular infections in the early 21st century. *Clin Microbiol Infect.* 2015; 21: 254.e1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2014.09.007>
7. Moran E., Masters S., Berendt A.R., McLardy-Smith P., Byren I., Atkins B.L. Guiding empirical antibiotic therapy in orthopaedics: the microbiology of prosthetic joint infection managed by debridement, irrigation and prosthesis retention. *J Infect.* 2007; 55: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2007.01.007>
8. Hsieh PH, Lee MS, Hsu KY, Chang YH, Shih HN, Ueng SW. Gram-negative prosthetic joint infections: risk factors and outcome of treatment. *Clin Infect Dis.* 2009; 49: 1036-43. <https://doi.org/10.1086/605593>
9. Плиска Н.Н. Микроорганизмы, выделенные при подозрении на перипротезную инфекцию, их чувствительность. *Фармакология, клиническая фармакология.* 2023;22(2):34-42. [Pliska N.N. Microorganisms isolated in cases of suspected periprosthetic infection, their sensitivity. Farmakologiya, klinicheskaya farmakologiya. 2023; 22(2): 34-42 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2023.2.5>
10. Sudduth J.D., Moss J.A., Spitler C.A., Pham V.H., Jones L.C., Brown J.T., et al. Open fractures: are we still treating the same types of infections? *Surg Infect.* 2020. <https://doi.org/10.1089/sur.2019.140>
11. Legout L., Senneville E., Stern R., Yazdanpanah Y., Savage C., Roussel-Delvalez M., et al. Treatment of bone and joint infections caused by Gram-negative bacilli with a cefepime-fluoroquinolone combination. *Clin Microbiol Infect.* 2006; 12: 1030-3. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2006.01523.x>
12. Zmistroński B., Fedorka C.J., Sheehan E., Deirmengian G., Austin M.S., Parviz J. Prosthetic joint infection caused by gram-negative organisms. *J Arthroplasty.* 2011; 26(6 Suppl): 104-8. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2011.03.044>
13. Sculco TP. The economic impact of infected joint arthroplasty. *Orthopedics.* 1995; 18: 871-3.
14. Triffault-Fillit C., Ferry T., Laurent F., Pradat P., Dupieux C., Conrad A., et al. Microbiologic epidemiology depending on time to occurrence of prosthetic joint infection: a prospective cohort study. *Clin Microbiol Infect.* 2018; 25: 353-8. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.04.035>
15. Pestrak MJ, Chaney SB, Eggleston HC, Dellos-Nolan S, Dixit S, Mathew-Steiner SS, et al. Pseudomonas aeruginosa rugose small-colony variants evade host clearance, are hyper-inflammatory, and persist in multiple host environments. *PLoS Pathog.* 2018; 14: e1006842. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006842>
16. Скленова Е.Ю., Азизов И.С., Шек Е.А., Эйдельштейн М.В., Козлов Р.С., Дехнич А.В. Pseudomonas aeruginosa в РФ: история одного из наиболее успешных нозокомиальных патогенов. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2018; 20(3): 164-171. [Skleenova E.Y., Azizov I.S., Shek E.A., Edelstein M.V., Kozlov R.S., Dekhnich A.V. Pseudomonas aeruginosa in the Russian Federation: history of one of the most successful nosocomial pathogens. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya.* 2018; 20(3): 164-171 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36488/cmac.2018.3.164-171>
17. Esmaeilnejad A., Mahmoudi P., Zamanian A., Mozafari M. Synthesis of titanium oxide nanotubes and their decoration by MnO nanoparticles for biomedical applications. *Ceram Int.* 2019; 45(15): 19275-19282. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.170>
18. Atefyekta S., Ercan B., Karlsson J., Taylor E., Chung S., Webster T.J., Andersson M. Antimicrobial performance of mesoporous titania thin films: role of pore size, hydrophobicity, and antibiotic release. *Int J Nanomed.* 2016; 11: 977-990. <https://doi.org/10.2147/IJN.S92605>
19. Li B., Xia X., Guo M., Jiang Y., Li Y., Zhang Z., et al. Biological and antibacterial properties of the micro-nanostructured hydroxyapatite/chitosan coating on titanium. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36436-6>
20. Akhtar M.A., Ilyas K., Dlouhy I., Siska F., Boccaccini A.R. Electrophoretic deposition of copper(II)-Chitosan complexes for antibacterial coatings. *Int J Mol Sci.* 2020; 21(7): 2637. <https://doi.org/10.3390/ijms21072637>
21. Malcher M., Volodkin D., Heurtault B., Andre P., Schaaf P., Mohwald H., et al. Embedded silver ions-containing liposomes in poly-electrolyte multilayers: cargo films for antibacterial agents. *Langmuir.* 2008; 24(18): 10209-10215. <https://doi.org/10.1021/la8014755>
22. Arkusz K., Paradowska E., Nycz M., Mazurek-Popczyk J., Baldy-Chudzik K. Evaluation of the antibacterial activity of Ag-and Au nanoparticles loaded TiO<sub>2</sub> nanotubes. *J Biomed Nanotechnol.* 2020; 16(9): 1416-1425. <https://doi.org/10.1166/jbn.2020.2976>
23. Ding Z., Wang Y., Zhou Q., Ding Z., Wu Y., Zhu Y., et al. The preparation and properties of multilayer Cu-MTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub> composite coatings on Ti6Al4V for biomedical applications. *Nanomaterials.* 2019; 9(10): 1498. <https://doi.org/10.3390/nano9101498>
24. Vu A.A., Robertson S.F., Ke D., Bandyopadhyay A., Bose S. Mechanical and biological properties of ZnO, SiO<sub>2</sub>, and Ag<sub>2</sub>O doped plasma sprayed hydroxyapatite coating for orthopaedic and dental applications. *Acta Biomater.* 2019; 92: 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.05.020>
25. de Bie P., Muller P., Wijmenga C., Klomp L.W. Molecular pathogenesis of Wilson and Menkes disease: correlation of mutations with molecular defects and disease phenotypes. *J Med Genet.* 2007; 44(11): 673-688. <https://doi.org/10.1136/jmg.2007.052746>
26. Авдеева Е.Ю., Слизовский Г.В., Скородюрова М.Г., и др. Моделирование травматического остеомиелита у крыс в эксперименте. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2016; 161(1): 157-160. [Avdeeva E.Y., Slizovskij G.V., Skoroduhova M.G., et al. Modeling traumatic osteomyelitis in rats in experiment. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2016; 161(1): 157-160 (In Russ.)]. EDN: VHIAHB.
27. Овчинников Е.Н., Дюрягина О.В., Стогов М.В., и др. Модель остеомиелита у крыс. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2022; 173(3): 395-399. [Ovchinnikov E.N., Dyuryagina O.V., Stogov M.V., et al. Model of osteomyelitis in rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2022; 173(3): 395-399 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47056/03655-9615-2022-173-3-395-399>
28. Rissing J.P., Buxton T.B., Weinstein R.S., Shockley R.K. Model of experimental chronic osteomyelitis in rats. *Infection and Immunity.* 1985; 47(3): 581-586. <https://doi.org/10.1128/iai.47.3.581-586.1985>
29. Tiemann A., Hofmann G.O., Krukemeyer M.G., Krenn V., Langwald S. Histopathological Osteomyelitis Evaluation Score (HOES) - an innovative approach to histopathological diagnostics and scoring of osteomyelitis. *GMS Interdisciplinary Plastic and Reconstructive Surgery DGPW.* 2014; 3: Doc08. <https://doi.org/10.3205/ipsr00004>

## Авторы:

**Сергеев Григорий Константинович**, ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ», 625023, Тюмень, Россия; e-mail: sergeev.trauma@inbox.ru.

**Мальчевский Владимир Алексеевич**, д.м.н., профессор кафедры мобилизационной подготовки и экстремальной медицины ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ», 625023, Тюмень, Россия. e-mail: malchevski@mail.ru

**Сергеев Константин Сергеевич**, д.м.н., заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ», 625023, Тюмень, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-6621-9449>; e-mail: sergeev.trauma@inbox.ru.

**Лебедев Илья Аркадьевич**, д.м.н., профессор кафедры нервных болезней ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ», 625023, Тюмень, Россия. e-mail: lededef@mail.ru

**Владимиров Александр Борисович**, научный сотрудник, ИФМ УрО АН РФ, 620108, Екатеринбург, Россия. e-mail: physics@imp.uran.ru

**Архипенко Виталий Игоревич**, к.м.н., руководитель центра сочетанной травмы и реконструктивной хирургии ГБУЗ ТО ОКБ №2, 625048, Тюмень, Россия.

**Альфайюми Малек Сулейман**, аспирант кафедры травматологии и ортопедии ИКМ ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ», 625023, Тюмень, Россия.

**Автор, ответственный за переписку:**

**Сергеев Константин Сергеевич**, sergeev.trauma@inbox.ru

## Authors:

**Sergeev Grigory K.**, Assistant Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia; e-mail: sergeev.trauma@inbox.ru.

**Malchevsky Vladimir A.**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Mobilization Training and Emergency Medicine, Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia.

**Sergeev Konstantin S.**, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-6621-9449>; e-mail: sergeev.trauma@inbox.ru.

**Lebedev Ilya A.**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Nervous Diseases, Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia.

**Vladimirov Alexander B.**, Researcher, Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620108, Yekaterinburg, Russia.

**Arkhipenko Vitaly I.**, PhD in Medicine, Head of the Center for Combined Trauma and Reconstructive Surgery, Regional Clinical Hospital №2, 625048, Tyumen, Russia.

**Alfayyumi Malek S.**, PhD student, Department of Traumatology and Orthopedics, Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Russia.

## Corresponding author:

**Sergeev Konstantin S.**, sergeev.trauma@inbox.ru

УДК 617.3

© Скребцов В.В., Процко В.Г., Скребцов А.В., Тамоев С.К., Никитина В.К., 2025

Оригинальное исследование / Original research



## ОРИГИНАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ГЕМИЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ПЛАСТИКОЙ ПЛЮСНЕ-СЕСАМОВИДНОГО СУСТАВА КОЛЛАГЕНОВОЙ МЕМБРАНОЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОСТЕОАРТРИТА ПЕРВОГО ПЛЮСНЕФАЛАНГОВОГО СУСТАВА 3-4 СТАДИИ

**В.В. СКРЕБЦОВ<sup>1</sup>, В.Г. ПРОЦКО<sup>1,2</sup>, А.В. СКРЕБЦОВ<sup>1</sup>, С.К. ТАМОЕВ<sup>1</sup>, В.К. НИКИТИНА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ГБУЗ «ГКБ им. С. С. Юдина ДЗМ», 115446, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «РУДН им. Патриса Лумумбы», 117198, Москва, Россия

### Аннотация

**Актуальность.** Для сохранения движений первого плюснефалангового сустава при остеоартрите 3-4 стадий в настоящее время используют несколько методик. Однако, патология сесамовидных костей и плюсне-sesamoidного сустава, в частности, часто остаётся без внимания. Авторами предложен новый метод лечения остеоартрита первого плюснефалангового сустава 3-4 стадии с выраженным дегенеративными изменениями плюсне-sesamoidного сустава

**Цель работы** - Демонстрация оригинальной методики и результатов лечения остеоартрита первого плюснефалангового сустава 3-4 стадии с сопутствующими дегенеративными изменениями плюсне-sesamoidного сустава методом гемиэндопротезирования первого плюснефалангового сустава керамическим имплантатом в сочетании с пластикой плюсне-sesamoidного сустава коллагеновой мембраной

**Материалы и методы.** Техника операции включает резекцию суставной поверхности головки первой плюсневой кости, подбор размера гемиэндопротеза проведение направляющей спицы через направитель с последующим формированием канала с помощью компакторов двух видов. Выполняют резекцию измененной суставной поверхности головки первой плюсневой кости и её остеоперфорация по Бэку. При необходимости выполняют резекцию по плоскости гипертрофированных сесамовидных костей. Осуществляют адаптацию коллагеновой мембранны и фиксацию с помощью фибринового клея или шовного материала.

**Результаты.** В Центре Хирургии стопы ГКБ им. С. С. Юдина по описанной методике с периодом наблюдения более 12 месяцев прооперирован 21 пациент. Женщин – 17 (81,0%), мужчин – 4 (19,0%). Средний возраст пациентов – 61 лет ± 7,7 (43-72). Пациентов старше 60 лет – 12 пациентов (57,4%). Амплитуда движений 1 ПФС без нагрузки: до лечения – 15° ± 3,3 (5°-20°), через 12 месяцев 25° ± 3,8 (15°-30°). Амплитуда движений 1 ПФС с физиологической нагрузкой с имитацией фазы предпереноса: до лечения – 15° ± 3,0 (10°-25°), через 12 месяцев после оперативного вмешательства – 35° ± 5,2 (25°-45°). Результаты анкетирования пациентов с помощью визуальной аналоговой шкалы (ВАШ): до операции – 7,7 ± 1,9 (4-10) баллов, через 12 месяцев после проведенного лечения – 1,6 ± 0,8 (0-3) баллов. Анкетирование шкалой American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Score (AOFAS HS) до и через 12 месяцев после проведенного лечения – 35,5 ± 10,9 (18-52) и 82,7 ± 5,2 (73-90) соответственно. Показатели шкалы Foot Function Index (FFI) на момент предоперационного осмотра составили 63,5% ± 9,9 (48%-82%), через 12 месяцев – 10,5% ± 2,5 (7%-16%).

**Заключение.** Гемиэндопротезирование первого плюснефалангового сустава в сочетании с пластикой плюсне-sesamoidного сустава коллагеновой мембранны позволяет восстановить движения как в плюснефаланговом, так и в плюсне-sesamoidном суставах, что позволяет комплексно подойти к вопросу восстановления движений.

**Ключевые слова:** остеоартрит; hallux rigidus; сесамовидные кости.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Скребцов В.В., Процко В.Г., Скребцов А.В., Тамоев С.К., Никитина В.К. оригинальная методика гемиэндопротезирования в сочетании с пластикой плюсне-sesamoidного сустава коллагеновой мембранны при лечении остеоартрита первого плюснефалангового сустава 3-4 стадии. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 119–125.

## THE ORIGINAL MODEL OF THE HEMIENDOPROSTHESIS OF THE FIRST METATARSOPHALANGEAL JOINT AND THE METHOD OF ITS INSTALLATION IN THE PREPARATION OF HALLUX RIGIDUS STAGES 3-4

**VLADIMIR V. SKREBTSOV<sup>1</sup>, VICTOR G. PROTOKO<sup>1,2</sup>, ALEXANDER V. SKREBTSOV<sup>1</sup>, SARGON K. TAMOEV<sup>1</sup>, VICTORIA K. NIKITINA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Yudin City Clinical Hospital, 115446, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "RUDN named after. Patrice Lumumba", 117198, Moscow, Russian Federation

## Abstract

**Relevance.** Several methods are currently used to maintain the motion of the first metatarsophalangeal joint in osteoarthritis of stage 3-4. However, the pathology of the sesamoid bones and the metatarsophalangeal joint, in particular, is often ignored. The authors proposed a new method for treating osteoarthritis of the first metatarsophalangeal joint of stage 3-4 with pronounced degenerative changes in the metatarsophalangeal joint. The aim of the work is to demonstrate an original technique and the results of treating osteoarthritis of the first metatarsophalangeal joint of stage 3-4 with concomitant degenerative changes in the metatarsophalangeal joint by hemiendoprosthetics of the first metatarsophalangeal joint with a ceramic implant in the UK with plastic surgery of the metatarsophalangeal joint with a collagen membrane.

**Materials and methods.** The surgical technique includes resection of the articular surface of the head of the first metatarsal bone, selection of the size of the hemiendoprosthesis, insertion of a guide pin through the guide followed by formation of a channel using two types of compactors. Resection of the altered articular surface of the head of the first metatarsal bone and its osteoperforation according to Beck are performed. If necessary, resection is performed along the plane of hypertrophied sesamoid bones. Adaptation of the collagen membrane and fixation using fibrin glue or suture material are performed.

**Results.** In the Foot Surgery Center of the S. S. Yudin City Clinical Hospital, 21 patients were operated on using the described technique with an observation period of more than 12 months. There were 17 women (81.0%) and 4 men (19.0%). The average age of the patients was  $61 \text{ years} \pm 7.7$  (43-72). There were 12 patients over 60 years old (57.4%). The range of motion of the 1 MTP joint without load: before treatment -  $15^\circ \pm 3.3$  ( $5^\circ$ - $20^\circ$ ), after 12 months  $25^\circ \pm 3.8$  ( $15^\circ$ - $30^\circ$ ). The range of motion of the first MTP joint with physiological load simulating the pre-transfer phase: before treatment -  $15^\circ \pm 3.0$  ( $10^\circ$ - $25^\circ$ ), 12 months after surgery -  $35^\circ \pm 5.2$  ( $25^\circ$ - $45^\circ$ ). Results of the patient questionnaire using the visual analogue scale (VAS): before surgery -  $7.7 \pm 1.9$  (4-10) points, 12 months after the treatment -  $1.6 \pm 0.8$  (0-3) points. Questionnaire using the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Score (AOFAS HS) scale before and 12 months after the treatment -  $35.5 \pm 10.9$  (18-52) and  $82.7 \pm 5.2$  (73-90), respectively.

The Foot Function Index (FFI) scores at the time of preoperative examination were  $63.5\% \pm 9.9$  (48% - 82%), after 12 months -  $10.5\% \pm 2.5$  (7% -16%).

**Conclusion.** Hemiendoprosthetics of the first metatarsophalangeal joint in combination with plastic surgery of the metatarsophalangeal joint with a collagen membrane allows for the restoration of movement in both the metatarsophalangeal and metatarsophalangeal joints, which allows for a comprehensive approach to the issue of restoring movement.

**Key words:** osteoarthritis; hallux rigidus; sesamoid bones

**Conflict of interests:** The authors declare that there are no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Skrebtsov V.V., Protsko V.G., Skrebtsov A.V., Tamoev S.K., Nikitina V.K. The original model of the hemiendoprosthesis of the first metatarsophalangeal joint and the method of its installation in the preparation of hallux rigidus stages 3-4. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 119-125.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.119-125

## Введение

Тактика лечения, направленная на сохранение движений крупного сустава при его остеоартрите (OA), является обще-принятой и позволяет эффективно снизить болевой синдром и восстановить уровень активности пациента [1, 2]. Данный подход реализуется и в хирургии стопы. Несмотря на то, что золотым стандартом лечения OA первого плюснефалангового сустава (1 ПФС) является артродез сустава, эндопротезирование 1 ПФС набирает популярность и позволяет достичь снижения интенсивности болевого синдрома при сохранении движений 1 ПФС в отдаленные сроки [3].

В последнее время 1 ПФС принято считать не простым, а комбинированным суставом, который состоит из суставных поверхностей четырех костей, где к первой плюсневой кости и основной фаланги первого пальца также относят две сесамовидные кости [4]. Поэтому при некоторых патологиях, например при лечении Hallux Valgus, взаимное положение первой плюсневой кости и сесамовидных костей специалистов интересует с точки зрения прогнозирования

результатов лечения [5]. Однако при анализе литературы, посвящённой лечению OA 1 ПФС, нами выявлены единичные публикации, освещающие терапевтическое или хирургическое лечение дегенеративных изменений плюснесесамовидного сустава в комплексе 1 ПФС [6].

Тактика лечения пациентов с OA 1 ПФС, направленная на сохранение движений в суставе, по нашему мнению, также должна учитывать не только суставных поверхностей первой плюсневой кости и основной фаланги первого пальца, но и дегенеративные изменения в плюсне-sesamovidном суставе. В публикации представлено описание использования оригинальной методики гемиэндопротезирования первого плюснефалангового сустава в сочетании с пластикой плюснесесамовидного сустава коллагеновой мембраной [7].

Главной целью применения данной методики является восстановление движений 1 ПФС не только на уровне плюснефалангового сочленения, но и на уровне плюснесесамовидного сустава.

**Цель работы.** Демонстрация оригинальной методики гемиэндопротезирования первого плюснефалангового сустава в сочетании с пластикой плюсне-сесамовидного сустава коллагеновой мембраной для лечения ОА 1 ПФС 3–4 стадии с сопутствующими дегенеративными изменениями плюсне-сесамовидного сустава.

### Материалы и методы

Описание модели гемиэндопротеза и методика выполнения оперативного вмешательства

Гемиэндопротез оригинальной модели выполнен из циркониевой керамики, стабилизированной иттрием (рис 1.) [8] Преимуществами циркониевой керамики являются: хорошие коэффициенты трения и смачивания, высокая прочность, биоинертность, остеointеграция. Также данный материал является одним из наиболее щадящих по отношению к суставному хрящу. Суставная поверхность гемиэндопротеза обладает низким уровнем шероховатости  $Ra \sim 0,02 \text{ мкм}$  [9–12]. Головка гемиэндопротеза близка к анатомической форме головки первой плюсневой кости. Низкий профиль головки гемиэндопротеза позволяет минимизировать необходимость резекции головки первой плюсневой кости. Это позволяет обеспечить стабильность гемиэндопротеза и сохранить костную ткань для ревизионных вмешательств в случае возможных осложнений.

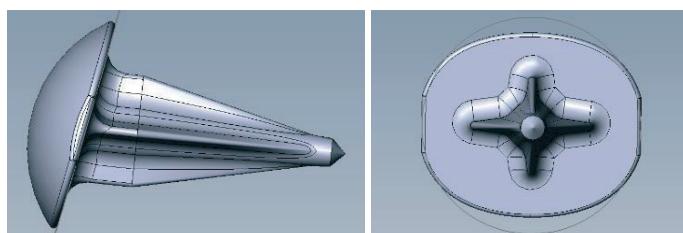


Рис. 1. Модель керамического гемиэндопротеза 1 ПФС  
Fig. 1. Model of ceramic hemiendoprosthesis 1 MTP

На обратной стороне головки имплантата выполнены продольные и поперечные канавки, которые предназначены для увеличения площади контакта и последующего ускорения образования участков остеointеграции.

Ножка имплантата имеет четырёхлопастную форму, благодаря которой обеспечивается стабильность фиксации гемиэндопротеза в метафизарной части первой плюсневой кости за счёт press-fit установки и увеличенной площади контакта на границе имплант–кость. Уровень шероховатости ножки составляет  $Ra \sim 1.5\text{--}2.5 \text{ мкм}$ . Этот уровень шероховатости способствует оптимальному врастанию, обеспечивая прочное и надежное соединение между имплантом и тканями организма. Данная форма ножки гемиэндопротеза позволяет обеспечить максимальную ротационную стабильность гемиэндопротеза и минимизировать костный дефект при формировании канала в метафизарной части плюсневой кости.

Размерный ряд гемиэндопротеза представлен 4 вариантами, позволяющими выполнить оперативное вмешательство при различном диаметре плюсневой кости.

Для пластики плюсне-сесамовидного сустава мы использовали биорезорбируемую коллагеновую мембрану с размерностью нановолокон (от 50 нм до 500 нм). Принцип работы биорезорбируемой коллагеновой мембранны заключается в создании каркаса и стабилизации стволовых клеток, которые выступают через субхондральную кость после её туннелизации. Происходит защита и связывание прогениторных белков с последующей их дифференциацией [13].

Положение пациента — на спине. Производится трёхкратная обработка операционного поля растворами антисептиков. Медиальным доступом выполняется артrotомия первого плюснефалангового сустава (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид сустава  
Fig. 2. External appearance of the joint

Осцилляторной пилой производится резекция костно-хрящевых экзостозов, осуществляется мягкотканый релиз первого плюснефалангового сустава и сесамовидного гамака. С помощью резекционного блока оригинальной модели выполняется удаление пораженного участка суставной поверхности головки первой плюсневой кости до кровоснабжаемой губчатой костной ткани (рис. 3).

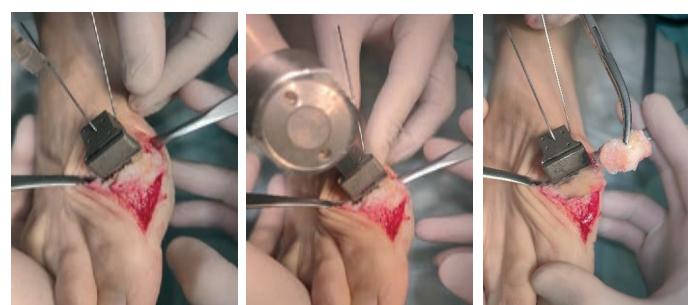


Рис. 3. Резекция суставной поверхности головки первой плюсневой кости с помощью резекционного блока  
Fig. 3. Resection of the articular surface of the head of the first metatarsal bone using a filing block

При необходимости задать большее укорочение плюсневой кости, резекционный блок устанавливается более проксимально и производится дополнительная резекция костной ткани. С помощью тестового шаблона производится интраоперационная оценка амплитуды движений, а достаточную интраоперационную амплитуду движений плюснефалангового сустава принимали: флексия – 60°, экстензия – 15°. Далее через направитель в тестовом шаблоне проводится направляющая спица (рис 4.).



Рис. 4. Установка направляющей спицы, подбор размера гемиэндопротеза с помощью тестового шаблона  
Fig. 4. Installation of a guide pin, selection of the hemiendoprosthesis size using a test template

По спице с помощью компакторов двух размеров – стартового и финишного, выполняется подготовка канала для ножки гемиэндопротеза (рис 5.).

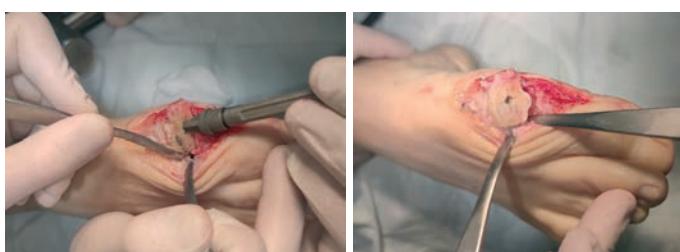


Рис. 5. Формирование канала гемиэндопротеза с помощью компактора  
Fig. 5. Formation of the hemiendoprosthesis channel using a compactor

Следующим этапом производится пластика плюсне-сесамовидного сустава коллагеновой мембраной. Выполняется резекция измененной суставной поверхности головки первой плюсневой кости со стороны плюсне-сесамовидного сустава, выполняется её остеоперфорация по Бэку спицей диаметром 1 мм до появления «кровяной росы». При необходимости выполняется резекция по плоскости гипертрофированных сесамовидных костей. Осуществляется примерка и адаптация коллагеновой мембранны под площадь поверхности плюсне-сесамовидного сустава. Далее возможны два варианта фиксации коллагеновой мембранны. В первом случае применяют фибриновый клей, с помощью которого происходит фиксация коллагеновой мембранны к сформированно-

му ложу. Фибриновый клей наносится на субхондральную кость, полностью заполняя область имплантации мембранны. Поверх укладывается коллагеновая мембра, происходит выжидание экспозиции для застывания клея.

Второй вариант фиксации предполагает фиксацию рассасывающимся швовым материалом. С помощью спиц диаметром 1 мм. выполняется 4 отверстия в плюсневой кости в дорсально-плантарном направлении. Через отверстия проводится рассасывающаяся полифиламентная нить 4.0. Коллагеновая мембра прошивается швовым материалом и фиксируется на узлах к плюсневой кости. С помощью импактора производится press-fit установка гемиэндопротеза (рис. 6.).



Рис. 6 А. Прошивание коллагеновой мембранны и её ориентирование на первой плюсневой кости. В. Внешний вид стопы после установки гемиэндопротеза и пластики плюсне-сесамовидного сустава коллагеновой мембранны  
Fig. 6. A. Suturing the collagen membrane and orienting it on the first metatarsal bone. B. Appearance of the foot after installation of the hemiendoprosthesis and plastic surgery of the metatarso-sesamoid joint with a collagen membrane

После установки гемиэндопротеза выполняют повторную оценку амплитуды движения в суставе, оценивают фиксацию коллагеновой мембранны (Рис 7.).



Рис. 7. Интраоперационная оценка амплитуды движений 1 ПФС после гемиэндопротезирования 1 ПФС и пластики плюсне-сесамовидного сустава коллагеновой мембранны

Fig. 7. Intraoperative assessment of the range of motion of the 1 MTP joint after hemiendoprosthetics of the 1 MTP joint and plastic surgery of the metatarso-sesamoid joint with a collagen membrane

Рана обрабатывается растворами антисептиков. Рана послойно ушивается. Асептическая повязка на рану.

В послеоперационном периоде пациентам начиная с первых суток после оперативного вмешательства пациентом проводилась активная реабилитация пациента, которая заключалась в разработке активных и пассивных движений 1 ПФС. Для передвижения пациентов использовалась обувь Барука со склоненной подошвой в переднем отделе на протяжении 6 недель. Начиная с 7 недели для пациента пациенту разрешалась нагрузка на оперированную конечность с полной активной и пассивной разработкой движений.

### Результаты

В Центре Хирургии стопы ГКБ им. С. С. Юдина по описанной методике с минимальным периодом наблюдения более 12 месяцев прооперирован 21 пациент. Женщин было 17 (81,0 %), мужчин 4 (19,0 %). Средний возраст пациентов составил  $61 \text{ лет} \pm 7,7$  (43–72). Пациентов старше 60 лет – 57,4 % (12 пациентов). Среди данной группы пациентов нами не было выявлено инфекционных осложнений и признаков нестабильности гемиэндопротеза. Средняя амплитуда движений 1 ПФС без нагрузки: до лечения –  $15^\circ \pm 3,3$  ( $5^\circ$ – $20^\circ$ ), на момент контрольного осмотра через 12 месяцев  $25^\circ \pm 3,8$  ( $15^\circ$ – $30^\circ$ ). Средняя амплитуда движений 1 ПФС с физиологической нагрузкой с имитацией фазы предпереноса: до лечения –  $15^\circ \pm 3,0$  ( $10^\circ$ – $25^\circ$ ), через 12 месяцев после лечения –  $35^\circ \pm 5,2$  ( $25^\circ$ – $45^\circ$ ) (рис. 8). Результаты анкетирования пациентов с помощью визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) до операции составили  $7,7 \pm 1,9$  (4–10) баллов. Через 12 месяцев после проведенного лечения результаты анкетирования ВАШ составили  $1,6 \pm 0,8$  (0–3) баллов. Анкетирование шкалой American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Score (AOFAS HS) также позволяет сделать вывод о наличии положительной динамики до и через 12 месяцев после проведенного лечения: до операции –  $35,5 \pm 10,9$  (18–52), через 12 месяцев –  $82,7 \pm 5,2$  (73–90). Показатели шкалы Foot Function Index (FFI) на момент предоперационного осмотра равнялись  $63,5\% \pm 9,9$  (48%–82%), через 12 месяцев –  $10,5\% \pm 2,5$  (7%–16%).



Рис. 7. Оценка амплитуды движений с нагрузкой с имитацией фазы предпереноса

Fig. 7. Evaluation of the amplitude of movements with a load with the imitation of the pre-swing phase

### Обсуждение

Сесамовидные кости являются крайне важными анатомическим структурами, которые принимают участие в движении 1 ПФС и оказывают значительное влияние на биомеханику стопы в целом [14]. В фазе предпереноса (pre-swing) шага происходит подъем заднего отдела стопы. При этом первый палец и сесамовидные кости фиксированы на опоре, первая плюсневая кость по сесамовидным костям смещается проксимально и подошвенно. Таким образом происходит активация механизма лебедки – «windlass mechanism». Данный механизм позволяет увеличить моментное плечо мышц-сгибателей и обеспечить максимальную энергоэффективность в процессе шага [15].

При нарушении движений сесамовидных костей происходит смещение оси ротации 1 ПФС подошвенно на уровень соединения головки первой плюсневой кости и сесамовидных костей, таким образом происходит образование шарнира на уровне сесамо-фаланговой связки [16]. В результате основная фаланга первого пальца не может смещаться дорсально по головке первой плюсневой кости, что приводит к возникновению импиджмент синдрома с конфликтом по тыльной поверхности сустава. Flavin и соавт. определили, что напряжение суставного хряща на тыльной трети головки плюсневой кости при наличии тугоподвижности 1 ПФС увеличивалась с 3,6 МПа до 7,3 МПа [17]. Данные нарушения сопровождаются хронической травматизацией сесамовидных костей, приводит к их реактивной пролиферации и энтеозопатии, что в далеко зашедших стадиях может проявляться гипертрофией сесамовидных костей и образованием субхондральных кист [18]. В анатомическом исследовании Aseyo D. и соавт., дегенеративные изменения плюсне-sesamovидного комплекса при OA 1 ПФС наблюдали в 32%. Анкилоз данного сочленения отмечался в 4 % [19].

Таким образом, подход к лечению OA 1 ПФС, направленному на сохранение движений в суставе, должен включать в себя: декомпрессию суставных поверхностей, восстановление конгруэнтности суставных поверхностей и оси ротации сустава. Для решения вышеперечисленных задач нами ранее была предложена методика изолированного гемиэндопротезирования 1 ПФС [20]. В период с 2021 по 2024 год нами выполнено 32 изолированных гемиэндопротезирования 1 ПФС. При анализе результатов лечения пациентов с OA 1 ПФС 3–4 стадии наиболее частым осложнением после оперативного вмешательства являлась тугоподвижность данного сустава. Более подробный повторный анализ предоперационных рентгенограмм позволил выявить корреляцию между наличием выраженных дегенеративных изменений плюсне-сесамовидного сустава, возрастом пациентов и ограничением движений 1 ПФС. Для решения этой проблемы мы предложили данную методику [8].

Применение биодеградируемых коллагеновых мембран является одной из широко используемой методик, в том

числе и при лечении остеохондральных дефектов как коленного сустава, так и голеностопного сустава и стопы [21,22]. Принцип методики применения коллагеновых мембран заключается в активизации механизма хондрогенеза [23]. В литературе имеется большое количество исследований, подтверждающих эффективность применений коллагеновых мембран с целью восстановления хрящевой ткани [24].

### Заключение

Предложенная методика гемиэндопротезирования первого плюснефалангового сустава керамическим гемиэндопротезом в сочетании с пластикой плюсне-сесамовидного сустава коллагеновой мембраной, по нашему мнению, позволяет восстановить движения в плюсне-фаланговом суставе с учетом влияния на движения 1 ПФС плюсне-сесамовидного сустава, и таким образом, может быть эффективным и воспроизведимым методом оперативного лечения пациентов ОА 1 ПФС 3–4 стадии с сопутствующими дегенеративными изменениями плюсне-сесамовидного сустава.

### Список литературы / References:

1. Zhu S, Qian W, Jiang C, Ye C, Chen X. Enhanced recovery after surgery for hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J*. 2017; 93 (1106): 736-742. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2017-134991>
2. Anger M, Valovska T, Beloeil H, et al. PROSPECT guideline for total hip arthroplasty: a systematic review and procedure-specific postoperative pain management recommendations. *Anaesthesia*. 2021; 76 (8): 1082-1097. <https://doi.org/10.1111/anae.15498>
3. de Bot RTAL, Veldman HD, Eurlings R, Stevens J, Hermus JPS, Witlox AM. Metallic hemiarthroplasty or arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint as treatment for hallux rigidus: A systematic review and meta-analysis. *Foot and Ankle Surgery*. 2022; 28 (2): 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2021.03.004>
4. Nwawka OK, Hayashi D, Diaz LE, et al. Sesamoids and accessory ossicles of the foot: Anatomical variability and related pathology. *Insights Imaging*. 2013; 4 (5): 581-593. <https://doi.org/10.1007/s13244-013-0277-1>
5. Zhang L, Wang J, Liu J, Luo J. Classification of Hallucal Sesamoid Bone Correlated with Hallux Valgus Severity. *Biomed Res Int*. 2020; 2020 (1): 9658916. <https://doi.org/10.1155/2020/9658916>
6. Lui TH, Slocum AMY, Li CCH, Kumamoto W. Arthroscopic Dorsal Cheilectomy, Plantar Capsular Release, Flexor Hallucis Brevis Release, and Sesamoid Cheilectomy for Management of Early Stages of Hallux Rigidus. *Arthrosc Tech*. 2025; 14(2). <https://doi.org/10.1016/j.eats.2024.103198>
7. Способ лечения деформирующих повреждений плюсне-фалангового и плюсне-сесамовидного суставов с использованием коллагеновой мембраны N 2024116171; заявл. 13.06.2024: опубл. 11.03.2025/Процко В. Г., Скребцов В. В., Тамоев С. К., Скребцов А. В. Бюл. № 8.
8. Патент N 211915 Российская Федерация, МПК A61F 2/42 (2006.01). Гемиэндопротез первого плюснефалангового сустава N 2021126581: заявл. 08.09.2021: опубл. 28.06.2022 / Карлов А. В., Процко В. Г., Скребцов В. В. Бюл. № 19.
9. Chen YW, Moussi J, Drury JL, Wataha JC. Zirconia in biomedical applications. *Expert Rev Med Devices*. 2016; 13 (10): 945-963. <https://doi.org/10.1080/17434440.2016.1230017>
10. Vanlommel J, De Corte R, Luyckx JP, Anderson M, Labey L, Bellemans J. Articulation of Native Cartilage Against Different Femoral Component Materials. Oxidized Zirconium Damages Cartilage Less Than Cobalt-Chrome. *J Arthroplasty*. 2017; 32 (1): 256-262. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2016.06.024>
11. Rezaei NM, Hasegawa M, Ishijima M, et al. Biological and osseointegration capabilities of hierarchically (Meso-/micro-/nano-scale) roughened zirconia. *Int J Nanomedicine*. 2018; 13: 3381-3395. <https://doi.org/10.2147/IJN.S159955>
12. Wimmer MA, Pacione C, Yuh C, et al. Articulation of an alumina-zirconia composite ceramic against living cartilage – An in vitro wear test. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020; 103: 103531. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103531>
13. Gille J, Behrens P, Volpi P, et al. Outcome of Autologous Matrix Induced Chondrogenesis (AMIC) in cartilage knee surgery: data of the AMIC Registry. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013; 133 (1): 87-93. <https://doi.org/10.1007/s00402-012-1621-5>
14. Shereff MJ, Bejjani FJ, Kummer FJ. Kinematics of the first metatarsophalangeal joint. *JBJS*. 1986; 68 (3). [https://journals.lww.com/jbjsjournal/fulltext/1986/68030/kinematics\\_of\\_the\\_first\\_metatarsophalangeal\\_joint\\_.12.aspx](https://journals.lww.com/jbjsjournal/fulltext/1986/68030/kinematics_of_the_first_metatarsophalangeal_joint_.12.aspx)
15. HICKS JH. The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat*. 1954; 88(1): 25-30. <http://europemc.org/abstract/MED/13129168>
16. Yoshioka Y, Siu DW, Cooke TD V, Bryant JT, Wyss U. Geometry of the first metatarsophalangeal joint. *Journal of Orthopaedic Research*. 1988; 6 (6): 878-885. <https://doi.org/10.1002/jor.1100060612>
17. Flavin R, Halpin T, O'Sullivan R, Fitz Patrick D, Ivankovic A, Stephens MM. A finite-element analysis study of the metatarsophalangeal joint of the hallux rigidus. *J Bone Joint Surg Br*. 2008; 90-B (10): 1334-1340. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.90B10.20506>
18. Schweitzer ME, Maheshwari S, Shabshin N. Hallux valgus and hallux rigidus: MRI findings. *Clin Imaging*. 1999; 23 (6): 397-402. [https://doi.org/10.1016/S0899-7071\(00\)00167-4](https://doi.org/10.1016/S0899-7071(00)00167-4)
19. Aseyo D, Nathan H. Hallux sesamoid bones. Anatomical observations with special reference to osteoarthritis and hallux valgus. *Int Orthop*. 1984; 8 (1): 67-73. <https://doi.org/10.1007/BF00267743>
20. Скребцов В.В., Процко В.Г., Скребцов А.В., Тамоев С.К. Оригинальная модель гемиэндопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии. *Гений ортопедии*. 2024; 30 (6): 889-896.
21. Richter M, Zech S, Naef I, Meissner SA. Autologous Matrix induced Chondrogenesis plus Peripheral Blood Concentrate (AMIC+P-BC) in chondral defects of the first metatarsophalangeal joint - 7-year follow-up. *Foot and Ankle Surgery*. 2025; 31 (5): 460-465. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2025.01.013>
22. Steinwachs Matthias R, Gille Justus, Volz Martin, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of the Clinical Evidence on the Use of Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis in the Knee. *Cartilage*. 2019; 13(1\_suppl): 42S-56S. <https://doi.org/10.1177/1947603519870846>
23. Fontana A. A Novel Technique for Treating Cartilage Defects in the Hip: A Fully Arthroscopic Approach to Using Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis. *Arthrosc Tech*. 2012; 1(1): e63-e68. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2012.02.003>
24. McCarthy HS, Roberts S. A histological comparison of the repair tissue formed when using either ChondroGide or periosteum during autologous chondrocyte implantation. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013; 21 (12): 2048-2057. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2013.10.004>.

## Авторы:

**Скrebцов Владимир Владимирович** – к.м.н., врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №4, ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С. С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», Коломенский проезд, д.4 г. Москва, 115446, Россия. e-mail: Skrebtsov@mail.ru; e-mail: Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>

**Процко Виктор Геннадьевич** – д.м.н., профессор кафедры травматологии ортопедии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва, 117198, Россия; врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №4, ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», Коломенский проезд, д.4 г. Москва, 115446, Россия. e-mail: 89035586679@mail.ru

**Скrebцов Александр Владимирович** – врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №4, ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С. С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», Коломенский проезд, д.4 г. Москва, 115446, Россия. e-mail: Skrebtsovalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>

**Саргон Константинович Тамоев**, к.м.н., врач травматолог-ортопед, заведующий отделением травматологии и ортопедии №4, e-mail: Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>

**Виктория Константиновна Никитина**, врач травматолог-ортопед, e-mail: vcnikitina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>

**Автор, ответственный за переписку:**

**Скrebцов Александр Владимирович**, E-mail: Skrebtsovalex@mail.ru, Тел.: +7 (985) 870 50 17

## Authors:

**Vladimir V. Skrebtsov**, PhD, Orthopedic Surgeon, City Clinical Hospital named after I.I. S.S. Yudin, e-mail: Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>

**Victor G. Protsko** – MD, PhD, professor of department of Traumatology and Orthopedics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "RUDN named after Patrice Lumumba", Moscow, Russia; Orthopedic Surgeon, City Clinical Hospital named after I.I. S.S. Yudin, Moscow, 115446, Russia. e-mail: 89035586679@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>

**Alexander V. Skrebtsov** – Orthopedic Surgeon, City Clinical Hospital named after I.I. S.S. Yudin, Moscow, 115446, Russia. e-mail: Skrebtsovalex@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>

**Sargon K. Tamoev** – PhD, Head of the department, Orthopedic Surgeon, City Clinical Hospital named after I.I. S.S. Yudin, Moscow, 115446, Russia. e-mail: Sargonik@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>

**Victoria K. Nikitina** – Orthopedic Surgeon, City Clinical Hospital named after I.I. S.S. Yudin, Moscow, 115446, Russia. e-mail: vcnikitina@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>

## Corresponding author:

**Alexander V. Skrebtsov** – Orthopedic Surgeon, e-mail: Skrebtsovalex@mail.ru.

УДК 617.3

© Хабиз А.А.Р., Калинский Б.М., Грицюк А.А., Лычагин А.В., Тарабарко И.Н., Гаркави А.В.,  
Кавалерский Г.М., 2025



Оригинальное исследование / Original research

## ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ПАТЕЛЛОФЕМОРАЛЬНОГО АРТРОЗА

**А.А.Р. ХАБИЗ<sup>1</sup>, Б.М. КАЛИНСКИЙ<sup>2</sup>, А.А. ГРИЦЮК<sup>1</sup>, А.В. ЛЫЧАГИН<sup>1</sup>, И.Н. ТАРАБАРКО<sup>1</sup>, А.В. ГАРКАВИ<sup>1</sup>,  
Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России

(Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

<sup>2</sup>ММНКЦ имени С.П. Боткина, 125284, Москва, Россия

### Аннотация

**Обоснование:** Посттравматический артроз пателлофеморального сочленения представляет собой серьёзную медицинскую проблему, особенно среди людей молодого и среднего возраста, а также среди активных спортсменов. Согласно различным исследованиям, частота посттравматических изменений в пателлофеморальном суставе составляет от 10 % до 40 %, что подтверждает актуальность исследования. Цель исследования: улучшить результаты хирургического лечения посттравматического артроза пателлофеморального сочленения с латеральной гиперпрессией надколенника с помощью применения артроскопической латеральной релиза надколенника.

**Материалы и методы:** В исследовании приняли участие 54 пациента в возрасте от 20 до 70 лет ( $M \pm \sigma$  50,7±13,3 лет) с латеральной гиперпрессией надколенника. Пациенты были разделены на 2 группы: 39 пациентов, которым было проведено хирургическое лечение, и 15 пациентов, которых лечили консервативно. Все пациенты были анкетированы по шкалам ВАШ и KOOS.

**Результаты:** Результат по шкале ВАШ ( $M \pm \sigma$ ) у пациентов 1 группы в динамике показал более быстрое снижение болевого синдрома (с 6,5 балла до 1,56 балла; на 74%) по сравнению с этим показателем у пациентов 2 группы. Суммарный балл по шкале KOOS ( $M \pm \sigma$ ) у пациентов 1 группы в динамике был выше в более ранние сроки (с 36,12 балла до 80,09 балла; на 121,73%) в сравнении показателем пациентов 2 группы. К концу наблюдения в обеих группах было отмечено статистически достоверное улучшение показателей по опросниками ВАШ и KOOS.

Хирургическое вмешательство, включающее рассечение латеральный поддерживающий связки надколенника, обеспечивало более быстрое облегчение боли (оценка по ВАШ) и улучшение функционального состояния с повышением уровня активности (в повседневной жизни и спорте) и качества жизни (оценка по KOOS) по сравнению с консервативным лечением.

**Выводы:** Проведённый анализ результатов хирургического лечения посттравматического артроза пателлофеморального сочленения показал положительную динамику и значительное улучшение клинических показателей функции коленного сустава, а также снижение уровня болевого синдрома в более ранние сроки по сравнению с консервативным лечением.

**Ключевые слова:** латеральная гиперпрессия надколенника; пателлофеморальное сочленение; шкала ВАШ; шкала KOOS.

**Конфликт интересов:** ни у одного из авторов нет конфликта интересов, который мог бы ненадлежащим образом повлиять на эту работу.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Хабиз А.А., Калинский Б.М., Грицюк А.А., Лычагин А.В., Тарабарко И.Н., Гаркави А.В., Кавалерский Г.М. Хирургическое лечение посттравматического пателлофеморального артроза. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 126–133.

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

## SURGICAL TREATMENT OF POSTTRAUMATIC ARTHRITIS OF PATELLOFEMORAL JOINT

**KHABEEZ AHMED ALBASHEER RAMADHAN<sup>1</sup>, BORIS M. KALINSKY<sup>2</sup>, ANDREY A. GRITSUK<sup>1</sup>, ALEXEY V. LYCHAGIN<sup>1</sup>,  
IVAN N. TARABARKO<sup>1</sup>, ANDREY V. GARKAVI<sup>1</sup>, GENNADY M. KAVALERSKIY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

<sup>2</sup>GBUZ City Clinical Hospital. S.P. Botkin of the Moscow Department of Health, 2nd Botkinsky pr-d, 5, 125284 Moscow, Russia

**Abstract**

**Introduction:** Posttraumatic arthritis of the patellofemoral joint is a serious medical problem, especially among young and middle-aged people and active athletes. According to various studies, the incidence of posttraumatic changes in the patellofemoral joint ranges from 10% to 40%, which confirms the relevance of surgical treatment.

**Objective:** to improve the results of surgical treatment of post-traumatic osteoarthritis of the patellofemoral joint with lateral patellar hyperpressure using arthroscopic lateral patellar release.

**Materials and Methods:** Fifty-four patients aged 20 to 70 years ( $M \pm \sigma$  50.7 ± 13.3 years) with lateral patellar hyperpressure syndrome participated in the study. Patients were divided into 2 groups: 39 patients who underwent surgical treatment and 15 patients who were treated conservatively. All patients were questioned using the VAS and KOOS scales.

**Results:** The VAS scale score in group 1 patients had a faster decrease in pain score in dynamics (from 6,5 to 1,56; 74%) compared to that in group 2 patients. Total KOOS scale score in patients of group 1 in dynamics increased in earlier terms (from 36,12 to 80,09; 121,73%) in comparison with the index of patients of group 2. By the end of follow-up in both groups, statistically reliable improvement of VAS and KOOS scores was noted. Surgical intervention, including dissection of the lateral supporting ligament of the patella, provided faster pain relief (VAS score) and improved functional status with increased activity levels (in daily life and sports) and quality of life (KOOS score) compared with conservative treatment.

**Conclusion:** The analysis of the results of surgical treatment of post-traumatic patellofemoral joint arthritis showed positive outcomes and a significant improvement in the clinical indicators of the knee joint, as well as a reduction in pain levels at earlier stages compared to conservative treatment.

**Key words:** Lateral patellar compression syndrome; patellofemoral articulation; VAS scale; KOOS scale.

**Conflict of interests:** None of the authors has a conflict of interest that could unduly influence this work.

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Khabeez A.A., Kalinsky B.M., Gritsyuk A.A., Lychagin A.V., Tarabarko I.N., Garkavi A.V., Kavalersky G.M. Surgical treatment of posttraumatic arthritis of patellofemoral joint. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 126–133.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.126-133

**Введение**

Артроз пателлофеморального сочленения (ПФС) является одним из наиболее часто встречающихся в патологии коленного сустава. Исследования показывают, что примерно от 6,9% до 36,1% всех обращений к травматологам и ортопедам по поводу заболеваний коленного сустава связаны именно с артрозом пателлофеморального сочленения [1]. Такая высокая распространенность заболевания создает проблемы при определении индивидуальной стратегии лечения, основанной на его патогенезе [2].

Боль в области пателлофеморального сочленения может возникать в результате синдрома латеральной гиперпрессии надколенника (СЛГН), который представляет собой состояние, характеризующееся перегрузкой и повышенным контактным давлением на латеральную поверхность надколенника [3]. Основная суть клинических проявлений посттравматического артоза ПФС состоит из двух ключевых синдромов: стойкого болевого синдрома в переднем отделе коленного сустава и синдрома латеральной гиперпрессии надколенника. Это происходит из-за патологического утолщения и натяжения латеральных мягких тканей, в частности латерального ретинакула. Распространенность болевого синдрома, связанного с СЛГН, широко варьирует от 12–13 % среди подростков и до 22,7 % среди населения в целом, увеличиваясь до 28,9 % среди спортсменов [4, 5]. Факторы риска, такие как дисбаланс мышц бедра, аномалии строения надколенника и чрезмерные нагрузки, играют ключевую роль в развитии СЛГН [6, 7, 20, 21].

Методы визуализации СЛГН начинаются с рутинной рентгенографии в аксиальной проекции, компьютерной томографии (КТ) в аксиальной проекции, динамической компьютерной томографии (ДКТ) [8, 22]. Латеральный релиз надколенника является эффективным методом хирургического лечения СЛГН, как в качестве самостоятельной операции, так и в сочетании с другими вмешательствами. Логическое обоснование такого подхода заключается в коррекции дисбаланса в разгибательном механизме [9]. Такое хирургическое вмешательство рекомендуется пациентам с пателлофеморальным остеоартрозом и СЛГН, испытывающим постоянную боль в области коленного сустава, которая не поддается консервативному лечению [10].

Настоящее исследование является продолжением диагностического исследования, в котором у 39 пациентов с помощью ДКТ был выявлен СЛГН, который, по нашему убеждению, является показанием для хирургического лечения.

**Цель исследования**

Улучшить результаты хирургического лечения посттравматического артоза пателлофеморального сочленения с латеральной гиперпрессией надколенника с помощью применения артроскопической латеральной релиза надколенника.

**Материалы и методы**

**Дизайн исследования:** одноцентровое проспективное исследование с участием 54 пациентов с посттравматическим деформирующим артозом пателлофеморального сочленения.

**Критерии включения пациентов в исследование:**

1. Пациенты старше 18 лет с посттравматическим деформирующим артрозом пателлофеморального сочленения, проявляющимся синдромом латеральной гиперпрессии.
2. Боль по ВАШ более 3-х баллов.
3. Закрытый перелом надколенника с остеосинтезом в анамнезе и последующим удалением металлоконструкции.

**Критерии невключения пациентов в исследования:**

1. Сахарный диабет в стадии декомпенсации.
2. Преднизолон зависимые системные заболевания.
3. Анемия и тромбофиля.
4. Пациенты с низкой социальной ответственностью.

**Критерии исключения пациентов из исследования:**

1. Отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании.

Из исследования были исключены пациенты, не соответствующие критериям включения, а также пациенты, не нуждающиеся в проведении артроскопического лечения.

Было отобрано 54 пациента (19 мужчин и 35 женщин) в возрасте от 20 до 88 лет (средний возраст  $55,7 \pm 17,1$  лет) с синдромом латеральной гиперпрессии надколенника, у которых по данным КТ диагностировано сужение ширины пателлофеморального сочленения с латеральной стороны менее 3 мм. Им было предложен хирургическое лечение. При этом 15 пациентов отказались от предложенного им хирургического лечения.

В дальнейшем, зависимости от применяемого метода лечения, пациенты были разделены на две группы:

В первую группу были включены 39 пациентов (14 мужчин и 25 женщин) в возрасте от 20 до 88 лет (средний возраст составил  $56,4 \pm 18,4$  лет). Им было выполнено хирургическое лечение в объеме латерального релиза.

Во вторую группу были включены 15 пациентов (5 мужчин и 10 женщин) возрасте от 25 до 88 (средний возраст составил  $53,9 \pm 15,23$  лет). Этим пациентам было назначено консервативное лечение.

Срок наблюдения для обеих групп составил 6 месяцев. Все пациенты заполняли опросники по шкалам VAS и KOOS до лечения и во время проведения контрольных осмотров (через 1, 3 и 6 месяцев после лечения).

Исследование проводилось на базе травматологического отделения ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина в период с 2018 по 2023 гг. Все пациенты подписали письменное добровольное согласие о принятии участия в данном исследовании, которое получило одобрение экспертной комиссии по этике ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина (протокол № 07 от 10.10.2018 г.).

### Методика операции

Все операции были проведены одним травматологом-ортопедом под эпидуральной анестезией. Пациента укладывали в положении лежа на спине, оперируемая конечность находилась в положении свободного сгибания  $20\text{--}30^\circ$  (с упором в валик или с использованием ножного держателя). После

обескровливания на бедро (по необходимости) под давлением до 280 мм рт. ст. накладывали турникет. Операционное поле готовили с использованием антисептиков.

Применялся стандартный артроскопический набор: артроскоп  $30^\circ$  (4 мм), канюли для ирригации, электрокоагулятор или радиочастотный зонд, артроскопический шейвер, инъекционный иглы 18G.

Использовались стандартные антеролатеральные (для введения артроскопа) и антеромедиальные артроскопические доступы (рабочий порт) (рис. 1).

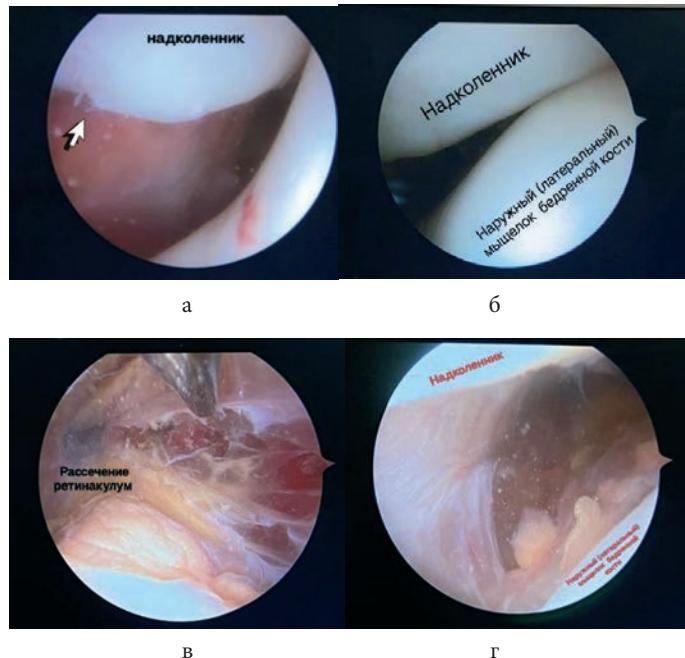


Рисунок 1. Интраоперационная картина

Для оценки состояния суставных поверхностей, синовиальной оболочки и стабильности надколенника проводили диагностическую артроскопию.

Идентификация латерального ретинакулума осуществлялась путем визуализации латеральных поддерживающих структур надколенника. Оценка степени натяжения надколенника проводилась по результатам динамического теста (пассивное смещение надколенника кнутри) (рис. 2 а, б).

Для релиза латерального ретинакулума через антеромедиальный порт вводили электрокоагулятор или радиочастотный зонд, оценивая степень гиперпрессии (1–3 ст.), затем постепенно рассекали латеральный ретинакулум от верхнего полюса надколенника вниз до суставной щели. После начального рассечения снова оценили позицию с помощью проверки медиализации (инструментом) и подвигали надколенник, и, если оставалась гиперпрессия, углубляли рассечение. После этого проводили контроль адекватности релиза по восстановлению подвижности надколенника (достижение симметричного расположения). Удовлетворительным результат считали в том случае, если надколенник удавалось сместить медиально как минимум на 12 мм и наклонить его на  $90^\circ$  (рис. 2 в, г).



**Рисунок 2.** Интраоперационная фотография при артроскопии коленного сустава: а-б - зона хондромалии надколенника 2 степени, связанная с гиперпрессией латеральной фасетки надколенника; в-г - вид рассеченного латерального ретинакула от верхнего полюса надколенника вниз до суставной щели

Для гемостаза использовалась электрокоагуляция с последующим промыванием сустава физиологическим раствором. Проводилось удаление инструментов и портов, ушивание и наложение асептической повязки. Иммобилизация проводилась с помощью ортеза.

#### Протокол консервативного лечения

Консервативное лечение включало соблюдение охранительного режима с временной иммобилизацией (при необходимости), физиотерапии, лечебной физкультуры, фармакотерапии и локальных медикаментозных процедур [11, 12, 13, 14].

Во время острого периода (первые 3-5 дней при наличии болевого синдрома) назначались НПВС системного действия (Мелоксикам 7,5-15 мг 1 р, сут. – 5-7 дней; Омепразол 20 мг 1 р, сут. – гастропротекция (при необходимости)) и местного действия (3 см) (диклофенак гель 5 % 2 р, день – длительно (1-3 мес.) или Вольтарен Эмульгель).

Базисная терапия (курс 3-6 мес.) включала назначение хондропротекторов (в/м) (Хондролон (100 мг через день, с 4-й инъекции – 200 мг) – курс 25-30 инъекций, аналоги Мукосат, Инъектран), внутрисуставную терапию (при стойком болевом синдроме) с назначением Флекситрона Соло (гиалуроновая кислота) – 1 инъекция 1 раз в 6-12 мес.

Ортопедическая коррекция включала проведение ортезирования (ношение 4-6 часов в день, особенно при нагрузках, наколенника с силиконовым кольцом (например, Genutrain или Orlett) – для центрации надколенника) и кинезиотейпирование медиальной поддержки надколенника (первые 2 недели – с физиотерапевтом, далее самостоятельно).

Физиотерапия (курсы по 10-12 процедур) включала проведение СМТ по расслабляющей методике на латеральные структуры, магнитотерапию (для противовоспалительного эффекта), грязевые аппликации (для улучшения трофики тканей).

Лечебная физкультура в первый месяц включала растяжку (подвздошно-большеберцевый тракт, задняя группа бедра), укрепление медиальной широкой мышцы с помощью изометрических сокращений (приподнимание прямой ноги с валиком под коленом), плавание (кроль, свободный стиль без ласт). На протяжении 2-3 месяцев назначались динамические упражнения (мини-приседы (до 30° сгибания), степ-апы на низкой платформе) и стабилизацию надколенника (боковая ходьба с эспандером, баланс на одной ноге).

#### Методики исследования

Клиническое обследование пациентов включало оценку функции коленного сустава и выраженности болевого синдрома с помощью шкал ВАШ и КООС. 10-балльная шкала ВАШ использовалась для оценки болевого синдрома [15]. Результат по шкале КООС представляет собой процентную оценку от 0 до 100, где 0 – максимальная степень выраженности признака, 100 – отсутствие признака по каждой из 5-ти субшкал [16].

#### Статистическая обработка данных

Данные регистрировались и обрабатывались в программе Microsoft Excel 16.43. Проверка гипотез проводилась в программе SPSS Statistica 23. Для определения подчинения количественных данных закону Гаусса по указанным признакам использовался одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова. Для определения достоверности различий между независимыми группами использовался U-критерий Манна-Уитни. Для определения достоверности различий результатов между зависимыми группами использовался Т-критерий Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$  (доверительный интервал 95 %).

#### Результаты

Результаты по шкале ВАШ в 1-й группе пациентов составили в динамике  $6,5 \pm 0,95$  баллов (до операции),  $7,48 \pm 1,08$  баллов (через 1 мес. после операции),  $3,51 \pm 0,69$  баллов (через 3 мес. после операции) и  $1,56 \pm 0,51$  баллов (через 6 мес. после операции) ( $p > 0,05$ ) (рис. 3).



Рисунок 3. Динамика болевого синдрома по шкале ВАШ

Результаты по шкале ВАШ во 2-й группе пациентов составили в динамике  $5,17 \pm 0,25$  баллов (до лечения),  $3,69 \pm 0,19$  баллов (через 1 мес, после лечения),  $3,17 \pm 0,16$  баллов (через 3 мес, после лечения) и  $3,81 \pm 0,25$  баллов (через 6 мес, после лечения) ( $p > 0,05$ ).

Болевой синдром у пациентов 1-й группы до лечения и через 1 месяц после лечения был более интенсивным ( $p > 0,05$ ), чем у пациентов 2-й группы. Однако на контрольных осмотрах через 3 месяца после лечения показатель болевого синдрома между группами не имел статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ). Через 6 месяцев после лечения во 2-й группе отмечено увеличение болевого синдрома, в то время как в 1-й группе наблюдалось его снижение. Показатель болевого синдрома между группами через 6 мес. имел статистически достоверные отличия с более высоким уровнем у пациентов 2-й группы ( $p < 0,05$ ).

Результаты по опроснику KOOS в 1-й группе пациентов составили в динамике  $36,12 \pm 11,66$  баллов (до операции),  $30,7 \pm 9,9$  баллов (через 1 мес, после операции),  $66,68 \pm 10,28$  баллов (через 3 мес, после операции) и  $80,09 \pm 7,72$  баллов (через 6 мес, после операции) ( $p < 0,05$ ) (рис. 4).



Рисунок 4. Динамика показателей по опроснику KOOS

Результаты по опроснику KOOS во 2-й группе пациентов составили в динамике  $54,87 \pm 3,11$  баллов (до лечения),  $64,6 \pm 3,4$  баллов (через 1 мес. после лечения),  $71,87 \pm 3,8$  баллов (через 3 мес, после лечения) и  $55,87 \pm 3,11$  баллов (через 6 мес, после лечения) ( $p > 0,05$ ).

Результаты опроса пациентов обеих групп по шкале KOOS коррелировали с результатами опроса по шкале ВАШ. Аналогичным образом, до лечения и через 1 мес.

после лечения пациенты 1-й группы отмечали более существенные проблемы с коленным суставом по шкале KOOS, чем пациенты 2-й группы ( $p < 0,05$ ). Через 3 мес. после лечения различия между группами не имели статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ). Однако, через 6 месяцев после лечения пациенты 2-й группы демонстрировали статистически достоверно более высокие результаты по шкале KOOS по сравнению с группой пациентов консервативного лечения ( $p < 0,05$ ), в которой отмечалось ухудшение функциональных показателей.

Результаты сравнения методов лечения обеих групп показали, что хирургическое лечение является более эффективным у пациентов с пателлофеморальным артрозом в сравнении с консервативным лечением по показателям снижения послеоперационного болевого синдрома, краткосрочных и долгосрочных функциональных результатов по опроснику KOOS.

Имели место следующие осложнения: у 2 из 39 пациентов (5,12%) при последнем контрольном визите наблюдалась преходящая отёчность или лёгкий дискомфорт, у 5 из 39 пациентов (12,8%) развился послеоперационный гемартроз, который лечили консервативно. Один пациент из 39 (2,56%) сообщил о сохраняющемся ощущении нестабильности, хотя признаки вывиха или подвывиха надколенника не наблюдались. В группе с консервативным лечением во время контрольных визитов каких-либо осложнений зафиксировано не было.

### Обсуждение

Исследование показывает, что латеральный релиз ретинакулума является эффективным методом лечения пациентов с синдромом латеральной гиперпрессии надколенника, сокращая интенсивность субъективных болевых ощущений и симптомов болевого синдрома (по шкале ВАШ), а также улучшая уровень ежедневной и спортивной активности, качества жизни (по опроснику KOOS) в более ранние сроки, чем консервативное лечение.

В группе хирургического лечения (1 группа) после первого месяца отмечалось ожидаемое увеличение болевого синдрома на 15,07%, связанное с послеоперационной реакцией. После 3-го месяца боль снизилась на 46,15% от исходного уровня, а после 6-го месяца было зафиксировано максимальное улучшение – снижение на 74%. Это демонстрирует, что, преодолев краткосрочный послеоперационный дискомфорт, пациенты данной группы достигли выраженного и устойчивого облегчения боли.

В группе консервативного лечения (2 группа) после начала терапии к 1-му месяцу наблюдалось снижение боли на 28,31 %, а после 3-го месяца – на 38,68 %. Однако после окончания 6-месячного периода наблюдения положительный эффект нивелировался, и снижение болевого синдрома составило лишь 26,31% от исходного уровня.

Эти данные согласуются с результатами современных отечественных и зарубежных исследований, а также подчеркивают наличие некоторых специфических методических аспектов изучаемых явлений.

Ключевым элементом предоперационного планирования в нашем исследовании являлось использование динамической компьютерной томографии (ДКТ), которая использовалась с целью объективной диагностики латеральной гиперпрессии и подтверждения показаний к операции. Этот метод позволил количественно оценить степень гиперпрессии надколенника (менее 3 мм) и визуализировать биомеханику ПФС в условиях, приближенных к функциональным. Данный подход может быть использован в рамках необходимости применения наиболее точных инструментов диагностики СЛГН. Так, Yang et al. (2021) предложили новый рентгенологический метод измерения латерального смещения, отмечая недостаточную чувствительность стандартной рентгенографии [8]. В свою очередь, Minghao et al. (2023) и Yi et al. (2025) в своих работах сделали акцент на достоверности данных МРТ и КТ для оценки состояния хряща и мягкотканых структур [5, 17]. Таким образом, наше исследование вносит вклад в растущий массив доказательств, подтверждающих необходимость использования передовых методов визуализации (таких, как ДКТ) с целью верификации СЛГН и отбора пациентов для хирургического лечения, что потенциально повышает его успешность.

Использованная в нашем исследовании методика артроскопического латерального релиза, включавшая поэтапное рассечение ретинакулума от верхнего полюса надколенника до суставной щели с интраоперационным контролем медиализации, показала высокую эффективность. Полученные результаты, а именно выраженное снижение боли по шкале ВАШ с 6,5 балла до 1,56 балла (на 74%) и улучшение функциональности по шкале KOOS с 36,12 балла до 80,09 балла (на 121,73%) через 6 месяцев после операции, согласуются с данными международных исследований. Так, Migliorini et al. (2021), выполняя изолированный артроскопический латеральный релиз, сообщили о значительном снижении показателей по шкале ВАШ (с 7,2 до 2,1 балла) и росте показателей по методике KOOS (с 40 до 75 балла) [18]. Аналогичные результаты были получены Yi et al. (2025) [17]. Однако, важно отметить, что в нашем исследовании был зафиксирован относительно высокий процент послеоперационного гемартроза (12,8%), что может быть связано с более обширным рассечением тканей во время операции. В этом контексте представляет интерес модифицированная техника, описанная Minghao et al. (2023), которая может свести к минимуму повреждение капсулы сустава с целью снижения риска развития подобных осложнений [5]. Это указывает на то, что, хотя стандартный латеральный релиз высокоэффективен, дальнейшая оптимизация хирургической техники остается по-прежнему актуальной задачей.

Проведенный сравнительный анализ динамики показателей по шкалам ВАШ и KOOS между группами хирургического и консервативного лечения наглядно демонстрирует преимущество первого метода. Более быстрое и значительное улучшение анализируемых показателей в группе хирургического вмешательства согласуется с патофизиологическим обоснованием операции – устранением механической причины боли и мышечного дисбаланса. Результаты оценки по шкалам ВАШ и KOOS у пациентов контрольной группы, получавших консервативную терапию (снижение боли по ВАШ на 26,31% и минимальное улучшение KOOS на 1,82%), полностью соответствуют данным более ранних систематических обзоров. Например, Van Der Heijden et al. (2021) отметили, что специальные упражнения и консервативные методы лечения приводят к умеренному снижению боли и незначительному функциональному улучшению в среднесрочной перспективе [13]. Wallis et al. (2021) также отмечают, что консервативное лечение, особенно при стойком СЛГН, не обеспечивает восстановления адекватной мышечной функции и не позволяет достичь полного устранения сопутствующих симптомов [12]. Таким образом, полученные нами данные подтверждают, что хирургическое вмешательство является методом выбора для пациентов с подтвержденной латеральной гиперпрессией, не ответивших на консервативную терапию.

Основным ограничением нашего исследования, как и многих других работ в изучаемой области, является его нерандомизированный дизайн и относительно небольшой размер выборки, особенно в контрольной группе. Кроме того, как отмечалось выше, частота послеоперационных осложнений указывает на необходимость тщательного отбора пациентов и возможного дальнейшего совершенствования хирургической техники. Проведенное сравнительное обсуждение полученных результатов с более ранними исследованиями позволяет заключить, что артроскопический латеральный релиз является высокоэффективным методом лечения СЛГН на фоне посттравматического артроза, что подтверждается значительным улучшением как объективных (динамическая КТ), так и субъективных (ВАШ, KOOS) показателей. Полученные результаты согласуются с данными современных международных исследований. Для дальнейшей стандартизации метода лечения и минимизации рисков целесообразным является проведение рандомизированных контролируемых исследований, сравнивающих традиционную технику релиза с её современными модификациями [16, 19].

## Выходы

Проведённый анализ результатов хирургического лечения посттравматического артроза пателлофеморального сочленения показали положительную динамику и значительное улучшение клинических показателей функции коленного сустава, а также снижение уровня болевого синдрома в более ранние сроки по сравнению с консервативным лечением.

## Список литературы / References:

1. C. Arias and S. Lustig. Physiopathology of patello-femoral osteoarthritis: current concepts. *J. ISAKOS*. 2024; 9 (4): 806–813. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2024.06.004>
2. A. G. Schache et al. Patellofemoral joint loading and early osteoarthritis after ACL reconstruction. *J. Orthop. Res.* 2023; 41 (7): 1419–1429. <https://doi.org/10.1002/jor.25504>
3. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran., S. H. Hosseini, S. Ghobadi Nezhad, and Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Morphological Differences of Knee Extensor Muscles Between Women With and Without Lateral Patellar Compression Syndrome. *Sci. J. Rehab. Med.* 2022; 11 (5): 754–769. <https://doi.org/10.32598/SJRM.11.5.7>
4. B. Siljander, M. Tompkins, and J. P. Martinez-Cano. A Review of the Lateral Patellofemoral Joint: Anatomy, Biomechanics, and Surgical Procedures. *JAAOS Glob. Res. Rev.* 2022; 6: 7. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-21-00255>
5. L. Minghao, S. Zhenxing, L. Qiang, and C. Guoqing. Lateral Retinacular Release for Treatment of Excessive Lateral Pressure Syndrome: The Capsule-Uncut Immaculate (CUI) Technique. *Arthrosc. Tech.* 2023; 11 (12): e1991–e1996. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2023.07.018>
6. R. L. Martin et al. Ankle Stability and Movement Coordination Impairments: Lateral Ankle Ligament Sprains Revision 2021: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2021; 51 (4): CPG1–CPG80. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.0302>
7. N. E. Lankhorst, S. M. A. Bierma-Zeinstra, and M. Van Middelkoop. Risk Factors for Patellofemoral Pain Syndrome: A Systematic Review. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2012; 42 (2): 81–94. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3803>
8. Y.-P. Yang et al. Novel method for diagnosing lateral patellar compression syndrome using X-ray: a retrospective case-control study. *Ann. Transl. Med.* 2021; 9 (6): 445–445. <https://doi.org/10.21037/atm-20-6410>
9. Healthcare Institution " et al. Assessment of knee joint function in patients after total knee arthroplasty using the koos scale. *J. Grodno State Med. Univ.* 2018; 16 (6): 666–672. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2018-16-6-666-672>
10. Хабиз А.А., Калинский Б.М., Грициук А.А., Лычагин А.В., Лычагин И.А. Диагностика посттравматических изменений пателлофеморального сочленения у пациентов после остеосинтеза надколенника. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2025; 1: 51–58. <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2024-1-51-58> [Khabeez A.A., Kalinsky B.M., Gritsyuk A.A., Lychagin A.V., Lychagin I.A., diagnosis of post-traumatic arthritis of the patellofemoral joint in patients after patellar osteosynthesis. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 1: 51–58 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2024-1-51-58>]
11. C. Chillemi, M. Guerrisi, C. Paglialunga, F. Salate Santone, and M. Osimani. Latarjet procedure for anterior shoulder instability: a 24-year follow-up study. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2021; 141 (2): 189–196. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03426-2>
12. J. A. Wallis, L. Roddy, J. Bottrell, S. Parslow, and N. F. Taylor, "A Systematic Review of Clinical Practice Guidelines for Physical Therapist Management of Patellofemoral Pain. *Phys. Ther.* 2021; 101 (3): pzab021. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab021>
13. R. A. Van Der Heijden, N. E. Lankhorst, R. Van Linschoten, S. M. Bierma-Zeinstra, and M. Van Middelkoop, Exercise for treating patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2021; 1. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010387.pub2>
14. J. Grgic, A. Garofolini, J. Orazem, F. Sabol, B. J. Schoenfeld, and Z. Pedisic, Effects of Resistance Training on Muscle Size and Strength in Very Elderly Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Med.* 2020; 50 (11): 1983–1999. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01331-7>
15. E. I. Solod, N. V. Zagorodnyi, A. F. Lazarev, M. B. Tsykunov, M. A. Abdulhabirov, and V. H. Hijazin, Surgical treatment and rehabilitation capabilities of patients with patellar fractures. *NN Priorov J. Traumatol. Orthop.*, 2019; 26 (1): 11–16. <https://doi.org/10.17116/vto201901111>
16. M. J. Tanaka, Editorial Commentary: Handling the (Contact) Pressure in Patellofemoral Surgery: The Role of Lateral Retinacular Release. *J. Arthrosc. Relat. Surg.* 2022; 38 (3): 965–966. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.10.010>
17. N. Yi, H. Yuan, Y. Zhang, W. Yang, and C. Zhuang, Arthroscopic release of lateral patellar retinaculum for patellofemoral arthrosis. *BMC Surg.* 2025; 25 (1): 164. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-02907-8>
18. F. Migliorini et al., "Isolated Arthroscopic Lateral Retinacular Release for Lateral Patellar Compression Syndrome. *Life.* 2021; 11 (4): 295. <https://doi.org/10.3390/life11040295>
19. N. Yi, H. Yuan, Y. Zhang, W. Yang, and C. Zhuang, Arthroscopic release of lateral patellar retinaculum for patellofemoral arthrosis. *BMC Surg.* 2025; 25 (1): 164. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-02907-8>
20. Сайд Фирас Майн М., Ахтямов Ильдар Фуатович, Кудрявцев Алексей Игоревич, и Нуриахметов Айнур Нафикович. Этиопатогенетические основы развития пателлофеморального артоза. *Казанский медицинский журнал*. 2018; 99 (2): 270–278. [Said Firas Main M., Akhtyamov Il'dar Fuatovich, Kudryavtsev Aleksei Igorevich, and Nuriakhmetov Ainur Nafikovich. Etiopathogenic bases for patellofemoral arthritis development. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*. 2018; 99 (2): 270–278]
21. Сайд Фирас Майн М., Ахтямов Ильдар Фуатович, Кудрявцев Алексей Игоревич, и Хело Мохаммад Джихад. Современные тенденции в лечении пателлофеморального артоза. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2018; 13 (4): 685–691. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13138> [Said F. M., Akhtyamov I. F., Kudryavtsev A. I., Helo M. J. Modern tendencies in the treatment of patellofemoral arthrosis. *Medical News of North Caucasus*. 2018; 13 (4): 685–691. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13138> ]
22. Сайд Ф.М., Ахтямов И.Ф., Кудрявцев А.И., Хело М.Д., и Аль-Лами М.А. Опыт лечения пателлофеморального артоза (клинический случай). *Практическая медицина*. 2018; 16 (7-1): 85–89. <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2018-16-7-85-89> [Said F.M., Akhtyamov I.F., Kudryavtsev A.I., Khelo M.D., and Al'-Lami M.A.. Treatment experience of patellofemoral arthritis (clinical case). *Practical Medicine*. 2018; 16 (7-1): 85–89. <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2018-16-7-85-89> ]

## Авторы:

**Хабиз Ахмед Албашир Рамадхан** – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). e-mail: ahmedkhabeez@gmail.com

**Калинский Борис Маркович** – заведующий травматологическим отделением №26 ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина ДЗМ. Москва, Россия. e-mail: bkalinsky@yandex.ru

**Грицик Андрей Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. e-mail: drgaamma@gmail.com

**Лычагин Алексей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. e-mail: lychagin\_a\_v@staff.sechenov.ru

**Тарабарко Иван Николаевич** – врач – тарвматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения УКБ№1 Клинического центра ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. e-mail: tarabarko\_i\_n@staff.sechenov.ru

**Гаркави Андрей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail: avgar22@yandex.ru

**Кавалерский Геннадий Михайлович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail: gkavalerskiy@mail.ru

**Автор, ответственный за переписку:**

**Хабиз Ахмед Албасир Рамадхан**, e-mail: ahmedkhabeez@gmail.com

#### Authors:

**Khabeez Ahmed Albasheer Ramadhan** – postgraduate student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow. e-mail: ahmedkhabeez@gmail.com

**Boris M. Kalinsky** – traumatologist-orthopedist, head of the department of traumatology №26 at City Clinical Hospital named after S.P. Botkin of the Moscow City Health Department, e-mail: bkalinsky@yandex.ru

**Andrey A. Gritsuk** – professor, MD, PhD, Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. e-mail: drgaamma@gmail.com

**Alexey V. Lychagin** – professor, MD, PhD, Head of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: lychagin\_a\_v@staff.sechenov.ru

**Ivan N. Tarabarko** – traumatologist-orthopedist, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: tarabarko\_i\_n@staff.sechenov.ru

**Andrey V. Garkavi**, Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail avgar22@yandex.ru

**Gennady M. Kavalersky**, Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail gkavalerskiy@mail.ru

#### Corresponding author:

**Khabeez Ahmed Albasheer Ramadhan**, e-mail: ahmedkhabeez@gmail.com

УДК 617.3

© Лычагин А.В., Черепанов В.Г., Кавалерский Г.М., Гаркави А.В., Дрогин А.Р., Вязанкин И.А., Ефремов А.Д., Султан Т.Т., Узаев А.А., Наддаф Ж.Н., 2025



Оригинальное исследование / Original research

## ЛАЗЕРНАЯ ДЕНЕРВАЦИЯ ПРОТИВ ПРП ПРИ ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ГОНАРТРОЗА: ПРОСПЕКТИВНОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**А.В. ЛЫЧАГИН, В.Г. ЧЕРЕПАНОВ, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ, А.В. ГАРКАВИ, А.Р. ДРОГИН, И.А. ВЯЗАНКИН,  
А.Д. ЕФРЕМОВ, Т.Т. СУЛТАН, А.А. УЗАЕВ, Ж.Н. НАДДАФ\***

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России  
(Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

### Аннотация

**Обоснование:** Гонартроз является широко распространенным дегенеративным заболеванием, сопровождающимся хроническим болевым синдромом и снижением функции сустава. Сравнительная эффективность минимально инвазивных методов лечения, таких как инъекции обогащенной тромбоцитами плазмы (ПРП) и лазерная денервация геникулярных нервов (ЛДГН), у пациентов с поздними стадиями заболевания требует дальнейшего изучения.

**Цель исследования:** Сравнить эффективность и безопасность внутрисуставного введения ПРП и ЛДГН в уменьшении боли и улучшении функции у пациентов с гонартрозом 3-4 стадии по Келлгрен-Лоуренс.

**Материалы и методы:** В проспективное рандомизированное исследование включен 31 пациент с гонартрозом. Участники были распределены на группу ПРП (n=16), получившую однократную внутрисуставную инъекцию аутологичной плазмы, и группу ЛДГН (n=15), где выполнена чрескожная лазерная денервация верхнемедиального, верхнелатерального и нижнemedиального геникулярных нервов под рентгенологическим и ультразвуковым контролем. Основными исходами были изменение показателей по Визуальной Аналоговой Шкале (ВАШ) и Индексу Остестри (ODI) через 2 недели, 3 и 6 месяцев.

**Результаты:** В группе ЛДГН наблюдалось статистически значимо более выраженное снижение показателей ВАШ и ODI на всех контрольных точках по сравнению с группой ПРП. Серьезных нежелательных явлений не зарегистрировано ни в одной из групп.

**Заключение:** Лазерная денервация геникулярных нервов обеспечивает превосходящее и устойчивое уменьшение боли и улучшение функциональной активности у пациентов с поздними стадиями гонартроза по сравнению с внутрисуставным введением ПРП в течение 6-месячного периода наблюдения, демонстрируя сопоставимый профиль безопасности.

**Ключевые слова:** гонартроз; плазма, обогащенная тромбоцитами; денервация; лазерная терапия; результаты лечения.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Лычагин А.В., Черепанов В.Г., Кавалерский Г.М., Гаркави А.В., Дрогин А.Р., Вязанкин И.А., Ефремов А.Д., Султан Т.Т., Узаев А.А., Наддаф Ж.Н. Лазерная денервация против ПРП при поздних стадиях гонартроза: проспективное контролируемое исследование. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 134–141.

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

## LASER DENERVATION VERSUS PRP FOR LATE-STAGE KNEE OSTEOARTHRITIS: A PROSPECTIVE CONTROLLED STUDY

**ALEXEY V. LYCHAGIN, VADIM G. CHEREPANOV, GENNADIY M. KAVALERSKY, ANDREY V. GARKAVI,  
ANDREY R. DROGYN, IVAN A. VYAZANKIN, ARTEM D. EFREMOV, TALYA T. SULTAN, AHMED A. UZAEV,  
GEORGE N. NADDAF\***

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University  
of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

**Abstract**

**Background:** Knee osteoarthritis (OA) is a prevalent degenerative joint disorder characterized by chronic pain and functional impairment. While minimally invasive treatments like platelet-rich plasma (PRP) injections and genicular nerve denervation are used for advanced stages, their comparative efficacy requires further investigation.

**Objective:** To compare the effectiveness and safety of intra-articular PRP injections and laser genicular nerve denervation (LGND) in patients with late-stage knee OA.

**Methods:** In this prospective, randomized, controlled trial, 31 patients with Kellgren-Lawrence grade 3-4 gonarthrosis were allocated to either a single intra-articular injection of autologous PRP (n=16) or a percutaneous LGND procedure (n=15) targeting the superomedial, superolateral, and inferomedial genicular nerves under combined x-ray and ultrasonographic guidance. The primary outcomes were the change from baseline in Visual Analog Scale (VAS) pain scores and the Oswestry Disability Index (ODI) at 2 weeks, 3 months, and 6 months post-procedure.

**Results:** The LGND group demonstrated a statistically significant and greater reduction in both VAS and ODI scores at all follow-up intervals compared to the PRP group. No serious adverse events were reported in either group throughout the 6-month study period.

**Conclusion:** For patients with late-stage knee osteoarthritis, laser genicular nerve denervation provides superior and sustained pain relief and functional improvement over a single intra-articular PRP injection, with a comparable safety profile over six months.

**Key words:** Osteoarthritis, Knee; Platelet-Rich Plasma; Denervation; Laser Therapy; Treatment Outcome.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Lychagin A.V., Cherepanov V.G., Garkavi A.V., Kavalersky G.M., Drogan A.R., Vyazankin I.A., Efremov A.D., Sultan T.T., Uzaev A.A., Naddaf G.N. Laser Denervation versus PRP for Late-Stage Knee Osteoarthritis: A Prospective Controlled Study. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 134–141.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.134-141

**Введение**

Гонартроз коленного сустава (ГА) – одно из самых распространенных дегенеративных заболеваний опорно-двигательной системы. Он сопровождается болевым синдромом, скованностью и снижением функции коленного сустава, что приводит к значительной утрате трудоспособности и ухудшению качества жизни [1–3]. Распространенность ГА увеличивается с возрастом и при избыточной массе тела, чаще встречается у женщин, а степень рентгенологических изменений нередко не соответствует выраженности болевого синдрома [1, 2]. Патогенез ГА многокомпонентный: он включает дисбаланс между повреждением и восстановлением тканей, ремоделирование субхондральной кости, синовит и нейровоспалительные механизмы, поддерживающие хроническую ноцицептивную и нейропатическую боль [3–6]. Несмотря на широкий спектр консервативных вмешательств (изменение образа жизни, ЛФК, НПВС, внутрисуставные инъекции), на сегодняшний день не существует препаратов, достоверно влияющих на прогрессирование структурных изменений в суставе [1, 7, 8].

Внутрисуставные инъекции плазмы, обогащенной тромбоцитами (ПРП), рассматриваются как способ уменьшения боли и улучшения функции за счет противовоспалительных и трофических эффектов плазмы пациента, обогащенной тромбоцитами. При этом данные рандомизированных исследований и метаанализов указывают на умеренный, но вариабельный клинический эффект, который зависит от фенотипа пациента, протокола приготовления и дозирова-

ния ПРП [7–10]. У пациентов с более выраженным болевым фенотипом и поздними рентгенологическими стадиями (К-Л III–IV) ответ на инъекции может быть менее выраженным и непродолжительным [8–11].

Внутрисуставные инъекции плазмы, обогащенной тромбоцитами (ПРП), демонстрируют благоприятный профиль безопасности при лечении остеоартроза коленного сустава. Многочисленные рандомизированные контролируемые исследования и их систематические обзоры последовательно сообщают об отсутствии серьезных нежелательных явлений, связанных с данным вмешательством [12–13]. Наблюдаемые побочные эффекты являются преимущественно легкими и транзиторными; к наиболее частым из них относятся преходящая боль, отек и локальное повышение температуры в месте инъекции, которые обычно разрешаются без дополнительного медицинского вмешательства [13–14]. Благоприятный профиль переносимости ПРП подтверждается данными мета-анализов, в которых напрямую сравнивается риск нежелательных явлений при комбинированной терапии (ПРП + гиалуроновая кислота) и монотерапии ПРП, и не выявляется статистически значимого повышения риска при добавлении гиалуроновой кислоты [15]. Таким образом, существующие клинические данные позволяют считать ПРП безопасным методом лечения для соответствующим образом отобранных пациентов с гонартрозом.

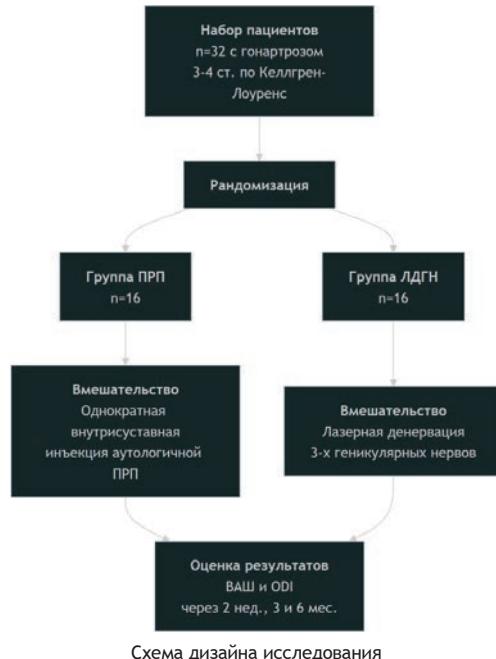
Целенаправленное воздействие на афферентные пути боли в коленном суставе через геникулярные нервы стало привлекательной минимально инвазивной стратегией

для пациентов с рефрактерной болью, не готовых или не подходящих для эндопротезирования [16–18]. Радиочастотная абляция (РЧА) геникулярных нервов в ряде РКИ и систематических обзоров показала клинически значимое снижение боли и улучшение функции на 3–12 месяцев при приемлемом профиле безопасности [16–19]. Новые энергетические технологии – включая лазерную нейромодуляцию и денервацию – теоретически обеспечивают сопоставимуюнейродеструкцию, потенциально отличаясь зоной термического воздействия и параметрами подачи энергии [20], однако сравнительных клинических данных по лазерной денервации (в сопоставлении как с инъекциями ПРП, так и с РЧА) пока недостаточно. В рамках текущего исследования мы оцениваем эффективность и безопасность использования плазмы, обогащенной тромбоцитами (ПРП), а также лазерного денервации геникулярных нервов у пациентов с гонартрозом коленного сустава.

### Материалы и методы

В это проспективное рандомизированное открытое исследование было включено 32 пациента с хроническим ГА коленного сустава 3–4 степени (по Келлгрен–Лоуренс). Исследование проводилось в университетской клинической больнице № 1 Клинического центра Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова в отделении травматологии и ортопедии. Критерии исключения: опухоли, неконтролируемый диабет, заболевания соединительной ткани. Этическое одобрение было получено от локального этического комитета, от всех пациентов получено информированное согласие.

Схема дизайна исследования представлена ниже:



### Группа ПРП (n=16)

- Вмешательство:** Однократная внутрисуставная инъекция аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы.

#### • Протокол приготовления ПРП:

- о **Забор крови:** У пациента брали венозную кровь.
- о **Центрифугирование:** Кровь центрифугировали для получения обогащенной тромбоцитами плазмы.
- о **Инъекция:** Полученный препарат ПРП вводили однократно в полость коленного сустава.

### Группа Лазерной Денервации Геникулярных Нервов (ЛДГН) (n=16)

- Вмешательство:** Чрескожная лазерная денервация трех геникулярных нервов.

#### • Целевые нервы:

- о Верхнемедиальный геникулярный нерв
- о Верхнелатеральный геникулярный нерв
- о Нижнемедиальный геникулярный нерв

#### • Оборудование и условия проведения:

- о **Визуализация:** Процедура выполнялась под комбинированным ультразвуковым и рентгеноскопическим контролем для точной локализации нервов и позиционирования игл (Рисунок 1).



Рисунок 1. Положение игл под рентгеном, используемое для воздействия на верхний медиальный, верхний латеральный и нижнемедиальный геникулярные нервы

- о **Лазерная система:** Использовалась специализированная лазерная система. (ИРЭ-Полюс, ЛСП-“ИРЭ-ПОЛЮС” ТУ9444-01-18003536-01).
- о **Режимы работы лазера:** Применялся двухрежимный импульсно-периодический источник излучения со следующими параметрами:
  - Режим 1: Выходная мощность 1,5 Вт.
  - Режим 2: Выходная мощность 3,0 Вт.
- о **Техника выполнения:** После местной анестезии к целевым зонам у надмыщелков бедренной и большеберцовой костей подводили специальные иглы-световоды. Затем выполняли лазерное воздействие по установленным параметрам(Рисунок 2).



Рисунок 2. Лазерная денервация

**Оценка результатов:** Основными исходами были изменение показателей по ВАШ (0-10) и ODI (0-100%) от исходного уровня до контрольных визитов через 2 недели, 3 и 6 месяцев.

**Статистический анализ:** Данные анализировались с использованием SPSS 25.0. Для сравнения количественных показателей между группами использовался дисперсионный анализ (ANOVA). Качественные переменные представлены в виде частот и процентов. Уровень статистической значимости установлен на  $p < 0.05$ .

В общей сложности критериям включения соответствовали 32 пациента. Шестнадцать из этих пациентов были распределены случайным образом в группу ПРП, а остальные шестнадцать были отсортированы в группу ЛДГН. Средний возраст составил 66 лет, и 20 пациентов (60 %) составляли женщины. Всем пациентам был диагностирован гонартроз III стадии (61 %) или IV стадии (39 %). Несущественные различия были отмечены при рентгенографическом исследовании согласно классификации Келлгрен-Лоуренс (таблица 1).

Таблица 1

#### Исходные данные пациентов, включенных в исследование

Переменные	ОТП (n=16)	ЛДГН (n=16)	P-значение
Возраст (лет)	$65.9 \pm 5.8$	$66.1 \pm 6.3$	$P > 0.05$
Пол	Мужской 5 (31.25%)	7 (43.75%)	
	Женский 11 (68.75%)	9 (56.25%)	
Длительность заболевания (лет)	$3.8 \pm 1.5$	$3.7 \pm 1.4$	$P > 0.05$
Классификация Келлгрен-Лоуренс			
Среднее ± СО	$2.38 \pm 0.49$	$2.44 \pm 0.51$	$P > 0.05$
Медиана (IQR)	2	2	
Стадия I / нет ОА	0 (0%)	0 (0%)	
Стадия II / легкий ОА	0 (0%)	0 (0%)	
Стадия III / умеренный ОА	10 (62.5%)	9 (56.25%)	
Стадия IV / тяжелый ОА	6 (37.5%)	7 (43.75%)	

#### Результаты

В обеих группах наблюдалось значительное снижение показателей ВАШ по сравнению с исходным уровнем. Однако в группе ЛДГН снижение было более выраженным и статистически значимо превосходило результаты группы ПРП на всех этапах наблюдения (Таблица 2).

Таблица 2

#### Сравнение показателей ВАШ между группами

Срок наблюдения	Группа ОТП (n=16), Mean ± SD	Группа ЛДГН (n=16), Mean ± SD	P-значение
Исходный уровень	$7.25 \pm 1.12$	$7.18 \pm 1.05$	$>0.05$
2 недели	$4.01 \pm 0.95$	$2.91 \pm 0.85$	$<0.05$
3 месяца	$2.45 \pm 1.10$	$1.85 \pm 0.92$	$<0.05$
6 месяцев	$2.15 \pm 1.05$	$1.45 \pm 0.78$	$<0.05$

Аналогичная динамика наблюдалась для функциональных исходов. Группа ЛДГН продемонстрировала достоверно

лучшее улучшение по ODI по сравнению с группой ПРП во всех временных точках (Таблица 3).

Таблица 3

#### Сравнение показателей ODI между группами

Срок наблюдения	Группа ОТП (n=16), Mean ± SD	Группа ЛДГН (n=16), Mean ± SD	P-значение
Исходный уровень	7.25 ± 1.12	7.18 ± 1.05	>0.05
2 недели	4.01 ± 0.95	2.91 ± 0.85	<0.05
3 месяца	2.45 ± 1.10	1.85 ± 0.92	<0.05
6 месяцев	2.15 ± 1.05	1.45 ± 0.78	<0.05

Ни в одной из групп не было зарегистрировано серьезных нежелательных явлений, таких как инфекция, тромбоз или повреждение сосудов или нервов.

#### Обсуждение

В рамках данного исследования было показано, что лазерная денервация геникулярных нервов обеспечивает более устойчивое снижение боли и улучшение функциональных показателей у пациентов с гонартрозом по сравнению с инъекциями ПРП, что согласуется с результатами предыдущих исследований, демонстрирующих эффективность нейромодуляции при хронической боли в коленном суставе [21]. В отличие от радиочастотной абляции, лазерная денервация использует фокусированную световую энергию для создания термического повреждения нервной ткани, что может обеспечивать более предсказуемую зону воздействия и потенциально меньший риск повреждения окружающих структур [22]. Механизм действия лазерной денервации основан на селективной термической коагуляции немиелинизированных волокон и тонких миелинизированных волокон, передающих болевые сигналы от коленного сустава, при этом сохраняются более крупные миелинизированные волокна, отвечающие за проприоцепцию и моторную функцию [23]. Наши результаты показывают превосходство лазерной денервации над ПРП терапией, что может объясняться различными механизмами действия: если ПРП направлена на модуляцию воспалительного процесса и стимуляцию reparативных процессов в суставе через факторы роста, то денервация непосредственно прерывает передачу болевых импульсов [24]. Российские исследователи также отмечают высокую эффективность различных методов денервации при гонартрозе, подчеркивая важность правильного отбора пациентов и точной локализации целевых нервов для достижения оптимальных результатов [25]. Важно отметить, что у пациентов с поздними стадиями гонартроза (Келлгрен-Лоуренс III-IV стадии) эффективность ПРП терапии может быть ограничена из-за выраженных структурных изменений в суставе и снижения регенеративного потенциала

тканей [26]. Систематический обзор и метаанализ показали, что эффективность ПРП наиболее выражена при ранних стадиях остеоартроза, когда еще сохранен определенный объем хрящевой ткани и возможна ее биологическая стимуляция [27]. В нашем исследовании все пациенты имели продвинутые стадии заболевания, что могло негативно повлиять на результаты в группе ПРП и объясняет более выраженный эффект от денервации. Длительность эффекта от лазерной денервации в нашем исследовании составила не менее 6 месяцев, что сопоставимо с данными о продолжительности эффекта радиочастотной абляции, которая варьирует от 6 до 12 месяцев в зависимости от используемой техники и индивидуальных особенностей пациента [28]. Преимуществом лазерной технологии является возможность более точного контроля глубины проникновения и температуры воздействия, что потенциально снижает риск осложнений, таких как ожоги кожи или повреждение сосудистых структур [29]. В российской практике накоплен значительный опыт применения лазерных технологий в лечении заболеваний опорно-двигательной системы, включая использование высокointенсивной лазерной терапии для улучшения микроциркуляции и снижения воспаления при гонартрозе [30]. Безопасность процедуры лазерной денервации в нашем исследовании была высокой, без серьезных нежелательных явлений, что соответствует данным других исследований, показывающих низкую частоту осложнений при правильном выполнении процедуры под визуальным контролем [31]. Использование комбинированного ультразвукового и рентгеноскопического контроля позволяет точно локализовать геникулярные нервы и избежать повреждения важных анатомических структур, включая подколенную артерию и вену [32]. Важным аспектом является отбор пациентов для процедуры денервации: наилучшие результаты достигаются у пациентов с преимущественно болевым фенотипом остеоартроза, без выраженной механической нестабильности сустава и значительных деформаций [33]. Функциональные улучшения, отмеченные по шкале ODI в группе лазерной денервации, вероятно, связаны не только с прямым обезболивающим эффектом, но и с последующим увеличением двигательной активности пациентов, что способствует укреплению периартикулярных мышц и улучшению биомеханики сустава [34]. Молекулярные исследования показывают, что хроническая боль при остеоартрозе связана с периферической и центральной сенсилизацией, и денервация может прерывать этот патологический цикл, предотвращая дальнейшую хронизацию болевого синдрома [35]. Недавние исследования также изучают возможность комбинированного применения различных методов лечения, включая сочетание денервации с инъекционной терапией для достижения синергического эффекта [36]. Персонализированный подход к выбору метода лечения, основанный на фенотипировании пациентов с остеоартритом, может повысить эффективность терапии и улучшить прогноз заболевания [37].

## Заключение

В открытом проспективном рандомизированном исследовании с участием 32 пациентов с гонартрозом коленного сустава на III–IV стадиях по Келлгрен–Лоуренс лазерная денервация геникулярных нервов продемонстрировала более выраженное и устойчивое снижение болевого синдрома (ВАШ) и инвалидизации (ODI) по сравнению с однократной внутрисуставной инъекцией ПРП на срок до 6 месяцев наблюдения, при сопоставимом благоприятном профиле безопасности и отсутствии серьезных нежелательных явлений. Полученные результаты подтверждают применение ЛДГН как эффективного малоинвазивного метода у пациентов с поздними стадиями гонартроза, особенно при недостаточном ответе на консервативные и инъекционные методики лечения.

## Список литературы / References:

1. Hsu H, Siwiec RM. Knee Osteoarthritis. 2023 Jun 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 29939661.
2. Cui A, Li H, Wang D, Zhong J, Chen Y, Lu H. Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine*. 2020 Nov 26; 29-30: 100587. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100587> PMID: 34505846; PMCID: PMC7704420.
3. Glyn-Jones S, Palmer AJ, Agricola R, Price AJ, Vincent TL, Weinans H, Carr AJ. Osteoarthritis. *Lancet*. 2015 Jul 25; 386 (9991): 376-87. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60802-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60802-3) Epub 2015 Mar 4. PMID: 25748615.
4. Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis. *Lancet*. 2019 Apr 27; 393 (10182): 1745-1759. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30417-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30417-9) PMID: 31034380.
5. Mobasher A, Batt M. An update on the pathophysiology of osteoarthritis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2016 Dec; 59 (5-6): 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.07.004> Epub 2016 Aug 18. PMID: 27546496.
6. Lluch E, Torres R, Nijs J, Van Oosterwijck J. Evidence for central sensitization in patients with osteoarthritis pain: a systematic literature review. *Eur J Pain*. 2014 Nov; 18 (10): 1367-75. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2014.499.x> Epub 2014 Apr 3. PMID: 24700605.
7. Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, Oatis C, Guyatt G, Block J, Callahan L, Copenhaver C, Dodge C, Felson D, Gellar K, Harvey WF, Hawker G, Herzig E, Kwoh CK, Nelson AE, Samuels J, Scanzello C, White D, Wise B, Altman RD, DiRenzo D, Fontanarosa J, Giradi G, Ishimori M, Misra D, Shah AA, Shmagel AK, Thoma LM, Turgunbaev M, Turner AS, Reston J. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2020 Feb; 72 (2): 149-162. <https://doi.org/10.1002/acr.24131>. Epub 2020 Jan 6. Erratum in: *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2021 May; 73 (5): 764. <https://doi.org/10.1002/acr.24615> PMID: 31908149; PMCID: PMC11488261.
8. Bannuru RR, Osani MC, Vaysbrot EE, Arden NK, Bennell K, Bierma-Zeinstra SMA, Kraus VB, Lohmander LS, Abbott JH, Bhandari M, Blanco FJ, Espinosa R, Haugen IK, Lin J, Mandl LA, Moilanen E, Nakamura N, Snyder-Mackler L, Trojian T, Underwood M, McAlindon TE. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and
- polyarticular osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019 Nov; 27 (11): 1578-1589. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.06.011> Epub 2019 Jul 3. PMID: 31278997.
9. Bennell KL, Paterson KL, Metcalf BR, Duong V, Eyles J, Kasza J, Wang Y, Cicuttini F, Buchbinder R, Forbes A, Harris A, Yu SP, Connell D, Linklater J, Wang BH, Oo WM, Hunter DJ. Effect of Intra-articular Platelet-Rich Plasma vs Placebo Injection on Pain and Medial Tibial Cartilage Volume in Patients With Knee Osteoarthritis: The RESTORE Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2021 Nov 23; 326 (20): 2021-2030. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.19415> PMID: 34812863; PMCID: PMC8611484.
10. 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 Mar; 33 (3): 659-670.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.09.024> Epub 2016 Dec 22. PMID: 28012636.
11. Xiong Y, Gong C, Peng X, Liu X, Su X, Tao X, Li Y, Wen Y, Li W. Efficacy and safety of platelet-rich plasma injections for the treatment of osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Med (Lausanne)*. 2023 Jun 27; 10: 1204144. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1204144> PMID: 37441691; PMCID: PMC10333515.
12. Xiong Y, Gong C, Peng X, Liu X, Su X, Tao X, Li Y, Wen Y, Li W. Efficacy and safety of platelet-rich plasma injections for the treatment of osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Med (Lausanne)*. 2023 Jun 27; 10: 1204144. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1204144> PMID: 37441691; PMCID: PMC10333515.
13. Diaz Haaz DI, Rizo Castro O. Efficacy and Safety of Intra-articular Platelet-Rich Plasma (PRP) Versus Corticosteroid Injections in the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Systematic Review of Randomized Clinical Trials. *Cureus*. 2025 Mar 21; 17 (3): e80948. <https://doi.org/10.7759/cureus.80948> PMID: 40260368; PMCID: PMC12010028.
14. Glinkowski WM, Gut G, Śladowski D. Platelet-Rich Plasma for Knee Osteoarthritis: A Comprehensive Narrative Review of the Mechanisms, Preparation Protocols, and Clinical Evidence. *J Clin Med*. 2025 Jun 5; 14 (11): 3983. <https://doi.org/10.3390/jcm14113983> PMID: 40507744; PMCID: PMC12156035.
15. Du D, Liang Y. A meta-analysis and systematic review of the clinical efficacy and safety of platelet-rich plasma combined with hyaluronic acid (PRP + HA) versus PRP monotherapy for knee osteoarthritis (KOA). *J Orthop Surg Res*. 2025 Jan 17; 20 (1): 57. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05429-w> PMID: 39819683; PMCID: PMC11740359.
16. Choi WJ, Hwang SJ, Song JG, Leem JG, Kang YU, Park PH, Shin JW. Radiofrequency treatment relieves chronic knee osteoarthritis pain: a double-blind randomized controlled trial. *Pain*. 2011 Mar; 152 (3): 481-487. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.09.029> Epub 2010 Nov 4. PMID: 21055873.
17. Davis T, Loudermilk E, DePalma M, Hunter C, Lindley D, Patel N, Choi D, Soloman M, Gupta A, Desai M, Buvanendran A, Kapural L. Prospective, Multicenter, Randomized, Crossover Clinical Trial Comparing the Safety and Effectiveness of Cooled Radiofrequency Ablation With Corticosteroid Injection in the Management of Knee Pain From Osteoarthritis. *Reg Anesth Pain Med*. 2018 Jan; 43 (1): 84-91. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000690> PMID: 29095245; PMCID: PMC5768219.
18. El-Hakeim EH, Elawamy A, Kamel EZ, Goma SH, Gamal RM, Ghandour AM, Osman AM, Morsy KM. Fluoroscopic Guided

Radiofrequency of Genicular Nerves for Pain Alleviation in Chronic Knee Osteoarthritis: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Pain Physician.* 2018 Mar; 21 (2): 169-177. PMID: 29565947.

19. Conger A, Gililand J, Anderson L, Pelt CE, Peters C, McCormick ZL. Genicular Nerve Radiofrequency Ablation for the Treatment of Painful Knee Osteoarthritis: Current Evidence and Future Directions. *Pain Med.* 2021 Jul 25; 22 (Suppl 1): S20-S23. <https://doi.org/10.1093/pnm/pnab129> PMID: 34308957.

20. McCormick ZL, Korn M, Reddy R, Marcolina A, Dayanim D, Mattie R, Cushman D, Bhave M, McCarthy RJ, Khan D, Nagpal G, Walega DR. Cooled Radiofrequency Ablation of the Genicular Nerves for Chronic Pain due to Knee Osteoarthritis: Six-Month Outcomes. *Pain Med.* 2017 Sep 1; 18 (9): 1631-1641. <https://doi.org/10.1093/pnm/pnx069> PMID: 28431129.

21. Chen AF, Khalouf F, Zora K, DePalma M, Kohan L, Guirguis M, Beall D, Loudermilk E, Pingree M, Badiola I, Lyman J. Cooled Radiofrequency Ablation Compared with a Single Injection of Hyaluronic Acid for Chronic Knee Pain: A Multicenter, Randomized Clinical Trial Demonstrating Greater Efficacy and Equivalent Safety for Cooled Radiofrequency Ablation. *J Bone Joint Surg Am.* 2020 Sep 2; 102 (17): 1501-1510. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00935>. PMID: 32898379.

22. Eskandar E, Kumar H, Boini A, Velasquez Botero F, El Hunjul GN, Nieto Salazar MA, Quinonez J, Dinh B, Mouhanna JE. The Role of Radiofrequency Ablation in the Treatment of Trigeminal Neuralgia: A Narrative Review. *Cureus.* 2023 Mar 15; 15 (3): e36193. <https://doi.org/10.7759/cureus.36193> PMID: 37065382; PMCID: PMC10104592.

23. Cosman ER Jr, Dolensky JR, Hoffman RA. Factors that affect radiofrequency heat lesion size. *Pain Med.* 2014 Dec; 15 (12): 2020-36. <https://doi.org/10.1111/pme.12566> Epub 2014 Oct 14. PMID: 25312825.

24. Filardo G, Kon E, Di Martino A, Di Matteo B, Merli ML, Cenacchi A, Fornasari PM, Marcacci M. 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 Nov 23; 13: 229. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-229> PMID: 23176112; PMCID: PMC3532098.

25. А. В. Лычагин, А. В. Гаркави, О. И. Ислеих, П. И. Катунян, Д. С. Бобров, Р. Х. Явлиева, Е. Ю. Целищева Эффективность внутрикостного введения аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы в зону отека костного мозга при остеоартрозе коленного сустава *Вестник РГМУ* 2019. [А. В. Lychagin, A. V. Garkavi, O. I. Isleikh, P. I. Katunyan, D. S. Bobrov, R. KH. Yavlieva, E. YU. Tselishcheva Ehffektivnost' vnutrikostnogo vvedeniya autologichnoi obogashchennoi trombotsitami plazmy v zonu oteka kostnogo mozga pri osteoartroze kolennogo sustava Vestnik RGMU. 2019;4]

26. Shen, L., Yuan, T., Chen, S. et al. The temporal effect of platelet-rich plasma on pain and physical function in the treatment of knee osteoarthritis: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res* 12, 16 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0521-3>

27. Hohmann E, Tetsworth K, Glatt V. Is platelet-rich plasma effective for the treatment of knee osteoarthritis? A systematic review and meta-analysis of level 1 and 2 randomized controlled trials. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020 Aug; 30 (6): 955-967. <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02623-4> Epub 2020 Feb 14. PMID: 32060630.

28. Jamison DE, Cohen SP. Radiofrequency techniques to treat chronic knee pain: a comprehensive review of anatomy, effectiveness, treatment parameters, and patient selection. *J Pain Res.* 2018 Sep 18;

11: 1879-1888. <https://doi.org/10.2147/JPR.S144633> PMID: 30271194; PMCID: PMC6151104.

29. Patel N, Gross A, Brown L, Gekht G. A randomized, placebo-controlled study to assess the efficacy of lateral branch neurotomy for chronic sacroiliac joint pain. *Pain Med.* 2012 Mar; 13 (3): 383-98. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2012.01328.x> Epub 2012 Feb 2. PMID: 22299761.

30. Кульчицкая Детелина Борисовна, Кончугова Татьяна Венедиктовна, Сравнительная оценка действия высокointенсивного и низкоинтенсивного лазерного излучения на состояние микроциркуляции у больных гонартрозом. *Физиотерапевт.* 2015;6. [Kul'chitskaya Detelina Borisovna, Konchugova Tat'yana Venediktovna, Sravnitel'naya otsenka deistviya vysokointensivnogo i nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na sostoyanie mikrotsirkulyatsii u bol'nykh gonartrozom. Fizioterapevt. 2015;6.]

31. McCormick ZL, Reddy R, Korn M, Dayanim D, Syed RH, Bhave M, Zhukalin M, Choxi S, Ebrahimi A, Kendall MC, McCarthy RJ, Khan D, Nagpal G, Bouffard K, Walega DR. A Prospective Randomized Trial of Prognostic Genicular Nerve Blocks to Determine the Predictive Value for the Outcome of Cooled Radiofrequency Ablation for Chronic Knee Pain Due to Osteoarthritis. *Pain Med.* 2018 Aug 1; 19 (8): 1628-1638. <https://doi.org/10.1093/pnm/pnx286> PMID: 29300971.

32. Kidd VD, Strum SR, Strum DS, Shah J. Genicular Nerve Radiofrequency Ablation for Painful Knee Arthritis: The Why and the How. *JBJS Essent Surg Tech.* 2019 Mar 13; 9 (1): e10. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.18.00016> PMID: 31333900; PMCID: PMC6635137.

33. Santana Pineda MM, Vanlinthout LE, Moreno Martín A, van Zundert J, Rodriguez Huertas F, Novalbos Ruiz JP. Analgesic Effect and Functional Improvement Caused by Radiofrequency Treatment of Genicular Nerves in Patients With Advanced Osteoarthritis of the Knee Until 1 Year Following Treatment. *Reg Anesth Pain Med.* 2017 Jan/Feb; 42 (1): 62-68. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000510> PMID: 27875368.

34. Bellamy N, Campbell J, Robinson V, Gee T, Bourne R, Wells G. Intraarticular corticosteroid for treatment of osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006 Apr 19;(2):CD005328. doi: 10.1002/14651858.CD005328.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Oct 22; (10): CD005328. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005328.pub3> PMID: 16625636.

35. Arendt-Nielsen L, Nie H, Laursen MB, Laursen BS, Madeleine P, Simonsen OH, Graven-Nielsen T. Sensitization in patients with painful knee osteoarthritis. *Pain.* 2010 Jun; 149 (3): 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.04.003> Epub 2010 Apr 24. PMID: 20418016.

36. Elawamy A, Kamel EZ, Mahran SA, Abdellatif H, Hassanian M. Efficacy of Genicular Nerve Radiofrequency Ablation Versus Intra-Articular Platelet Rich Plasma in Chronic Knee Osteoarthritis: A Single-Blind Randomized Clinical Trial. *Pain Physician.* 2021 Mar; 24 (2): 127-134. PMID: 33740345.

37. Dell'Isola A, Allan R, Smith SL, Marreiros SS, Steultjens M. Identification of clinical phenotypes in knee osteoarthritis: a systematic review of the literature. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016 Oct 12; 17(1): 425. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1286-2> PMID: 27733199; PMCID: PMC5062907.

Авторы:

**Лычагин Алексей Владимирович**, заведующий кафедрой, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии

ортопедии и хирургии катастроф, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. dr.lychagin@mail.ru

**Черепанов Вадим Геннадьевич**, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф (Сеченовский Университет), Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. cvg\_cherepanov@mail.ru

**Кавалерский Геннадий Михайлович**, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф (Сеченовский Университет), Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. gkavalerskiy@mail.ru

**Таркави Андрей Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф (Сеченовский Университет), Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. avgar22@yandex.ru

**Дрогин Андрей Роальдович**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. a.drogin@yandex.ru

**Вязанкин Иван Антонович**, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. vzvzvzvan@mail.ru

**Ефремов Артем Дмитриевич**, аспирант кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. hdd.artym@gmail.com

**Султан Талия Талал**, ординатор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. talals@mail.ru

**Узаев Ахмед Альвиевич**, ординатор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. aauzarp@gmail.com

**Наддаф Жорж Насри**, аспирант кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского. georgenadaf@mail.ru

#### Автор, ответственный за переписку:

Наддаф Жорж Насри, e-mail: georgenadaf@mail.ru

#### Authors:

**Lyachagin Alexey Vladimirovich**, Head of Department, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Cherepanov Vadim Gennadievich**, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery (Sechenov University), I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Kavalersky Gennady Mikhailovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery (Sechenov University), I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Garkavi Andrey Vladimirovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery (Sechenov University), I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Drogin Andrey Roaldovich**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Vyazankin Ivan Antonovich**, Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Efremov Artyom Dmitrievich**, Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Sultan Talya Talal**, Resident Physician of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Uzaev Ahmed Alvievich**, Resident Physician of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

**Naddaf George Nasri**, Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine.

#### Corresponding author:

Naddaf George Nasri, e-mail: georgenadaf@mail.ru

# КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

УДК 617.3



© Карелкин В.В., Юнкина Е.А., 2025

Оригинальная статья / Original article

## ТОТАЛЬНОЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТА С ОСТЕОПЕТРОЗОМ. КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

**В.В. КАРЕЛКИН, Е.А. ЮНКИНА\***ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р.Вредена"  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, 195427, Санкт-Петербург, Россия**Аннотация**

**Обоснование:** тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава является наиболее распространенным способом оперативного лечения остеоартроза тазобедренного сустава. Длительное существование данной методики и отработка оперативной техники позволяют минимизировать риски развития осложнений при первичной артроскопии тазобедренного сустава. Однако, в случае наличия у пациентов сопутствующей патологии с изменением плотности костной ткани возрастает риск переломов как на этапе установки эндопротеза, так и в послеоперационном периоде.

**Цель исследования:** выявить особенности лечения и возможные технические трудности при проведении тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с диагнозом остеопетроз.

**Материалы и методы:** в данной статье представлен клинический случай тотального эндопротезирования у пациента с остеопетрозом и обзор актуальной медицинской периодики по данной тематике.

**Заключение:** материалы данного клинического случая и обзора литературы призваны обратить внимание практикующих врачей травматолого-ортопедического профиля на возможные трудности и осложнения при лечении больных с остеопетрозом и профилактировать интраоперационные осложнения при проведении эндопротезирования тазобедренного сустава.

**Ключевые слова:** остеопетроз; тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава; мраморная болезнь.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Карелкин В.В., Юнкина Е.А., Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава у пациента с остеопетрозом. Клиническое наблюдение. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 142–145.

**Этическая экспертиза.** Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала.

## TOTAL HIP JOINT ENDOPROSTHETICS IN PATIENT WITH OSTEOPETROSIS. CLINICAL OBSERVATION

**VITALII V. KARELKIN, ELIZAVETA A. IUNKINA\***

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics of the Russian Ministry of Health, 195427, St. Petersburg, Russia

**Abstract**

**Rationale:** Total hip joint endoprosthetics is the most common way of surgical treatment of hip joint osteoarthritis. The long-term existence of this method and the development of operative techniques allow minimizing the risks of complications during primary hip joint arthroplasty. However, in case of concomitant pathology with changes in bone density in patients, the risk of fractures increases both at the stage of endoprosthesis installation and in the postoperative period.

**Study objective:** To identify treatment characteristics and potential technical difficulties during total hip joint endoprosthetics in patients diagnosed with osteopetrosis.

**Materials and Methods:** This article presents a clinical case of total endoprosthetics in a patient with osteopetrosis and a review of current medical periodicals on this topic.

**Conclusion:** The materials of this clinical case and literature review are intended to draw the attention of practicing traumatologists and orthopedists to possible difficulties and complications in treatment of patients with osteopetrosis and to prevent intraoperative complications during hip joint endoprosthetics.

**Key words:** osteopetrosis; total hip joint; marble disease

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Karelkin V.V., Iunkina E.A., Total hip joint endoprosthetics in patient with osteopetrosis. Clinical observation. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 142–145.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.142-145

## Введение

Остеопетроз («мраморная болезнь») – гетерогенная группа заболеваний с аутосомно-доминантным и аутосомно-рецессивным типом наследования в основе которой лежит патологическое резорбтивное действие остеокластов. Первое упоминание о данной патологии принадлежит немецкому хирургу Х. Альберсу-Шенбергу и датируется 1904 г. [1, 2].

В основе механизма заболевания лежит затруднение резорбции костной ткани, при сохранном процессе костеобразования [3, 4]. Отличительной характеристикой данной группы пациентов является большая плотность и малая эластичной костной ткани, что проявляется высоким риском низкоэнергетических переломов.

Остеопетроз характеризуется вариабельностью клинических форм от легких (без значимых клинических проявлений) до тяжелых, которые могут приводить к летальности на первом году жизни.

Исходя из предрасположенности данного типа пациентов к различного рода переломам, возникает необходимость оптимизации медицинской помощи с учетом особенностей последних. До недавнего времени проблема ведения пациентов с остеопетрозом ограничивалась сферой интересов специалистов педиатрического и ревматологического профиля, однако с развитием современных технологий оказания медицинской помощи, стала актуальной для врачей других специальностей, в том числе и для травматологов-ортопедов, выполняющих эндопротезирование тазобедренного сустава.

По данным анализа медицинской базы научных публикаций PubMed, при поисковом запросе публикаций по запросу «эндопротезирование тазобедренного сустава при остеопетрозе» определяется ограниченное число публикаций, что делает актуальным освещение данного вопроса в медицинской периодике.

В нашей практике имеется следующий клинический случай: пациентка З., 40 лет, поступила в клинику НМИЦ ТО им. Р. Р. Вредена в плановом порядке для проведения первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава по поводу коксартроза 3 ст. (Рис. 1)

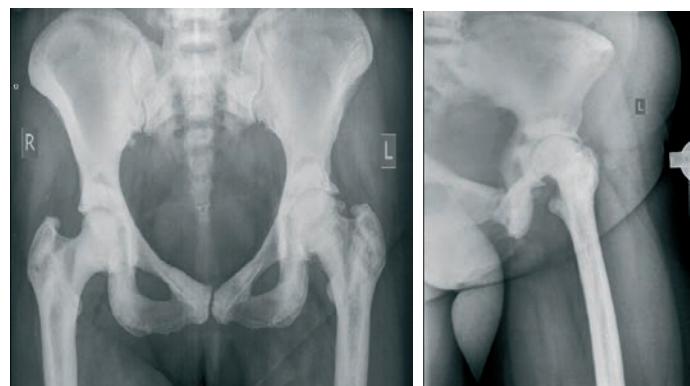


Рисунок 1. Обзорная рентгенограмма костей таза и левого тазобедренного сустава до оперативного вмешательства

Больная состоит на учете у ревматолога на протяжение последних 5 лет, первичная постановка диагноза при выполнении планового флюорографического исследования, ранее о данной патологии не знала, генетическое тестирование членов семьи пациентки не выполнялось. Ввиду отсутствия активной манифестации болезни, отсутствия низкоэнергетических переломов, медикаментозного лечения не получает. На протяжение последних 7 лет отмечает снижение функции тазобедренного сустава с постепенным ухудшением. На госпитальном этапе проведено комплексное клинико-рентгенологическое исследование и предоперационное планирование. Оперативное вмешательство выполнялось под комбинированной анестезией (спинальная анестезия + внутривенная седация). В положении пациента на боку осуществлен доступ к тазобедренному суставу по Хардингу, ткани мобилизованы, произведен вывих головки бедренной кости в рану. При выполнении опила шейки бедренной кости, визуализировалась неоднородная структура губчатой кости с включениями участков остеосклероза. Хрящ головки бедренной кости был узурирован, в нагружаемой зоне отсутствовал. Далее производилась последовательная обработка вертлужной впадины фрезами, покрытие фрезы в красильных отделах на 5/6. Произведена установка вертлужного компонента пресс-фит, аутопластика крыши вертлужной впадины утильной губчатой костью. Произведена имплантация полимерного вкладыша.

Далее произведено формирование посадочного места для бедренного компонента эндопротеза. Канал бедренной кости отсутствовал и был полностью замещен компактной костью. Путем поэтапного рассверливания костномозгового канала сверлами и последовательной обработки развертками, удалось сформировать место посадки бедренного компонента. Выполнено пробное вправление и установка пресс-фит бедренного компонента эндопротеза с головкой. Произведено послойное ушивание раны, наложение асептической повязки. Интраоперационная кровопотеря – 150 мл, гемотрансфузия не проводилась.

На 1-е сутки после операции выполнены контрольные рентгенологические исследования (Рис. 2), активизация пациентки при помощи костылей.

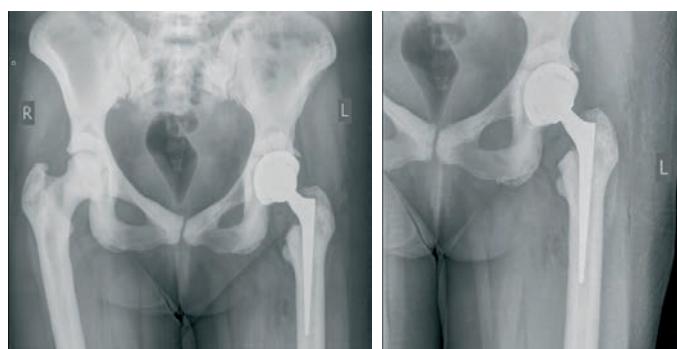


Рисунок 2. Контрольная рентгенография после оперативного вмешательства

Течение раннего послеоперационного периода без особенностей. Выписка из стационара на 6-е сутки после оперативного вмешательства. На амбулаторном этапе проводилось наблюдение пациентки на сроке 1,3 месяцев. Пациентка передвигается самостоятельно, дополнительную опору не использует, жалоб нет.

Малая частота пациентов с остеопетрозом в практике хирурга-ортопеда может приводить к ряду технических трудностей на этапе оперативного лечения. При подготовке к выполнению оперативного вмешательства, на ряду с основными этапами планирования, следует учитывать возможные технические трудности при разработке костномозгового канала бедренной кости, которые могут приводить к интраоперационным переломам.

В клиническом исследовании Xiaoming G. и Quian C. приводится случай тотального эндопротезирования пациента 52 лет с остеоартрозом тазобедренного сустава и остеопетрозом, авторы отмечают необходимость тщательной подготовки пациента к предстоящему оперативному лечению, верификации диагноза и этапному проведению рентгенограмм на протяжении 6 месяцев после операции с целью исключения низкоэнергетических перипротезных переломов на этапе реабилитационного лечения и активизации больного [5].

Основными методами профилактики таких осложнений можно считать прецизионную поэтапную разработку канала бедренной кости, превентивное наложение серкляжных швов, подготовку конических бедренных компонентов, наличие ЭОП для рентген-контроля в условиях операционной и инструментария для проведения остеосинтеза пластины в случае возникновения перелома на этапе разработки костномозгового канала и установки имплантата.

В клиническом наблюдении Papagrigorakis E. с соавторами описан случай лечения перипротезного перелома бедренной кости у пациента с остеопетрозом спустя 10 лет после проведенного эндопротезирования, где авторы обращают внимание на сложности при проведении остеосинтеза, связанные с чрезмерной плотностью кортикального слоя кости, что потребовало большего времени остеосинтеза и использования дополнительных сверл [1].

Материалы данного клинического случая и обзора литературы призваны обратить внимание практикующих врачей травматолого-ортопедического профиля на возможные трудности и при лечении больных с остеопетрозом и профилактировать интраоперационные осложнения при проведении эндопротезирования тазобедренного сустава.

#### Список литературы / References:

- Papagrigorakis E, Galanis A, Vlachos C, Vavourakis M, Zachariou D, Vlamis J, Pneumaticos S. Periprosthetic fracture of total hip replacement in patients with osteopetrosis: A case presentation and review of literature. *J Frailty Sarcopenia Falls.* 2022 Dec 1; 7 (4): 251-256. <https://doi.org/10.22540/JFSF-07-251>. PMID: 36531518; PMCID: PMC9729755.
- Жиляев В.М., Арапова С.Д., Мамедова Е.О., Тарбаева Н. В., Белая Ж.Е. (2020). Остеопетроз: течение заболевания у пациента, перенесшего трансплантацию гемопоэтических стволовых клеток в возрасте 27 лет. *Остеопороз и остеопатии,* 2020; 23 (1): 14-19. Zhilyaev VM, Arapova SD, Mamedova EO, Tarbaeva NV, Belyaya ZhE. Osteopetrosis: the follow-up of the disease in a patient who underwent hematopoietic stem cell transplantation at the age of 27 years. *Osteoporosis and bone diseases.* 2020;23(1):14-19. <https://doi.org/10.14341/osteob12434>
- Петрушин А.Л., Тюсова Н.Н., Некхорошкова Т.В. Склеротические остеодисплазии (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). *Травматология и ортопедия России.* 2016; 22 (1): 136-150. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-136-150> [Petrushin A.L., Tyusova N.N., Nekhoroshkova T.V. SCLEROTIC OSTEODYSPLASIAS. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22 (1): 136-150. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-136-150> ]
- Wei C, Li H. Total hip arthroplasty for the treatment of a hip disorder complicated by autosomal dominant osteopetrosis: a case report. *J Int Med Res.* 2023 Jul; 51 (7): 3000605231187803. <https://doi.org/10.1177/0300605231187803> . PMID: 37523459; PMCID: PMC10392520.
- Gao X, Cheng Q, Zhang X, Zhao G. Successful total hip arthroplasty for autosomal dominant osteopetrosis complicated by hip osteoarthritis: A case report and review of the literature. *Exp Ther Med.* 2020 Apr; 19 (4): 2702-2706. <https://doi.org/10.3892/etm.2020.8503> Epub 2020 Feb 10. PMID: 32256752; PMCID: PMC7086189.

## Авторы:

**Карелкин Виталий Владимирович**, к.м.н., заведующий отделением травматологии и ортопедии №14, ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р.Вредена” Министерства здравоохранения Российской Федерации, 195427, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vvkarelkin@rniito.ru

**Юнкина Елизавета Алексеевна**, врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №14, ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена” Министерства здравоохранения Российской Федерации, 195427, Санкт-Петербург, Россия, -mail: eazrniito@yandex.ru

**Автор, ответственный за переписку:**

**Юнкина Елизавета Алексеевна**, врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №14, ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р.Вредена” Министерства здравоохранения Российской Федерации, 195427, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: eazrniito@yandex.ru

## Authors:

**Karelkin Vitalii Vladimirovich**, Ph.D. of Medical Sciences, head of the department of traumatology and orthopedics №14, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 195427, St. Petersburg, Russia. e-mail: vvkarelkin@rniito.ru

**Iunkina Elizaveta Alekseevna**, doctor, department of traumatology and orthopedics №14, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 195427, St. Petersburg, Russia e-mail: eazrniito@yandex.ru

**Corresponding author:**

**Iunkina Elizaveta Alekseevna**, doctor, department of traumatology and orthopedics №14, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 195427, St. Petersburg, Russia, e-mail: eazrniito@yandex.ru

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ



УДК 616.728.3

© Хабаров В.Н., Беляевский В.А., 2025

Обзор литературы / Literature review

### МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИНИЦИРОВАНИЯ И ПРОГРЕССИРОВАНИЯ СУСТАВНЫХ ПАТОЛОГИЙ

**В.Н. ХАБАРОВ<sup>1</sup>, В.А. БЕЛЯЕВСКИЙ<sup>\*2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты, 119146, Москва, Комсомольский пр., 38/16

<sup>2</sup>Частная клиника «Биони Медикал», 117418, Москва, ул. Новочеремушкинская, 50 к2.

#### Аннотация

**Введение:** остеоартрит классифицируют как заболевание опорно-двигательного аппарата, характеризующееся разрушением суставного хряща, затрагивающим весь сустав, субхондральную кость, синовиальную оболочку, связки, сухожилия и мышцы. Однако молекулярно-клеточные механизмы, способствующие распространению патогенных факторов по тканям сустава, до сих пор неизвестны. Благодаря появлению новых высокоеффективных методов исследования, за последние годы достигнут значительный прогресс в изучении и понимании молекулярных механизмов, приводящих к развитию суставных патологий.

**Цель исследования:** изучение молекулярных механизмов инициирования и прогрессирования остеоартрита, а также обобщение потенциальных терапевтических стратегий лечения суставных патологий.

**Материалы и методы:** был проведён анализ научных медицинских литературных источников, содержащих данные собственных исследований, а также обзоры по теме диагностики и лечения остеоартрита. Поиск информации производился по ключевым словам в электронных медицинских и общенаучных базах: PubMed, ScienceDirect, eLIBRARY.

**Результаты:** Приведенный обзор научных данных убедительно свидетельствуют о том, что выявление информативных биомаркеров, необходимых для профилактики и лечения заболевания суставов, стало настущной необходимостью клинической практики. Относительно недавно остеоартрит стал рассматриваться как процесс, сочетающий травму и воспаление ввиду установления ключевой роли цитокинов и иммунных клеток в его патогенезе. Современные представления о патогенезе остеоартрита включают понятие инфламэйджинг - прогрессирующее хроническое вялотекущее системное воспаление. Также стало известно, что активация факторов транскрипции NF-кВ и МАРК-киназных путей индуцирует гены, кодирующие ферменты, которые разрушают хрящ, а также воспалительные факторы, что в конечном итоге приводит к потере функции хряща, развитию остеоартрита и прогрессированию заболевания.

**Ключевые слова:** остеоартрит; диагностические биомаркеры остеоартрита; инфламэйджинг; хондроциты; синовиальные клетки; гиалуроновая кислота; сиртуины.

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

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Хабаров В.Н., Беляевский В.А., молекулярно-клеточные механизмы инициирования и прогрессирования суставных патологий. Кафедра травматологии и ортопедии. 2025; 4: 146–156.

### MOLECULAR AND CELLULAR MECHANISMS OF INITIATION AND PROGRESSION OF JOINT PATHOLOGIES

**VLADIMIR N. KHABAROV<sup>1</sup>, VALENTIN A. BELYAEVSKY<sup>\*2</sup>**

<sup>1</sup> Scientific Research Center of Hyaluronic Acid, 119146, Moscow, Komsomolsky ave., 38/16

<sup>2</sup> Private clinic "Bioni Medical", 117418, Moscow, Novocheremushkinskaya St., 50 k2.

#### Abstract

**Introduction:** osteoarthritis is classified as a disease of the musculoskeletal system characterized by the destruction of articular cartilage affecting the entire joint, subchondral bone, synovial membrane, ligaments, tendons and muscles. However, the molecular and cellular mechanisms contributing to the spread of pathogenic factors through the tissues of the joint are still unknown. Due to the emergence of new highly effective research methods, significant progress has been made in recent years in the study and understanding of the molecular mechanisms leading to the development of joint pathologies.

The aim of the study was to study the molecular mechanisms of initiation and progression of osteoarthritis, as well as to summarize potential therapeutic strategies for the treatment of joint pathologies.

**Materials and methods:** the analysis of scientific medical literature sources containing data from their own research, as well as reviews on the diagnosis and treatment of osteoarthritis, was carried out. Information was searched by keywords in electronic medical and general scientific databases: PubMed, ScienceDirect, eLibrary.

**Results:** The above review of scientific data strongly suggests that the identification of informative biomarkers necessary for the prevention and treatment of joint disease has become an urgent need for clinical practice.

**Key words:** osteoarthritis; diagnostic biomarkers of osteoarthritis; inflamaging; chondrocytes; synovial cells; hyaluronic acid; sirtuins.

**Conflict of interests:** The authors declare that there are no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** the study had no sponsorship

**For citation:** Khabarov V.N., Belyaevsky V.A., molecular and cellular mechanisms of initiation and progression of joint pathologies. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 4: 146–156.

**DOI:** 10/17238/issn2226-2016.2025.4.146-156

## Введение

Для всестороннего изучения фенотипических изменений при разрушении хряща важно выяснить механизмы перекрестных воздействий между хондроцитами и синовиальными клетками. Накоплены доказательства взаимодействия между синовиальными клетками (в основном, макрофагами и фибробластами) и хондроцитами, которые действуют как взаимные доноры и акцепторы [1–3]. Взаимодействия происходят посредством прямого клеточного контакта, паракринной секреции и экзоцитоза. Основными взаимодействующими веществами являются некоторые аминокислоты и пептиды, провоспалительные цитокины, секрецируемые белки и микровезикулы.

Известно, что различные клетки вызывают катаболические и провоспалительные клеточные реакции в синовиальной мемbrane, синовиальной жидкости и хрящевой ткани [1, 2]. Синовиоциты, подвергаясь воздействию внутриклеточных и внеклеточных DAMP-факторов, активируют хондроциты и опосредуют выработку различных матриксных металлопротеиназ (ММР), хемокинов, цитокинов и нейропептидов, тем самым создавая порочный круг между всеми отделами суставной ткани. Будучи наиболее распространенным заболеванием суставов, остеоартрит (OA) поражает весь сустав, вызывая повреждение суставного хряща, синовиальной оболочки, субхондральной кости и жировой прослойки под надколенником. Гистологические и патологические изменения между хрящом и синовиальной оболочкой во время прогрессирования OA отражают измененные взаимодействия между синовиальными клетками и хондроцитами [1–3].

На примере OA многочисленные данные клинических экспериментов, биоинформатики и фундаментальных исследований в области молекулярной биологии демонстрируют тесную связь между синовиальной оболочкой и хрящом [1–12]. Скрининг новых биомаркеров OA с использованием биоинформационных методов выявил 6 генов, включая

ITGB1, COL5A1, COL1A1, THBS2, LAMA1 и COL12A1, с высокой прогностической ценностью [13–15]. ITGB1 был исследован как основной регулятор OA, а путь цАМФ был выбран в качестве ключевого регуляторного пути. В исследовании авторов ITGB1 был подавлен в модели OA у крыс [14, 16]. Сверхэкспрессия ITGB1 ослабляла патологические повреждения и апоптоз у крыс с OA со сниженными уровнями TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  и IL-6. In vitro сверхэкспрессия ITGB1 способствовала жизнеспособности клеток, ингибируя апоптоз [1, 3, 14].

Артроскопическая оценка OA коленного сустава показывает, что интенсивность воспаления при синовите тесно связана с тяжестью разрушения хряща. С помощью биоинформатики идентифицируют диагностические биомаркеры OA и возможные ассоциации между ключевыми генами и инфильтрирующими иммунными клетками. Так, исследования на основе транскриптомики позволяют объединить данные из разных тканей коленного сустава у пациентов с OA и прояснить связь между синовиальной оболочкой и хрящом [3, 17–21]. В сочетании с данными синовиальной протеомики это позволяет построить спектр перекрестных молекулярных помех в соответствии с теоретически предсказанными взаимодействиями типа "лиганд-рецептор" [7, 9, 18]. При OA макрофаги экспрессируют рецепторы распознавания образов (PRR), включая Toll-подобные рецепторы (TLR) и NOD-подобные рецепторы (NLR), которые связываются с продуктами деградации хряща. Дальнейшая активация факторов транскрипции NF- $\kappa$ B и МАРК-киназных путей индуцирует гены, кодирующие ферменты, разрушающие хрящ, и провоспалительные факторы. Адаптивный иммунный процесс при OA включает активацию В-клеток и Т-клеток, которые продуцируют стимуляторы (IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  и LPS) и факторы транскрипции (STAT и NF- $\kappa$ B) [7], высвобождая провоспалительные цитокины, они ускоряют процесс патогенеза синовита и разрушения хряща [3].

### Некоторые факторы, ускоряющие развитие остеоартрита

Выделяют три классических фактора, ускоряющие развитие ОА: аномальная механическая нагрузка, гипоксия и провоспалительная трансформация.

**1. Механическая перегрузка на фоне старения является существенным фактором, ускоряющим развитие ОА [22].** Митохондрии были идентифицированы как своего рода механотрансдуктор внеклеточных механических сигналов к функционированию хондроцитов. Однако их роль на процессы, протекающие при старении хондроцитов, а также связь с механическим стрессом и ОА до сих пор не установлены. Было обнаружено, что содержащий пьезо-домен PDZ – белок PDZK1 является ключевым элементом биомеханически индуцированной митохондриальной дисфункции и старения хондроцитов во время прогрессирования ОА [22]. Уровень PDZK1 снижается при механической перегрузке, и заметно понижен в суставном хряще пациентов с ОА [22]. Нокаут (удаление, делеция) гена PDZK1 в хондроцитах мышей усугубляло дегенерацию суставного хряща, вызванную механической перегрузкой [22]. Потеря белка PDZK1 нарушила функцию митохондрий мышиных хондроцитов, приводя к накоплению поврежденных митохондрий, снижению содержания в них митохондриальной ДНК (мтДНК) и увеличению продукции активных форм кислорода (АФК/ROS). Добавление белка PDZK1 или применение митоубихинона (MitoQ) замедляли старение хондроцитов и дегенерацию хряща, улучшая функции митохондрий. Анализ общей мРНК в суставном хряще у мышей с нокаутом гена PDZK1 и у контрольных животных показал, что дефицит белка Pdzk1 в мышиных хондроцитах мешал работе митохондрий в результате ингибирования белка HMGCS2 [22]. Эти данные указывают, что дефицит PDZK1 играет решающую роль в старении хондроцитов, вызванного чрезмерной механической нагрузкой, коррелирующей с дисфункцией митохондрий (рис.1). Повышенная экспрессия PDZK1 может представлять собой новый терапевтический подход для ОА, вызванного механической перегрузкой.

Отметим еще одно важное обстоятельство: когда хрящевой матрикс частично кальцинирован, хондроциты постепенно заменяются остеобластами после апоптоза и эндохондрального окостенения [23, 24]. Хотя гипертрофия и апоптоз хондроцитов являются естественными процессами эндохондрального оссификации, они ускоряют прогрессирование ОА при механическом повреждении хряща. Система регуляции роста и дифференцировки культивируемых *in vitro* хондроцитов крайне склонна к дисбалансу, что легко может привести к их сенсцентности и дедифференцировке.

Процесс дедифференцировки хондроцитов сопровождается изменениями фиброзного фенотипа, снижением экспрессии коллагена II (COL2A1), белка SOX9 и увеличением экспрессии матриксной металлопротеиназы 13 (MMP-13) (рис.1). Белок SOX9 является важным фактором транскрипции, который

опосредует дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток (МСК) костного мозга в хондроциты. SOX9 способен комбинироватьсь с коллагеном II и индуцировать пролиферацию хондроцитов и синтез компонентов хрящевого межклеточного матрикса. После этого экспрессия SOX9 выключается и начинает экспрессироваться другой транскрипционный фактор RUNX2.

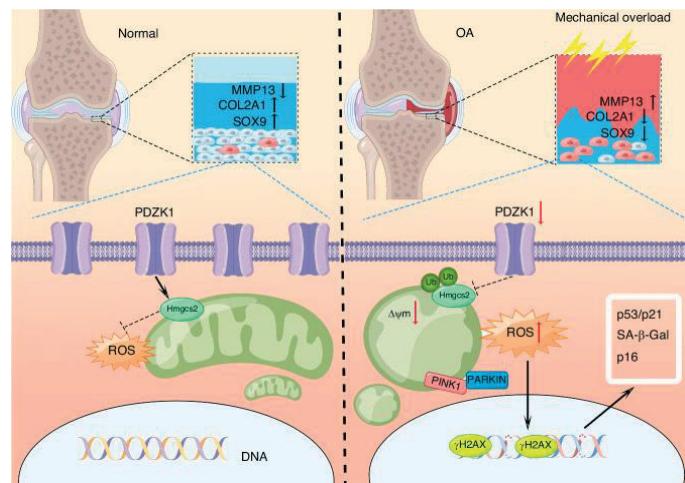


Рисунок 1. Белок PDZK1 защищает хондроциты от преждевременного старения, вызванного механической перегрузкой или остеоартиром, воздействуя на функцию митохондрий [22]

Транскрипционный фактор RUNX2 является жизненно важным фактором созревания хондроцитов и участвует в патогенезе ОА. Экспрессия RUNX2 низкая в пролиферирующих хондроцитах, но она увеличивается в прегипертрофических хондроцитах и дополнительно увеличивается в гипертрофических и терминально дифференцированных хондроцитах. Экспрессия RUNX2 в хондроцитах при ОА значительно выше, чем в нормальных хондроцитах. При снижении RUNX2 прогрессирование ОА значительно замедляется [1, 5].

Экспрессия важной в клеточном цикле убиквитинилазы FBXW7 была исследована *in vitro*, а также на экспериментальных мышах с ОА и в хряще человека с ОА [23]. Результаты убедительно продемонстрировали, что механическая перегрузка ускоряет старение в культивируемых хондроцитах и в суставном хряще мышей. Белок FBXW7 подавлялся механической перегрузкой в первичных хондроцитах и хряще мышей и снижался в хряще пациентов с ОА. Делеция гена FBXW7 в хондроцитах вызывала их старение и ускоряла катаболизм хряща у мышей, что проявлялось в повышении уровней белков p16INK4A, p21 и снижении уровней Col2a1 и ACAN. В совокупности это приводило к обострению протекания ОА. Напротив, внутрисуставная инъекция экспрессирующего FBXW7 аденоовириуса облегчала

ОА у мышей. Механическая перегрузка снижала транскрипцию мРНК гена FBXW7 и опосредованную FBXW7 деградацию белка клеточного цикла MKK7, что впоследствии стимулировало путь через киназу JNK. В частности, ингибирирование активности JNK ингибитором MKK7 подавляло старение хондроцитов и дегенерацию хряща. Таким образом, получен важный вывод, что FBXW7 является ключевым звеном между механической перегрузкой и старением хондроцитов с последующей деградацией хряща при ОА [23].

Отметим еще один важный факт. Экспериментальные условия, имитирующие аномальную механическую нагрузку, провоспалительную среду, а также сниженное соотношение OPG/RANKL в хряще, запускают апоптоз хондроцитов и потерю матрикса через деградирующую матриксные металлопротеиназы MMP-13 и MMP-9 [24 - 26]. Гипоксия выступает как один из факторов в развитии суставных патологий, играя двойную роль. Она способствует синтезу матрикса через HIF-1 $\alpha$  (ингибитор Wnt), но также активирует HIF-2 $\alpha$ , который усиливает VEGF и MMP-13, наряду с аберрантной экспрессией коллагена и деградацией внеклеточного матрикса в присутствии провоспалительных цитокинов.

**2. Роль гипоксии в деградации хрящевого матрикса.** Гипоксия играет важную роль в деградации хряща и ремоделировании субхондральной кости при ОА [29]. В недавнем исследовании [30, 31] было изучено участие гипоксии в изменении фенотипов остеобластов, для того чтобы определить, могут ли эти изменения влиять на метаболизм хондроцитов. Уровни фактора Hif-1 $\alpha$  в субхондральной кости различных отделов у пациентов с ОА оценивали с помощью иммуногистохимии. In vitro первичные остеобlastы человека культивировали в гипоксических и нормоксических условиях, после чего фенотипические изменения в них были оценены с помощью обратной транскрипции-полимеразной цепной реакции, вестерн-блоттинга и иммуноферментного анализа. Дополнительно, в хондроцитах была измерена экспрессия генов коллагена II типа (COL2A1), агрекана (ACAN), SOX9, MMP3 и MMP13. Результаты показали, что уровень HIF-1 $\alpha$  был значительно повышен в сильно склерозированной субхондральной кости по сравнению с менее поврежденной субхондральной костью [30]. Факторы  $\beta$ -катенин и SOST были идентифицированы как повышенные и пониженные в гипоксических остеобластах, соответственно. Стимуляция первичных хондроцитов человека значительно индуцировала MMP3/13 и ингибировала экспрессию мРНК COL2A1, ACAN и SOX9. Уровни белка DKK-1 в сыворотке крови человека были значительно повышены при ОА. В совокупности эти результаты показывают, что гипоксия в субхондральной кости является ключевым фактором в перекрестных взаимодействиях между хондроцитами и остеобластами и способствует сдвигу в сторону ОА-подобного фенотипа у хондроцитов. Это происходит за счет активации сигнального пути Wnt/ $\beta$ -катенина в остеобластах.

**3. Деградация гиалуроновой кислоты (ГК) при остеоартрите.** Одним из первых и основных элементов в патофизиологии поражения суставного хряща является уменьшение вязкоэластичных свойств синовиальной жидкости [29]. Это приводит к увеличению трения суставных поверхностей и, как следствие, – к усилению поражения хряща. Главным элементом, отвечающим за вязкоэластичные свойства суставной жидкости, является ГК. Начальные пусковые механизмы развития артропатий до сих пор во многом остаются невыясненными. Общие представления основаны на том, что в основе патогенеза лежат нарушения регуляции равновесия между анаболическими и катаболическими процессами в синовиоцитах и хондроцитах. В результате сдвигается равновесие между процессами синтеза и распада биополимерных структур, в которых основную роль играет гиалуроновая кислота. Предполагают, что ранние стадии патогенеза связаны с ускоренной деградацией данного полисахарида [29]. На снижении молекулярной массы ГК и повышении гиалуронидазной активности в синовиальной жидкости основано детектирование ранних стадий развития патологий [29, 32]. При ОА снижается концентрация и молекулярная масса гиалуронана в полости сустава. Это приводит к уменьшению вязкости и эластичности синовиальной жидкости по сравнению с нормой. Она теряет способность защищать суставные поверхности от повреждения [29].

В исследовании [33] было изучено участие ферментов HYBID и TMEM2 в деградации ГК в синовиальной жидкости у пациентов с ОА коленного сустава [31 - 35]. Количественное определение мРНК показало, что экспрессия HYBID значительно (в 5,5 раза) выше в синовиальной оболочке, пораженной ОА, чем в нормальной контрольной синовиальной оболочке, тогда как уровень экспрессии TMEM2 был одинаков между двумя группами. По данным иммуногистохимии, HYBID был локализован в основном в сублайнерных фибробластах синовиальной оболочки, пораженной ОА. Уровни экспрессии мРНК HYBID, но не TMEM2, в синовиальной оболочке, положительно коррелировали с распределением в ней низкомолекулярной ГК с массой менее 1000 кДа. Деградация ГК была отменена за счет нокдауна гена HYBID. Среди 12-ти исследованных факторов, IL-6 и TNF- $\alpha$  наиболее значительно повышали экспрессию HYBID и его активность по деградации ГК в синовиальных фибробластах при остеоартрите. Эти два фактора не влияли на экспрессию TMEM2. IL-1 $\alpha$  значительно усиливал выработку IL-6 и через него повышал экспрессию HYBID. Результаты исследований показали, что HYBID сверхэкспрессируется в хряще при ОА, а также в хондроцитах провоспалительными факторами IL-6 и TNF- $\alpha$  [33, 36].

**Сигнальные события и их последствия в субхондральной кости при остеоартрите.**

Первоначально существовало устойчивое предположение, что ОА начинается с синовиального воспаления и гипер-

плазии, прогрессируя в сторону деградации хряща [37, 38]. В конечном итоге, происходит коллапс субхондральной кости, склероз и образование остеофитов. Однако современные исследования оспаривают эту точку зрения, указывая, что начальные изменения происходят в субхондральной кости, а затем происходит разрушение хряща. В последние годы роль патологических изменений в субхондральной кости при OA привлекает все больший интерес. На ранней стадии OA начинается износ (уменьшение объема) субхондральной кости, который происходит до начала функционально значимой дегенерации хряща и образования остеофитов. Тогда как на поздней стадии OA это повреждение проявляется как склероз субхондральной кости, что соответствует типичной патологии пациентов с OA [38].

Патологические изменения субхондральной кости на разных стадиях OA включают ремоделирование кости, которое в значительной степени зависит от остеокласт-опосредованной абсорбции кости, остеобласт-опосредованного формирования кости и взаимодействия с остеоцитами встроенными в костный матрикс [39]. На ранней стадии OA утолщение кальцинированного хрящевого слоя снижает нагрузку на субхондральную кость, и это снижение увеличивает соотношение уровней рецептора RANKL (рецепторный активатор лиганда ядерного фактора kB) к белку остеопротегерина OPG, тем самым способствуя образованию остеокластов и усиливая резорбцию костной ткани. Переходная зона между суставным хрящом и субхондральной костью действует как динамический регуляторный узел, который при остеоартрите теряет структурно-функциональную согласованность. Ремоделирование субхондральной пластиинки определяется скоординированной активностью Wnt-сигналинга и оси OPG-RANKL-RANK, совместно задающих баланс остеогенеза и резорбции [38, 39]. Сигнальные пути Wnt-каскада играют фундаментальную роль в регуляции роста, развития и гомеостаза суставного хряща [38, 39]. При остеоартрите в субхондральной кости выделяют как минимум два фенотипа остеобластов. Один вариант характеризуется повышенной продукцией COX-2, PGE2 и OPG на фоне сравнительно низкого уровня RANKL; в условиях избыточной механической нагрузки такой профиль ассоциирован с очаговым уплотнением (склерозом) костной ткани. Другой вариант, напротив, отличается выраженной секрецией медиаторов – прежде всего IL-6 и PGE2 – при низкой экспрессии RANKL и также поддерживает склерозирование субхондральной зоны [38, 39]. Смещение баланса в сторону активации Wnt-сигналинга усиливает костное ремоделирование; при гиперактивации Wnt3a/Wnt5a в хондроцитах наблюдаются утрата протеогликанов и снижение транскрипции ключевых хондрогенных маркеров (COL2A, ACAN, SOX9). Напротив, блокада пути Wnt, например склеростином, проявляет хондропротективные эффекты, а DKK-1 через подавление VEGF сдерживает неоангиогенез в субхондральной кости.

Моделирование перегрузки и воспалительной микросреды, а также уменьшение отношения OPG:RANKL сопровождаются повышением активности матриксных металлопротеиназ (MMP-13, MMP-9, MMP-3), апоптозом хондроцитов и ускоренной деградацией матрикса. Гипоксия вносит разнонаправленный вклад: через HIF-1 $\alpha$  частично тормозит Wnt-активность и поддерживает синтез матрикса, тогда как через HIF-2 $\alpha$  усиливает экспрессию VEGF и MMP-13 и, в присутствии провоспалительных цитокинов, способствует разрушению внеклеточного матрикса [27, 28, 40]. Фактор роста фибробластов FGF представляет собой пептидный цитокин, который способен стимулировать деление практически всех видов клеток, включая ангиогенез. Сигнальный путь FGF опосредует развитие хондроцитов посредством регуляции экспрессии цитокинов. В скелетной системе передача сигналов FGF связана с регуляцией гомеостаза хрящевой среды и возникновением дегенеративных заболеваний хряща. FGF может связываться со своим специфическим рецептором FGFR, активируя у него расположенный внутри клеточной мембраны домен. Это, в свою очередь, активирует внутриклеточные сигналы через пути RAS-MAPK и PI3K-АКТ и способствует дифференцировке мезенхимальных стволовых клеток в хондроциты, стимулируя пролиферацию хондроцитов и синтез внеклеточного матрикса [1].

Считается, что поврежденная хромосомная ДНК является основным патологическим фактором OA, однако механизм, с помощью которого повреждение ДНК приводит к развитию OA, неясен. Результаты исследований в области биологии старения доказали, что комплекс STING активно реагирует на повреждение ДНК [41]. В работе [7] изучалась роль STING, который является основным эфектором в сигнальной цепи cGAS-STING, в прогрессировании OA *in vitro* и *in vivo*. Экспрессию STING оценивали в тканях OA человека и мыши, а также в хондроцитах, подвергшихся воздействию IL-1 $\beta$ . Влияние STING на метаболизм внеклеточного матрикса, апоптоз и старение оценивали при сверхэкспрессии или нокдауне STING у хондроцитов. Кроме того, был изучен каскад передачи сигналов через фактор NF-кB и его роль в регуляторном влиянии STING на метаболизм внеклеточного матрикса, апоптоз и старение. Нокдаун-лентивирус STING вводили внутрисуставно для оценки его терапевтического воздействия на OA у мышей *in vivo*. Результаты исследования показали, что экспрессия STING была значительно повышенена в тканях OA человека и мыши, а также в хондроцитах, подвергшихся воздействию IL-1 $\beta$ . Сверхэкспрессия STING способствовала экспрессии MMP13, а также ADAMTS5, но подавляла экспрессию агрекана и коллагена II; она также усиливалась апоптоз и старение хондроцитов, подвергшихся воздействию и не обработанных IL-1 $\beta$ . Исследование показало, что STING активирует сигнальный каскад NF-кB. У мышей нокдаун STING снижал развития OA медиального мениска. Таким образом, каскад cGAS-STING способствует

развитию ОА путем активации сигнального каскада NF-κB [7]. Сигнальные каскады активируемые через киназы TRAF6, JNK, MAP, MAPK и Src приводят к дифференциации и активации остеокластов. Активация COX-2 и PGE2 стимулирует синтез интерлейкинов IL-1, IL-6 и IL-8, включая выработку деградирующих MMP в хряще (рис.2) [17].

В нормальных условиях остеобlastы в основном зависят от глюкозы в качестве источника энергии, а PPAR $\beta/\gamma$  усиливает поглощение глюкозы через транспортер GLUT-1. Однако в гипоксических условиях клетки подвергаются сильному метаболическому сдвигу в сторону анаэробного гликолиза, управляемого mTORC2, который стабилизирует RUNX2. PPAR $\beta/\gamma$  взаимодействует с каноническими сигнальными молекулами, например, Wnt3a и Wnt10b, для оказания антифиброзного и противовоспалительного действия. Дополнительно индуцируется OPG и RUNX2 и тонко настраивается функция остеобластов, приводящая к формированию и ремоделированию костной ткани. RUNX2 сам по себе индуцирует RANKL и контролирует функцию остеокластов, но при совместном действии с  $\beta$ -катенином он стимулирует в основном остеобlastы, которые увеличивают объем трабекулярной кости [17].

Наличие катаболических, апоптотических и гипертрофических хондроцитов является характеристикой ОА. Хондроциты, экспрессирующие RANKL, высвобождают его в растворимой форме, вызывая сверхэкспрессию провоспалительных интерлейкинов IL-1 $\beta$  и IL-6 в хряще [40]. Стареющие хондроциты способствуют этой провоспалительной среде, увеличивая синтез MMP-3, -9 -13, ADAMTS-4 и -5. Такая провоспалительная активность приводит к деградации внеклеточного матрикса хряща. Белок OPG связывается с RANKL и способствует его internalизации с последующей деградацией. Склеростин является сильным ингибитором деградации хряща, который приостанавливает MMP, ADAMT, стимулируя параллельно выработку агрекана и коллагена II типа.

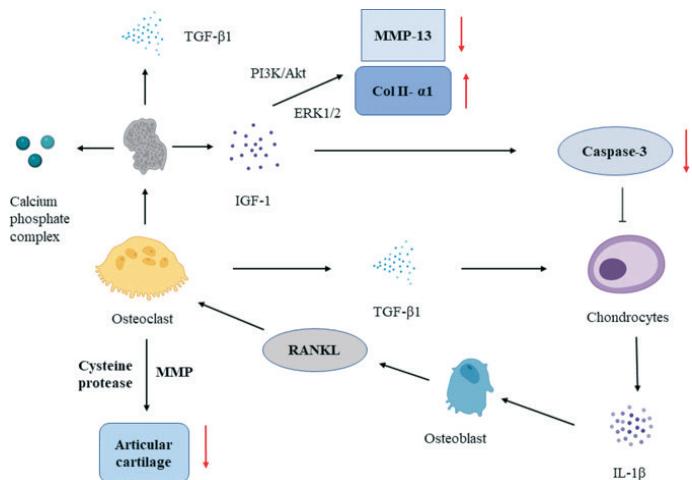


Рисунок 2. Роль остеокластов в субхондральной кости при остеоартрите [17]

Зрелые остеокласты прикрепляются к поверхности кости и частично её растворяют во время её ремоделирования. После остеолиза из костного матрикса высвобождаются различные факторы, включая TGF- $\beta$ 1, IGF-1 и комплекс фосфата кальция. Остеокласты разрушают суставной хрящ посредством активации металлопротеиназ MMP и цистеиновой протеазы. IGF-1 способствует экспрессии коллагена Col II α1 и ингибирует экспрессию MMP-13, одновременно активируя пути PI3K/Akt и ERK1/2 в хондроцитах. Сигнал от IGF-1 также защищает хондроциты от апоптоза, снижая активность каспазы-3. Вырабатываемый хондроцитами IL-1 $\beta$  повышает экспрессию рецепторного активатора лиганда ядерного фактора каппа-В (RANKL) в остеобластах и косвенно индуцирует образование остеокластов.

Каноническая сигнализация Wnt и  $\beta$ -катенин являются антиапоптотическими и стимулируют пролиферацию хондроцитов; однако TCF/LEF является нижестоящим активатором апоптоза и деградации матрикса. Гипоксия, запускающая HIF-1 $\alpha$ , создает ингибирующий эффект на  $\beta$ -катенин и RUNX2 и усиливает гомеостатические эффекты SOX-9. Неканоническая активация Wnt имеет различные патологические последствия: дедифференцировку хондроцитов и потерю фенотипа и ингибирование агрекана вместе с коллагеном II типа. Метаболический синдром и аномальная механическая нагрузка снижают регуляцию AMPKa, гликолиза и митохондриального дыхания в адаптивном ответе на гипоксию, что также приводит к переключению катаболического фенотипа хондроцитов [42].

Слабо выраженное системное воспаление (инфламмейджинг) – важный фактор, способствующий патофизиологии остеоартрита.

Благодаря появлению новых высокоэффективных методов анализа, за последние годы достигнут значительный прогресс в изучении и понимании молекулярных механизмов, приводящих к сенесцентности соматических, стволовых, иммунных и опухолевых клеток, и влияния сенесцентности на клетки из окружения в условиях *in vitro* и *in vivo* [41]. Характерные морфологические изменения сенесцентных клеток включают: увеличенную форму, расширение лизосомального отсека и вакуолей, повышенную скорость метаболизма и выработку активных форм кислорода (АФК/ROS), секреторный фенотип, ассоциированный со старением (SASP), изменения ядра и хроматина, а также устойчивость к апоптотическим стимулам.

Результаты научных исследований, проведенных за последние 4 года (2020–2024) убедительно свидетельствуют о том, что современные представления о патогенезе ОА не могут формироваться без учета роли сенесцентных клеток и такого процесса, как инфламмейджинг – прогрессирующего хронического вялотекущего системного воспаления, которое не имеет определенного внешнего очага инфекции [18, 40–52]. ОА в последние годы стал рассматриваться как процесс, сочетающий травму и воспаление, поскольку была установлена ключевая роль цитокинов и иммунных клеток в его патогенезе. Инфламмейджинг связывают с повышенным

количеством сенесцентных клеток в поражённом при ОА хряще и костной ткани, которые секретируют ассоциированный со старением SASP-фенотип [53–56]. Считается, что провоспалительная микросреда, совместно созданная иммунными клетками и SASP, способствует дегенерации хряща и ремоделированию субхондральной кости, что в конечном итоге приводит к потере функции хряща, развитию ОА и прогрессированию заболевания. Некоторые фрагменты хряща и другие продукты деградации матрикса могут провоцировать воспаления. Например, уровень люмикана, одного из гликопротеинов внеклеточного матрикса, повышается в остеоартритном хряще и синовиальной жидкости, в которой он усиливает провоспалительную активацию рецептора TLR4, приводящую к поляризации макрофагов [42].

Стареющие (сенесцентные) клетки в костях и костном мозге продуцируют разнообразные секреторные факторы SASP, которые вызывают изменения в скелете посредством паракринных эффектов [57]. SASP, связанный с костными клетками, называют «костным SASP фенотипом», который проявляет себя, например, в вызванном глюкокортикоидами повреждении костей (рис. 3) [58, 59]. Всё больше внимания привлекает роль костного SASP в развитии суставных патологий и, в частности, изменения субхондральной кости при ОА, связанном с метаболическим синдромом. В физиологически нормальных условиях сбалансированная дифференцировка остеобластов и остеокластов поддерживает гомеостаз субхондральной кости и нормальную субхондральную микроархитектуру. При метаболическом синдроме преостеокласти в субхондральном костном мозге подвергаются клеточному старению и секретируют факторы SASP. SASP-молекулы действуют как на предшественников остеокластов, подавляя дифференцировку остеокластов, так и на предшественников остеобластов, активируя сигнальный путь через циклооксигеназу COX2 и PGE2. Это способствует дифференцировке остеобластов и приводит к быстрому утолщению субхондральной пластиинки и трабекулярной кости [59].

Лечение глюкокортикоидами вызывает первичное старение BMAds через положительную обратную связь сигнального пути 15d-PGJ2-PPAR $\gamma$ -INK. Далее такие BMAd распространяют старение паракринно на другие клетки костей и костного мозга, что приводит к накоплению стареющих клеток и хроническому повреждению костей [58].

Вызванная факторами SASP провоспалительная среда провоцирует дегенерацию хряща и ремоделирование субхондральной кости, что в конечном итоге приводит к потере функции хряща и прогрессированию ОА. Считается, что эта микросреда, совместно созданная иммунными клетками и SASP, стимулирует разрушение хряща путем деградации внеклеточного матрикса за счёт активации матричных металлопротеиназ. Результаты исследования Varela-Eirín

и соавторов продемонстрировали, что высокие уровни трансмембранных белков коннексина 43 (Cx43) связаны с фенотипом сенесценции в хондроцитах остеоартритного хряща [58].

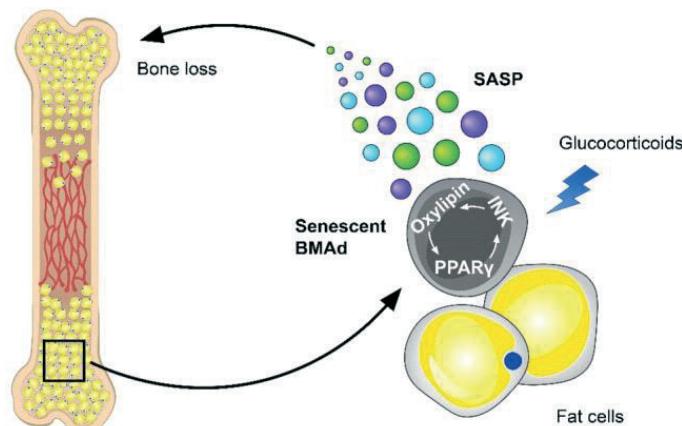


Рисунок 3. Участие стареющих клеток костного мозга (BMAd) и SASP в потере костной массы, вызванной глюкокортикоидами [58]

Впервые было показано, что высвобождаемые хондроцитами малые внеклеточные везикулы (sEV), полученные от человека с ОА, содержат высокие уровни Cx43 и вызывают сенесцентный фенотип в хондроцитах, синовиальных и костных клетках, приводя к формированию воспалительной и дегенеративной суставной среды путем секреции молекул SASP, включая IL-1 $\beta$  и IL-6 и некоторые матриксы металлопротеиназ MMP-3, -13 [60]. Некоторые фрагменты хряща и другие продукты деградации матрикса могут провоцировать воспаления. Например, уровень люмикана, одного из гликопротеинов внеклеточного матрикса, повышается в остеоартритном хряще и синовиальной жидкости, в которой он усиливает провоспалительную активацию рецептора TLR4, приводящую к поляризации макрофагов [44].

В клинической практике пациенты с ОА часто страдают от синовиального воспаления. В синовиальной оболочке пациентов с ОА также были обнаружены сенесцентные клетки [42]. В дополнение к стареющим хондроцитам, старение синовиальных фибробластов считается одной из причин развития ОА. К примеру, в образцах синовиальной ткани при ОА обнаруживается значительно больше p16-положительных стареющих синовиальных фибробластов по сравнению с нормальной синовиальной тканью. Кроме того, трансплантация стареющих синовиальных фибробластов в колено здоровых мышей вызывает эрозию хряща и образование остеофитов. Это позволяет предположить, что стареющие синовиальные клетки играют ключевую роль в изменении внутрисуставной микросреды, тем самым способствуя патогенезу ОА. Стареющие синовиоциты не только негативно влияют на качество синовиальной оболочки,

но и секretируют цитокины IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$  и фактор VEGF, которые создают провоспалительную микросреду, способствующую дальнейшей дегенерации хряща [42]. Это усугубляет синовиальное воспаление, формируя самоподдерживающийся порочный круг процессов.

Постепенно выясняется роль сенесцентных скелетных клеток (хондроцитов, остеобластов, остеокластов, остеоцитов и мышечных клеток) в инициировании развития и прогрессирования OA как самостоятельно, так и посредством перекрестных связей с макрофагами/синовиальными клетками [42, 59]. Стареющие хондроциты оказывают просенесцентный эффект на окружающие нормальные хондроциты через SASP секреторный фенотип, а сенесцентные синовиальные клетки воздействуют на нормальные хондроциты через цитокины TNF- $\alpha$ , VEGF и IL-6. В дополнение к хондроцитам, синовиальные фибробlastы, синовиальные макрофаги, остеобlastы и адипоциты также участвуют в производстве SASP. Продукция факторов SASP, в основном, обусловлена активацией сигнальных каскадов через фактор NF- $\kappa$ B и киназы p38MAPK и mTOR [53]. Киназный комплекс mTOR сверхэкспрессируется в хондроцитах пациентов с OA [21]. Остеобlastы могут индуцировать субхондральный ангиогенез через сигнальный путь TGF- $\beta$ 1/Smad, чтобы косвенно индуцировать сенесцентные хондроциты, которые, в свою очередь, способствуют секреции большего количества фактора VEGF [40]. Все это создает порочный круг, связывающий сенесценцию с ускоренным развитием OA. Очистка OA-хряща от сенесцентных хондроцитов предотвращает прогрессирование OA. Однако эта процедура затруднена из-за отсутствия специфичного для сенесцентных хондроцитов маркера. В недавнем исследовании использовали проточную цитометрию для скрининга и отбора поверхностных маркеров стареющих хондроцитов [46]. OA-хондроциты, экспрессирующие на мемbrane дипептидилпептидазу-4 (DPP-4), проявляли фенотип повышенная экспрессии ассоциированной со старением галактозидазы S-gal, белков p16, p21 и белков секреторного SASP-фенотипа. Чтобы изучить влияние ингибирования DPP-4 на OA-хрящ, сенесцентные хондроциты (SnC) обрабатывали *in vitro* ситаглиптином, ингибитором DPP-4. Это приводило к селективному устраниению из хряща (DPP-4+)-SnC клеток, не затрагивая (DPP-4+)-SnC хондроциты. Для оценки терапевтической эффективности воздействия на (DPP-4+)-SnC три сенолитика (ABT263, 17DMAG и метформин) и ситаглиптин были сравнительно проверены в модели OA у крыс. Лечение ситаглиптином специфически и эффективно устраняло (DPP-4+)-SnC клетки, в отличие от трёх сенолитиков. Кроме того, внутрисуставная инъекция ситаглиптина OA-крысам увеличивала экспрессию коллагена II типа и протеогликана, толщину субхондральной костной пластинки и в целом уменьшала разрушение хряща. В совокупности это означает, что селективное воздействие на DPP-4+ хондроциты может быть перспективной стратегией

для предотвращения прогрессирования OA. Надо признать, что большинство препаратов в настоящее время не нацелены на какой-то один тип стареющих клеток [21, 41, 42].

В работе [61] было проведено изучение потенциального участия белка сиртуина 4 (SIRT4) в старении хондроцитов и его использования для терапии OA. Результаты выявили снижение экспрессии SIRT4 в стареющих (сенесцентных) человеческих хондроцитах *in vitro*, а также в хряще мыши с OA. Кроме того, снижение экспрессии SIRT4 в хондроцитах способствовало клеточному старению, вызванному факторами SASP, и деградации хряща у мышей. В то время как повышенная экспрессия SIRT4 защищала хондроциты от старения и от деградации хряща. Результаты исследования выявили повышенные уровни активных форм кислорода, аномальную морфологию митохондрий, нарушенный у них мембранный потенциал и сниженную продукцию АТФ в хондроцитах с пониженным уровнем SIRT4, что указывает на дисфункцию митохондрий. Напротив, сверхэкспрессия SIRT4 предотвращала митохондриальную дисфункцию. Снижение экспрессии SIRT4 нарушало способность клетки устранять поврежденные митохондрии путем ингибирования митохондриальной протеинкиназы - белка Pink1 в хондроцитах, тем самым усиливая накопление АТФ и способствуя их сенесценции. В частности, сверхэкспрессия белка Pink1 противодействовала эффектам, связанных с делетированием SIRT4, на митохондриальную дисфункцию. Эти результаты предоставляют доказательства того, что сверхэкспрессия SIRT4 усиливает митофагию, восстанавливает митохондриальную функцию и защищает хондроциты от старения, тем самым предлагая SIRT4 как новую терапевтическую цель [61].

Недавние обзоры [62] иллюстрируют биологические функции SIRT-1,-3,-6 в патогенезе OA с точки зрения энергетического метаболизма, воспаления, аутофагии и клеточного старения, а также роль, которую играют белки сиртуины в регуляции циркадного ритма, который был признан ключевым в развитии OA. Кроме того, за последние три десятилетия было получено всё больше доказательств, что сиртуины являются не только важными энергетическими сенсорами, но и защитниками от метаболических стрессов и преждевременного старения [53, 62].

### Заключение

После повреждения хряща сложно или практически невозможно самостоятельно восстановиться из-за отсутствия кровеносных сосудов, лимфы и нервных тканей. Восстановление повреждения хрящевой ткани в основном достигается за счет стимуляции пролиферации хондроцитов и синтеза внеклеточного хрящевого матрикса. Гомеостаз хряща включает в себя регуляцию множеством сигнальных каскадов, которые в последующем индуцируют передачу внутриклеточных сигналов. Во время дисфункции синовиального сустава костно-хрящевой блок претерпевает kle-

точные фенотипические и функциональные изменения. На клеточном уровне на синовиальную мембрану влияют фрагменты расщепления хряща и субхондральной кости, а также продукты деградации внеклеточного матрикса апоптотических и некротических клеток. Эти «инородные тела» служат молекулярными структурами, которые активируют врожденный иммунитет, вызывая и поддерживая вялотекущее воспаление (инфламейджинг) в хряще и костной ткани, провоцируя ОА. Основные молекулярно-клеточные процессы, вызывающие ОА, остаются до конца невыясненными, во многом из-за их разнообразия и чрезвычайной сложности механизмов взаимодействия.

В практическом плане выявление конкретных биомаркеров, которые позволяют оценивать уровень апоптоза, воспаления, разрушения внеклеточного матрикса, пролиферации хондроцитов и синовиоцитов становится насущной необходимостью для профилактики, лечения или определения стадий заболевания ОА. Все это необходимо рассматривать через призму роли субхондральной кости в поддержании целостности хрящевого матрикса. Поэтому следует объединять суставной хрящ и субхондральную кость в качестве единой мишени для восстановления суставов, что может обеспечить новую терапевтическую стратегию профилактики и лечения ОА.

#### Список литературы / References:

- Chen H, Tan X, Hu S, et al. Molecular Mechanisms of Chondrocyte Proliferation and Differentiation. *Front Cell Dev Biol.* 2021; 9: 664168. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.664168>
- Li T, Peng J, Li Q, et al. The Mechanism and Role of ADAMTS Protein Family in Osteoarthritis. *Biomolecules.* 2022; 12(7): 959. <https://doi.org/10.3390/biom12070959>
- Chen B, Sun Y, Xu G, et al. Role of crosstalk between synovial cells and chondrocytes in osteoarthritis (Review). *Exp Ther Med.* 2024; 27(5): 201. <https://doi.org/10.3892/etm.2024.12490>
- Knights A, Farrell E, Ellis O, et al. Synovial fibroblasts assume distinct functional identities and secrete R-spondin 2 in osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2023; 82: 272-82. <https://doi.org/10.1136/ard-2022-222773>
- Lee Y, Mohd Yunus M, Yazid M, Ugusman A. Unraveling the path to osteoarthritis management: targeting chondrocyte apoptosis for therapeutic intervention. *Front Cell Dev Biol.* 2024; 12: 1347126. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1347126>
- Chen Y, Wang B, Chen YC, et al. HAPLN1 Affects Cell Viability and Promotes the Pro-Inflammatory Phenotype of Fibroblast-Like Synoviocytes. *Front Immunol.* 2022; 13: 888612. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.888612>
- Guo Q, Chen X, Chen J, et al. STING promotes senescence, apoptosis, and extracellular matrix degradation in osteoarthritis via the NF-κB signaling pathway. *Cell Death Dis.* 2021; 12(1): 13. <https://doi.org/10.1038/s41419-020-03341-9>
- Hu N, Qiu J, Xu B, et al. The Role of Cartilage Stem/Progenitor Cells in Cartilage Repair in Osteoarthritis. *Curr Stem Cell Res Ther.* 2023; 18(7): 892-903. <https://doi.org/10.2174/1574888X17666221006113739>
- Nandakumar K, Fang Q, Wingbro Ågren I, Bejmo Z. Aberrant Activation of Immune and Non-Immune Cells Contributes to Joint Inflammation and Bone Degradation in Rheumatoid Arthritis. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(21): 15883. <https://doi.org/10.3390/ijms242115883>
- Nguyen T, Duong C, Nguyen X, Than U. Mesenchymal Stem Cell-Derived Extracellular Vesicles for Osteoarthritis Treatment: Extracellular Matrix Protection, Chondrocyte and Osteocyte Physiology, Pain and Inflammation Management. *Cells.* 2021; 10(11): 2887. <https://doi.org/10.3390/cells10112887>
- Wu Z, Li W, Jiang K, et al. Regulation of bone homeostasis: signaling pathways and therapeutic targets. *MedComm.* 2024; 5(8): e657. <https://doi.org/10.1002/mco2.657>
- Zhou M, Wang D, Tang J. Identification of the Resveratrol Potential Targets in the Treatment of Osteoarthritis. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2021; 2021: 9911286. <https://doi.org/10.1155/2021/9911286>
- Xu K, He Y, Moqbel S. SIRT3 ameliorates osteoarthritis via regulating chondrocyte autophagy and apoptosis through the PI3K/Akt/mTOR pathway. *Int J Biol Macromol.* 2021; 175: 351-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.029>
- Zhang J, Du L, Davis B, et al. Osteolectin increases bone elongation and body length by promoting growth plate chondrocyte proliferation. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2023; 120(22): e2220159120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2220159120>
- Chen L, Wang Y, Li S, et al. High expression of NDRG3 in osteoarthritis patients. *Arthroplasty.* 2021; 3(1): 1. <https://doi.org/10.1186/s42836-020-00064-2>
- Хабаров В.Н., Миронова Е.С. Инфламейджинг: роль сенесцентных клеток в патогенезе остеоартрита. *Успехи геронтологии.* 2024; 37(6): 777-85. <https://doi.org/10.34922/AE.2024.37.6.013> [Khabarov V.N., Mironova E.S. Inflamaging: the role of senescent cells in the pathogenesis of osteoarthritis. *The successes of gerontology.* 2024; 37(6): 777-85. [https://doi.org/10.34922/AE.2024.37.6.013\].](https://doi.org/10.34922/AE.2024.37.6.013)
- Liu F, Zhao Y, Pei Y, et al. Role of the NF-κB signalling pathway in heterotopic ossification: biological and therapeutic significance. *Cell Commun Signal.* 2024; 22(1): 159. <https://doi.org/10.1186/s12964-024-01533-w>
- Song J, Kim E, Yang J, et al. Upregulated FOXM1 stimulates chondrocyte senescence in Acot12-/-Nudt7-/- double knockout mice. *Theranostics.* 2023; 13(15): 5207-22. <https://doi.org/10.7150/thno.89033>
- Veronesi F, Costa V, Bellavia D, et al. Epigenetic Modifications of MiRNAs in Osteoarthritis: A Systematic Review on Their Methylation Levels and Effects on Chondrocytes, Extracellular Matrix and Joint Inflammation. *Cells.* 2023; 12(14): 1821. <https://doi.org/10.3390/cells12141821>
- Wang S, Yang J, Xiang R, et al. Research and publication trends on knee osteoarthritis and cellular senescence: a bibliometric analysis. *Front Physiol.* 2023; 14: 1269338. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1269338>
- Shao Y, Zhang H, Guan H, et al. PDZK1 protects against mechanical overload-induced chondrocyte senescence and osteoarthritis by targeting mitochondrial function. *Bone Res.* 2024 Jul 17; 12(1): 41. <https://doi.org/10.1038/s41413-024-00344-6>
- Хабаров В.Н., Бойков П.Я., Колосов В.А., Иванов П.Л. Гиалуронан в артрологии. М. Эдвардс солюшн. 2014: 208. ISBN 5-9704-5278-5 [Khabarov V.N., Boikov P.Ya., Kolosov V.A., Ivanov P.L. Hyaluronan in arthrology. M. Advantage solyushin. 2014: 208. ISBN 5-9704-5278-5].
- Хабаров В.Н., Селянин М.А., Бойков П.Я. Гиалуроновая кислота: применение в биологии и медицине. М. Практическая

- медицина. 2012; 224 . ISBN 987-5-98811-210-5 [Khabarov V.N., Selyanin M.A., Boikov P.Ya. Hyaluronic acid: application in biology and medicine. *M. Practical medicine.* 2012; 224. ISBN 987-5-98811-210-5].
24. Zhang H, Shao Y, Yao Z, et al. Mechanical overloading promotes chondrocyte senescence and osteoarthritis development through down-regulating FBXW7. *Ann Rheum Dis.* 2022; 81(5): 676-86. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2021-221513>
25. Kosonen J, Eskelinen A, Orozco G, et al. Injury-related cell death and proteoglycan loss in articular cartilage: Numerical model combining necrosis, reactive oxygen species, and inflammatory cytokines. *PLoS Comput Biol.* 2023; 19(1): e1010337. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010337>
26. Zhou J, Wei P, Yi F, et al. The association between basal metabolic rate and osteoarthritis: a Mendelian randomization study. *BMC Med Genomics.* 2023; 16(1): 258. <https://doi.org/10.1186/s12920-023-01704-7>
27. Kolasinski S, Neogi T, Hochberg M, et al. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Rheumatol.* 2020; 72(2): 220-33. <https://doi.org/10.1002/art.41761>
28. Zhou X, Zheng Y, Sun W, et al. D-mannose alleviates osteoarthritis progression by inhibiting chondrocyte ferroptosis in a HIF-2α-dependent manner. *Cell Prolif.* 2021; 54(11): e13134. <https://doi.org/10.1111/cpr.13134>
29. Zhang F, Luo W, Lei G. Role of HIF-1α and HIF-2α in osteoarthritis. *Joint Bone Spine.* 2015; 82(3): 144-7. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2014.10.003>
30. Kruszewska N, Mazurkiewicz A, Szala G, et al. Characterization of Synovial Fluid Components: Albumin-Chondroitin Sulfate Interactions Seen through Molecular Dynamics. *Materials (Basel).* 2022; 15(19): 6935. <https://doi.org/10.3390/ma15196935>
31. Shiozawa J, de Vega S, Yoshinaga C, Ji X, Negishi Y. Expression and regulation of recently discovered hyaluronidases, HYBID and TMEM2, in chondrocytes from knee osteoarthritic cartilage. *Sci Rep.* 2022; 12(1): 17242. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22230-z>
32. Shiozawa J, de Vega S, Cilek M, et al. Implication of HYBID in Hyaluronan Degradation by Synovial Fibroblasts in Patients with Knee Osteoarthritis. *Am J Pathol.* 2020; 190(5): 1046-58. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2020.01.003>
33. Deroyer C, Poulet C, Paulissen G, Ciregia F, Malaise O, Plener Z, Cobrainville G. CEMIP (KIAA1199) regulates inflammation, hyperplasia and fibrosis in osteoarthritis synovial membrane. *Cell Mol Life Sci.* 2022; 79(5): 260. <https://doi.org/10.1007/s00018-022-04282-6>
34. Хабаров В.Н. Коллаген, эластин, гиалуроновая кислота в молекулярной косметологии. М.: ГЭОТАР-МЕД. 2024: 368. ISBN 978-5-9704-7993-3 [Khabarov V.N. Collagen, elastin, and hyaluronic acid in molecular cosmetology. Moscow: GEOTAR-MED. 2024: 368. ISBN 978-5-9704-7993-3].
35. Di Francesco M, Fragassi A, Pannuzzo M, Ferreira M, Brahmachari S. Management of osteoarthritis: From drug molecules to nano/micromedicines. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.* 2022 May; 14(3): e1780. <https://doi.org/10.1002/wnnan.1780>
36. Li X, Han Y, Li G, et al. Role of Wnt signaling pathway in joint development and cartilage degeneration. *Front Dev Biol.* 2023; 11: 1181619. <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.1181619>
37. Altman R, Bedi A, Karlsson J, et al. Product Differences in Intra-articular Hyaluronic Acids for Osteoarthritis of the Knee. *Am J Sports Med.* 2016; 44(8): 2158-65. <https://doi.org/10.1177/0363546515609599>
38. Liao Z, Han X, Wang Y, et al. Differential Metabolites 40. Liao Z, Han X, Wang Y, et al. Differential Metabolites in Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients.* 2023; 15(19): 4191. <https://doi.org/10.3390/nu15194191>
39. Liu Y, Zhang Z, Li T, et al. Senescence in osteoarthritis: from mechanism to potential treatment. *Arthritis Res Ther.* 2022; 24(1): 174. <https://doi.org/10.1186/s13075-022-02859-x>
40. Хабаров В.Н., Полумиленко А.Л. Гиалуроновая кислота и клеточный цикл в биологии старения. М.: ГЭОТАР-МЕД. 2025: 424. ISBN: 978-5-9704-8969-7 [Khabarov V.N., Polumienko A.L. Hyaluronic acid and cell cycle in the biology of aging. Moscow: GEOTAR-MED. 2025: 424. ISBN: 978-5-9704-8969-7].
41. Wu C, Liu R, Huan S, et al. Senescent skeletal cells cross-talk with synovial cells plays a key role in the pathogenesis of osteoarthritis. *Arthritis Res Ther.* 2022; 24(1): 59. <https://doi.org/10.1186/s13075-022-02747-4>
42. Fang CL, Liu B, Wan M. "Bone-SASP" in Skeletal Aging. *Calcif Tissue Int.* 2023; 113(1): 68-82. <https://doi.org/10.1007/s00223-023-01100-4>
43. Fusi G, Constantinides M, Fissoun C, et al. Senescence-Driven Inflammatory and Trophic Microenvironment Imprints Mesenchymal Stromal/Stem Cells in Osteoarthritic Patients. *Biomedicines.* 2023; 11(7): 1994. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11071994>
44. Rim Y, Nam Y, Ju J. The Role of Chondrocyte Hypertrophy and Senescence in Osteoarthritis Initiation and Progression. *Int J Mol Sci.* 2020; 21(7): 2358. <https://doi.org/10.3390/ijms21072358>
45. Ro D, Cho G, Kim J, et al. Selective targeting of dipeptidyl-peptidase 4 (DPP-4) positive senescent chondrocyte ameliorates osteoarthritis progression. *Aging Cell.* 2024; 23(7): e14161. <https://doi.org/10.1111/acel.14161>
46. Balaskas P, Goljanek-Whysall K, Clegg P, et al. MicroRNA Signatures in Cartilage Ageing and Osteoarthritis. *Biomedicines.* 2023; 11(4): 1189. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11041189>
47. Boone I, Tuerlings M, Coutinho de Almeida R, et al. Identified senescence endotypes in aged cartilage are reflected in the blood metabolome. *Geroscience.* 2024 Apr; 46(2): 2359-2369 <https://doi.org/10.1007/s11357-023-01001-2>
48. Motta F, Barone E, Sica A, Selmi C. Inflammaging and Osteoarthritis. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2023; 64(2): 222-238. <https://doi.org/10.1007/s12016-022-08941-1>
49. Ren X, Zhuang H, Jiang F, et al. Ceria Nanoparticles Alleviated Osteoarthritis through Attenuating Senescence and Senescence-Associated Secretory Phenotype in Synoviocytes. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(5): 5056. <https://doi.org/10.3390/ijms24055056>
50. Shao Y, Zhang H, Guan H, et al. PDZK1 protects against mechanical overload-induced chondrocyte senescence and osteoarthritis by targeting mitochondrial function. *Bone Res.* 2024 Jul 17; 12(1): 41. <https://doi.org/10.1038/s41413-024-00344-6>
51. Moiseeva V, Cisneros A, Sica V, Deryagin O. Senescence atlas reveals an aged-like inflamed niche that blunts muscle regeneration. *Nature.* 2023; 613(7942): 169-178. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05535-x>
52. Ogrodnik M. Cellular aging beyond cellular senescence: markers of senescence prior to cell cycle arrest in vitro and in vivo. *Aging Cell.* 2021; 20(4): e13338. <https://doi.org/10.1111/acel.13338>
53. Oh C, Koh D, Jeon H, Kim K. The Role of Extracellular Vesicles in Senescence. *Mol Cells.* 2022; 45(9): 603-609. <https://doi.org/10.14348/molcells.2022.0056>
54. Bidwell J, Bonewald L, Robling A. The Skeleton as a Secretory Organ. *Calcif Tissue Int.* 2023; 113(1): 1-3. <https://doi.org/10.1007/s00223-023-01106-y>

55. Tan D, Huang Z, Zhao Z, et al. Single cell sequencing, genetics, and epigenetics reveal mesenchymal stem cell senescence in osteoarthritis (Review). *Int J Mol Med.* 2024; 53(1): 2. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2023.5326>

56. Varela-Eirín M., Carpintero-Fernández P., Guitián-Caamaño A., et al. Extracellular vesicles enriched in connexin 43 promote a senescent phenotype in bone and synovial cells contributing to osteoarthritis progression. *Cell Death Dis.* 2022; 13(8): 681. <https://doi.org/10.1038/s41419-022-05089-w>

57. Lin S, Wu B, Hu X, Lu H. Sirtuin 4 (Sirt4) downregulation contributes to chondrocyte senescence and osteoarthritis via mediating mitochondrial dysfunction. *Int J Biol Sci.* 2024; 20(4): 1256-78. <https://doi.org/10.7150/ijbs.85585>

58. Lu H, Jia C, Wu D. Fibroblast growth factor 21 (FGF21) alleviates senescence, apoptosis, and extracellular matrix degradation in osteoarthritis via the SIRT1-mTOR signaling pathway. *Cell Death Dis.* 2021; 12(10): 865. <https://doi.org/10.1038/s41419-021-04157-x>

#### Авторы:

**Хабаров Владимир Николаевич** – к.х.н., генеральный директор АНО «Научно-исследовательский центр гиалуроновой кис-

лоты». Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты, 119146, Москва, Комсомольский пр., 38/16, E-mail: info@nicgk.com

**Беляевский Валентин Александрович** – врач по спортивной медицине, травматолог – ортопед. Частная клиника «Биони Медикал». 117418, Москва, Новочеремушкинская 50 к2. E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

#### Автор, ответственный за переписку:

**Беляевский Валентин Александрович** – врач по спортивной медицине, травматолог – ортопед. Частная клиника «Биони Медикал». 117418, Москва, ул. Новочеремушкинская, 50 к2. E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

#### Authors:

**Khabarov Vladimir N.** – Candidate of Chemical Sciences, General Director of the Scientific Research Center of Hyaluronic Acid. Hyaluronic Acid Research Center, 38/16 Komsomolsky Ave., Moscow, 119146. E-mail: info@nicgk.com

**Belyaevsky Valentin A.** – sports medicine doctor, orthopedic traumatologist. Private clinic "Bioni Medical". Novocheremushkinskaya 50 k 2, Moscow, 117418, Russia, E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru