

Кафедра травматологии и ортопедии (Zhurnal kafedra travmatologii i ortopedii)

№ 1 · 2026

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, 2026

Подписной индекс 88210 в объединенном каталоге
«Пресса России»

Цена договорная

Подписано в печать: .06.2026

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 Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Редакционная коллегия:

Ахтямов 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. Хатанпаа, ФИНЛЯНДИЯ

The Department of Traumatology and Orthopedics

№ 1· 2026

Founded in 2012

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

Publisher: LLC «Profill — 2S»
123007, Moscow, 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, Moscow, 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, 2026

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

The price contractual

Sent for press: .06.2026

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal "THE DEPARTMENT OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS" is the official publication. The Journal is 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. Kavalersky, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Editorial board:

Idar 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

А.В. ЛЫЧАГИН, А.А. ГРИЦЮК, М.П. ЕЛИЗАРОВ, С.М. СМЕТАНИН, Б.Ш. МИНАСОВ, Т.Б. МИНАСОВ, Е.Р. ЯКУПОВА, С.Ю. ГЛАЗУНОВ, Р.Д. КАБИРОВ, Р.А. САУБАНОВ, М.Я. ГАВЛОВСКИЙ	
ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЗЕЦИРОВАННОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ ТОТАЛЬНОЙ АРТРОПЛАСТИКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА: СРЕДНЕСРОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	7
А.В. ЛЫЧАГИН, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, К.М. АЗАРКИН, А.В. ГАРКАВИ, С.М. СМЕТАНИН, Е.Ю. ЦЕЛИЩЕВА, Т.А. ЖАРОВА, А.А. БАБКОВА, Е.Д. ЧАБДАРХАНОВА, Ю.Р. ГОНЧАРУК, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ	
ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИИ КРЕСТООБРАЗНЫХ СВЯЗОК КОЛЕННОГО СУСТАВА	22
О.В. ПИМАНЧЕВ, Р.П. НЕБЕЛАС, Ю.В. РЯПолоВ, В.В. ГАВРИЛЮК, Д.А. РОМАНОВ	
СУББАСТУС-ДОСТУП ПРИ РОБОТИЧЕСКОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА	30
В.Н. ХАБАРОВ, В.А. БЕЛЯВСКИЙ	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЕЛАТНОЙ ФОРМЫ ЦИНКА С ГИАЛУРОНАНОМ В КАЧЕСТВЕ СЕНОМОРФИКА, МОДИФИЦИРУЮЩЕГО АНАБОЛИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СЕНЕСЦЕНТНЫХ ХОНДРОЦИТОВ	39

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

В.Т. ЗЕЙНАЛОВ, С.И. ЧЕРНЫШОВ, М.И. НЕЧАЕВА, И.А. АРАПОВА, К.В. ШКУРО, Н.Г. ГОНЧАРОВ	
КОРРЕКЦИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПЯТОЧНОЙ КОСТИ ПО МЕТОДИКЕ ROMASH	47

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.Ф. СУФИЯНОВА, А.Р. БИЛЯЛОВ, В.Н. АКБАШЕВ, М.Ф. ГАЛАУТДИНОВ	
СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЛЕЧЕНИЯ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	59
П. В. ФИЛОНОВ, О. Е. БОГОПОЛЬСКИЙ, Р. М. ТИХИЛОВ	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АРТРОСКОПИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ФЕМОРОАЦЕТАБУЛЯРНЫМ ИМПИНДЖМЕНТОМ	71
А.А. ШИРИНОВ, Н.В. ЗАГОРОДНИЙ, Д.В. БУРКОВ, А.Н. МИРОНОВ, Р.Н. АЛИЕВ	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АРТРОДЕЗА, ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ И КОРРИГИРУЮЩИХ НАДЛОДЫЖЕЧНЫХ ОСТЕОТОМИЙ ПРИ ОСТЕОАРТРОЗЕ ГОЛЕНСТОПНОГО СУСТАВА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И МЕТААНАЛИЗ	80

CONTENTS

ORIGINAL RESEARCH

A. V. LYCHAGIN, A. A. GRITSYUK, M. P. ELIZAROV, S. M. SMETANIN, B. SH. MINASOV, T. B. MINASOV, E. R. YAKUPOVA, S. Y. GLAZUNOV, R. D. KABIROV, R. A. SAUBANOV, M. YA. GAVLOVSKY	
HISTOLOGICAL FEATURES OF RESECTED BONE TISSUE AFTER TOTAL KNEE ARTHROPLASTY: MID-TERM OUTCOMES	7
A. V. LYCHAGIN, E. B. KALINSKY, K. M. AZARKIN, A. V. GARKAVI, S. M. SMETANIN, E. YU. TSELISCHEVA, T. A. ZHAROVA, A. A. BABKOVA, E. D. CHABDARHANOVA, Y. R. GONCHARUK, G. M. KAVALERSKY	
PROSPECTIVE STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY FOR THE DIAGNOSIS OF PATHOLOGY OF THE CRUCIATE LIGAMENTS OF THE KNEE JOINT	22
O. V. PIMANCHEV, R. P. NEBELAS, YU. V. RYAPOLOV, V. V. GAVRILIUK, D. A. ROMANOV	
SUBVASTUS APPROACH IN ROBOTIC TOTAL KNEE ARTHROPLASTY	30
V. N. KHABAROV, V. A. BELYAEVSKY	
PROSPECTS OF USING A CHELATED FORM OF ZINC WITH HYALURONAN AS A CENOMORPHIC MODIFYING THE ANABOLIC FUNCTIONS OF SENESCENT CHONDROCYTES	39

CLINICAL CASE

V. T. ZEYNALOV, S. I. CHERNYSHOV, M. I. NECHAEVA, I. A. ARAPOVA, K. V. SHKURO, N. G. GONCHAROV	
CORRECTIVE OSTEOTOMY FOR DISPLACED FRACTURES OF THE CALCANEUS USING THE ROMASH TECHNIQUE	47

LITERATURE REVIEW

A. F. SUFIYANOVA, A. R. BILYALOV, V. N. AKBASHEV, M. F. GALAUTDINOV	
CURRENT ASPECTS OF PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION TREATMENT: A LITERATURE REVIEW	59
P. V. FILONOV, O. E. BOGOPOLSKY, R. M. TIKHILOV	
CURRENT STATUS AND POTENTIAL OF HIP ARTHROSCOPY IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH FEMOROACETABULAR IMPINGEMENT	71
A. A. SHIRINOV, N. V. ZAGORODNIY, D. V. BURKOV, A. N. MIRONOV, R. N. ALIEV	
COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF ARTHRODESIS, TOTAL ANKLE REPLACEMENT, AND SUPRAMALLEOLAR OSTEOTOMY IN ANKLE OSTEOARTHRITIS: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS	80

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



УДК 617.3

© Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Сметанин С.М., Минасов Б.Ш., Минасов Т.Б., Якупова Е.Р., Глазунов С.Ю., Кабиров Р.Д., Саубанов Р.А., Гавловский М.Я., 2026

Оригинальное исследование / Original research

ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЗЕЦИРОВАННОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ ТОТАЛЬНОЙ АРТРОПЛАСТИКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА: СРЕДНЕСРОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А.В. ЛЫЧАГИН¹, А.А. ГРИЦЮК¹, М.П. ЕЛИЗАРОВ¹, С.М. СМЕТАНИН¹, Б.Ш. МИНАСОВ², Т.Б. МИНАСОВ², Е.Р. ЯКУПОВА², С.Ю. ГЛАЗУНОВ², Р.Д. КАБИРОВ², Р.А. САУБАНОВ², М.Я. ГАВЛОВСКИЙ¹

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

² ФГАОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, 450008, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

Аннотация

Точность позиционирования компонентов при роботическом тотальном эндопротезировании коленного сустава (РоТЭКС) не вызывает сомнений. Сравнение РоТЭКС и мануальное ТЭКС с результатами гистологического исследования костей, после резекции разными режущими инструментами, является актуальным.

Цель: изучить гистологические особенности резекции кости фрезой робота и осциллирующей пилой и их влияние на клинические среднесрочные результаты после тотального эндопротезирования коленного сустава.

Материалы и методы. Проведено сравнительное проспективное двухцентровое исследование с 2022 по 2025 гг. Средний возраст: группа 1 (РоТЭКС) – 66,4±8,3 лет, группа 2 (ТЭКС) – 66,59±8,6. Медиана ИМТ: группа 1 – 30,28 (Q1 – 26,65; Q3 – 34,21) кг/м², группа 2 – 33,91 (32,23; 36,93) кг/м². Угол НКА: группа 1 – 171° (170; 172)°; группа 2 – 170° (170; 173)°. Динамика состояния пациентов оценивалась по ВАШ, WOMAC. Гистологическим методом оценивали микроархитектонику костной ткани.

Результаты. В группе РоТЭКС в раннем послеоперационном периоде по скованности результаты лучше, а на протяжении 1–3 лет статистическая значимость по функции имеет разницу в медианах 1–2 балла. При анализе гистологической картины совокупность морфологических изменений костной ткани (микропереломы, дефекты, некроз) после РоТЭКС в 4,97 раза меньше, чем при традиционной технике.

Вывод. Гистологически РоТЭКС характеризуется меньшей степенью повреждения и меньшей шероховатостью поверхности костной ткани в 4,97 раза ($p<0,05$), чем при традиционном эндопротезировании коленного сустава, что не влияет на клинические трехлетние результаты.

Ключевые слова: роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава, гистологическое исследование 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: Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Сметанин С.М., Минасов Б.Ш., Минасов Т.Б., Якупова Е.Р., Глазунов С.Ю., Кабиров Р.Д., Саубанов Р.А., Гавловский М.Я. Гистологические особенности резецированной костной ткани после тотальной артропластики коленного сустава: среднесрочные результаты. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1: 7–21.

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

HISTOLOGICAL FEATURES OF RESECTED BONE TISSUE AFTER TOTAL KNEE ARTHROPLASTY: MID-TERM OUTCOMES

ALEXEY V. LYCHAGIN¹, ANDREY A. GRITSYUK¹, MIKHAIL P. ELIZAROV¹, SERGEY M. SMETANIN¹, BULAT SH. MINASOV², TIMUR B. MINASOV², EKATERINA R. YAKUPOVA², STANISLAV Y. GLAZUNOV², RAHIMBAJ D. KABIROV², RADMIR A. SAUBANOV², MAXIM YA. GAVLOVSKY¹

¹ 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

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 450008, Ufa, Russia

Abstract

Background: The accuracy of component positioning in robotic-assisted total knee arthroplasty (RaTKA) is unquestionable. Comparing RaTKA with conventional total knee arthroplasty (TKA), including histological examination of bone tissue following resection using different cutting instruments, remains clinically relevant.

Objective: To investigate the histological features of bone resection performed with a robotic burr versus an oscillating saw and their impact on mid-term clinical outcomes after total knee arthroplasty.

Materials and Methods. A comparative prospective two-center study was conducted from 2022 to 2025. Mean age: Group 1 (RaTKA) – 66,4 ± 8,3 years; Group 2 (TKA) – 66,59 ± 8,6 years. Median BMI: Group 1 – 30,28 (Q1 26,65; Q3 34,21) kg/m²; Group 2 – 33,91 (32,23; 36,93) kg/m². Hip-knee-ankle (HKA) angle: Group 1 – 171° (170°; 172°); Group 2 – 170° (170°; 173°). Patient outcomes were assessed using Visual Analog Scale (VAS) and WOMAC scores. Bone tissue microarchitecture was evaluated histologically.

Results. In the RTKA group, early postoperative stiffness outcomes were superior. Over 1–3 years, functional scores demonstrated a statistically significant difference, with median values differing by 1–2 points. Histological analysis revealed that the extent of morphological bone tissue changes (microfractures, defects, necrosis) was 4,97-fold lower following RTKA compared to the conventional technique.

Conclusion. Histologically, RaTKA is characterized by a 4,97-fold reduction in bone tissue damage and bone surface roughness ($p < 0,05$) relative to conventional TKA, without affecting three-year clinical outcomes.

Key words: robotic total knee arthroplasty, bone histology

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., Smetanin S.M., Minasov B.Sh., Minasov T.B., Yakupova E.R., Glazunov S.Yu., Kabirov R.D., Saubanov R.A., Gavlovsky M.Ya. Histological Features of Resected Bone Tissue after Total Knee Arthroplasty: Mid-term Outcomes. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 7–21.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.7-21

Введение

Точность позиционирования компонентов при использовании роботических установок во время тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) не вызывает сомнений [1–5]. Исследования по сравнению двух методик роботизированного и мануального ТЭКС продолжаются, исследуются: восстановление функции оперированного сустава, рентгенологическую картину, выживаемость эндопротеза [5, 6]. По литературным данным в краткосрочных, в течение 1–2 лет, наблюдениях пациенты достигают лучших функциональных результатов после роботизированного эндопротезирования [7, 8, 9], однако в других источниках разницы между методиками нет [10, 11].

Асептическое расшатывание компонентов эндопротеза, которое возникает в 31–34 % случаев, может стать причиной ревизионных операций [12, 13, 14]. Одна из теорий развития такого осложнения является образование избыточных частиц износа полиэтилена, которое вызывает воспаление и приводит к усиленной работе остеокластов и макрофагов, что приводит к локальному остеолиту [14, 15]. При использовании осцилляторной пилы для резекции кости, поверхность может казаться плоской, но на микроскопиче-

ском уровне выявляются костные неровности, тем самым эффективный контакт между большеберцовым компонентом и костью может составлять 79,4%±0,3% поверхности [16]. Немало важным фактором является точность ручного опиления, которая во фронтальной плоскости (варус-вальгус) может составлять от ±1,5° до ±2,0°, а в сагиттальной (сгибание-разгибание) быть в диапазоне от ±3,0° до ±4,0° [17]. После роботической резекции кости, средняя шероховатость костной поверхности бедра 0,16±0,06 мм, и зазор между костью и имплантатом в среднем находился в пределах 0,4 мм для 97,9% поверхности [18].

Основываясь на литературные данные, авторы определили высокую актуальность изучения влияния гистологической картины кости после резекции роботизированной фрезой и ручной осцилляторной пилой на среднесрочные клинические результаты.

Цель: изучить гистологические особенности резекции кости фрезой робота и осциллирующей пилой и их влияние на клинические среднесрочные результаты после тотального эндопротезирования коленного сустава.

Методы исследования

Проведено сравнительное проспективное двуцентровое исследование в параллельных группах с 2022 по 2025 гг. в клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов университетской клинической больницы № 1 кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) г. Москва и в клинике кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России г. Уфа.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст пациентов старше 18 лет с диагнозом – гонартроз 3–4 ст. по классификации Kellgren-Lawrence;
- наличие письменного информированного согласия на участие в исследовании и на выполнение операции ТЭКС по предложенной методике.

Критерии невключения пациентов в исследование:

- риск анестезиологического пособия по шкале ASA более III;
- индекс массы тела (ИМТ) больше 45 кг/м^2 ;
- варусная деформация коленного сустава $>15^\circ$;
- вальгусная деформация;
- разгибательная контрактура коленного сустава до 100° .

Критерии исключения:

- отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;
- невозможность пациента явиться на контрольные осмотры;
- несоблюдение пациентом предписанного режима.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом Сеченовского университета (протокол от 08.12.22 № 25–22) и зарегистрировано на ClinicalTrials.gov (ID: NCT05712291). Информированное согласие пациентов на участие в исследовании получено до включения в исследование.

В исследовании изучали уровень болевого синдрома пациентов по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), показатели по шкале опроснику WOMAC. По результатам телерентгенограммы нижних конечностей изучали степень деформации коленного сустава во фронтальной плоскости (угол НКА – Hip-Knee-Ankle), расчет которого производили в программе RadiAnt DICOM Viewer. Полученные значения заносили в базу данных. Статистическую обработку клинического материала проводили с помощью программы IBM SPSS Statistics 23 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс).

Для клинического исследования отобрано методом сплошной выборки 234 пациента (153 пациента прооперированы в г. Москве и 81 пациент – в г. Уфе), из которых 27 пациентов не включены и 7 пациентов – исключены из исследования. В анализ исследования вошло 200 пациентов и сформированы 2 равные группы: группа 1 – пациенты, которым выполнено роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава (РоТЭКС) с применением

автономной роботической установки Cuvis Joint; группа 2 – пациенты, которым выполнено ТЭКС мануальной техникой. Анестезиологическое пособие у всех пациентов было одинаковым – спинальная анестезия с внутривенной седацией. Для выполнения хирургического маневра осуществлялся медиальный парapatellarный доступ с вывихом надколенника кнаружи, который в группах не отличался. Пневматурникет не применялся. Имплантировались эндопротезы коленного сустава цементной фиксации фирмы Zimmer® NexGen с сохранением задней крестообразной связки (Cruciate Retaining – CR) с фиксированным вкладышем, без замены суставной поверхности надколенника. Пациентам обеих групп применена концепция механического выравнивания оси нижней конечности. Распределение пациентов в группах по полу проиллюстрировано на рисунке 1.

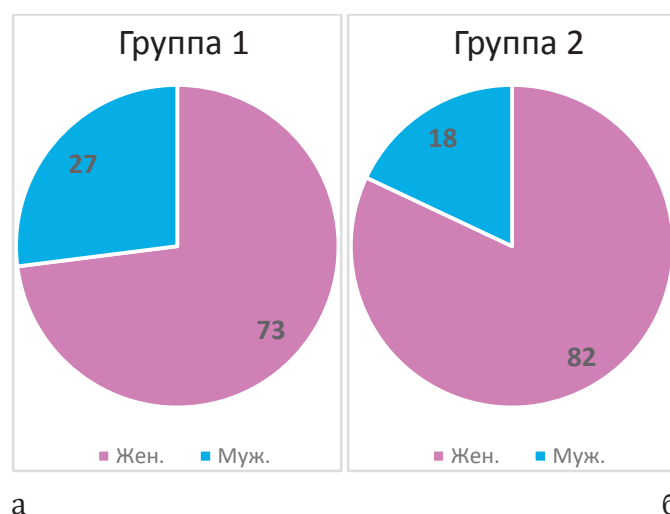


Рисунок 1. Распределение пациентов по полу в группах:
а - РоТЭКС; б - ТЭКС

Средний возраст в группе 1 составил $66,4 \pm 8,3$ лет, в группе 2 – $66,59 \pm 8,6$ лет, распределение нормальное. Медиана ИМТ в группе 1 составила 30,28 с межквартильным размахом ($Q1 - 26,65$; $Q3 - 34,21$) кг/м^2 , в группе 2 – 33,91 ($32,23$; $36,93$) кг/м^2 . Угол НКА в группах был следующий: группа 1 – 171° (170 ; 172) $^\circ$; группа 2 – 170° (170 ; 173) $^\circ$ (рисунок 2). Распределение показателей ИМТ и угла НКА отличается от нормального.

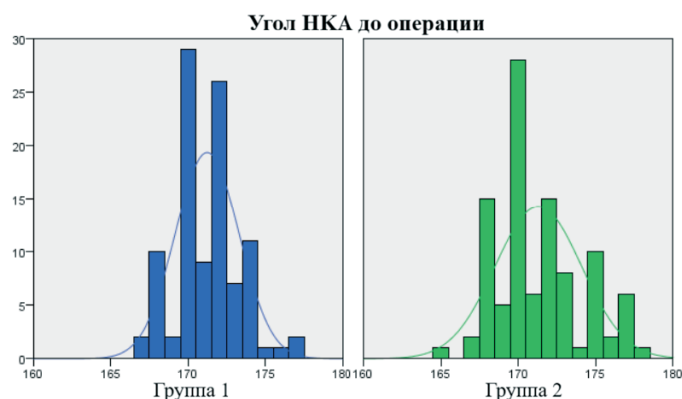


Рисунок 2. Распределение пациентов по углу НКА до операции

Уровень болевого синдрома по ВАШ в группе 1 – 70 (60; 80) баллов, в группе 2 – 70 (70; 80) баллов. По субшкале “Боль” WOMAC в группе 1 показатель составил 17 (16; 18) баллов, в группе 2 – 17 (16; 18) баллов. Субшкала “Скованность” WOMAC в группе 1 – 7 (7; 8) баллов, в группе 2 – 7 (7; 8) баллов. Значение по субшкале “Степень затруднения функции (СЗФ)” WOMAC в группе 1 – 58 (55; 62) баллов, в группе 2 – 62 (58; 64) баллов. Распределение по шкалам также отличается от нормального. Распределение пациентов в группах и сравнение показателей между группами представлены в таблице 1.

Таблица 1

Антропометрические показатели до операции

Показатель	Группа 1		Группа 2		Сравнение
	Значение	p*	Значение	p*	p**
Возраст (лет)	66,4±8,3	=0,2	66,59±8,6	=0,2	=0,865
ИМТ (кг/м ²)	30,28 (26,65; 34,21)	=0,2	33,91 (32,23; 36,93)	=0,048	<0,05
Угол НКА (°)	171 (170; 172)	<0,05	170 (170; 173)	<0,05	=0,666
ВАШ (балл)	70 (60; 80)	<0,05	70 (70; 80)	<0,05	=0,182
WOMAC (балл)	Боль 17 (16; 18)	<0,05	17 (16; 18)	<0,05	<0,05
	Скованность 7 (7; 8)	<0,05	7 (7; 8)	<0,05	<0,05
	СЗФ 58 (55,25; 62)	<0,05	62 (58; 64)	<0,05	<0,05

Примечание: * - критерий Колмогорова-Смирнова; ** - критерий Манна-Уитни

Во время операции у пациентов в обеих группах, при дистальной резекции медиального мыщелка бедра, взяты кусочки костей для выполнения морфологического анализа 67 гистологических препаратов, из которых 32 после традиционного эндопротезирования с применением осцилляторной пилы с толщиной лезвия 1,25 мм и 35 после РотЭКС при помощи цилиндрической фрезы диаметром 6,2 мм с ирригацией физиологическим раствором (рисунок 3). Во время мануальной ТЭКС 2 препарата были испорчены. Операции в Первом МГМУ им. И. М. Сеченова выполняли 3 хирурга, в БГМУ – 2 хирурга. Гистологические препараты костной ткани оценивал специалист гистолог-морфолог г. Уфы, который не знал из какой группы пациент.



а



б

Рисунок 3. Интраоперационный вид костей после: а - роботического опиления; б - ручного опиления

Образцы фиксировались в 10% нейтральном формалине при комнатной температуре в течение 24–48 часов, что обеспечивало сохранность тканевой архитектуры,

клеточных элементов и межклеточного матрикса (рисунок 4). После фиксации костные фрагменты подвергали декальцинации в растворе этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) до достижения оптимальной плотности, пригодной для микротомии.

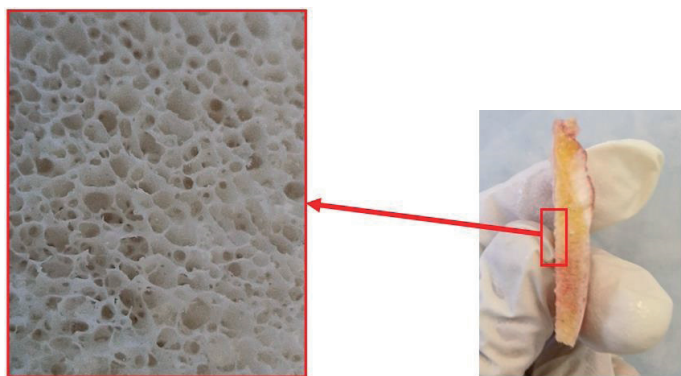


Рисунок 4. Костная ткань после роботической резекции медиального мыщелка бедренной кости: а - микрофото, увеличение x20; б - общий вид препарата

После завершения декальцинации материал подвергался гистологической проводке через возрастающие концентрации этанола для дегидратации, затем осуществлялось просветление в ксилоле с последующей заливкой в парафиновые блоки. Из парафиновых блоков изготавливались серийные гистологические срезы толщиной 3–5 мкм с использованием ротационного микротом, с последующим монтажом срезов на предметные стёкла. Для обзорной оценки морфологии костной ткани срезы окрашивались гематоксилином и эозином по стандартной методике: гематоксилин применяли для визуализации ядерных структур, эозин – для оценки цитоплазмы и костного матрикса.

Микроскопическое исследование проводили с использованием светового микроскопа при различных увеличениях. В ходе анализа оценивали сохранность микроархитектоники костной ткани, состояние трабекулярной и кортикальной кости, выраженность механической травматизации в виде микротрещин и микропереломов, жизнеспособность остеоцитов, наличие и протяжённость зон остеонекроза, а также изменения в костномозговых пространствах, включая воспалительную инфильтрацию и сосудистые реакции. Количественную оценку выявленных морфологических изменений выполняли методом морфометрии на цифровых микрофотографиях с использованием специализированного программного обеспечения, с последующим статистическим анализом результатов. Для статистического анализа использовали U-критерий Манна–Уитни с расчётом уровня значимости различий между группами. Статистически значимыми различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты

Сравнение пациентов в группах, у которых проводился гистологический анализ ($n=35$ в группе 1; $n=32$ в группе 2) с пациентами, которым данный анализ не проводился ($n=65$ в группе 1; $n=68$ в группе 2) не выявил значимых различий по возрасту, ИМТ, углу НКА, шкале WOMAC ($p > 0,05$), что позволило экстраполировать данные на всю выборку. Гистологическая оценка костной ткани выявила выраженные различия в характере и степени повреждений между исследуемыми группами. Макро- и микроскопически изменения локализовались в зоне хирургического воздействия и включали дефект костного матрикса, участки микропереломов и очаги термического воздействия, формируя суммарную зону альтерации различной протяжённости.

В образцах 1-й группы поверхность резекции была более ровной и однородной, с минимальными признаками макроскопического повреждения (рисунок 5). Линии резекции образцов 2-й группы характеризовались неровным рельефом с признаками механической травматизации костной поверхности. Отмечались участки уплотнения и локальной деформации костной ткани, что соответствовало зоне первичного дефекта (рисунок 6).

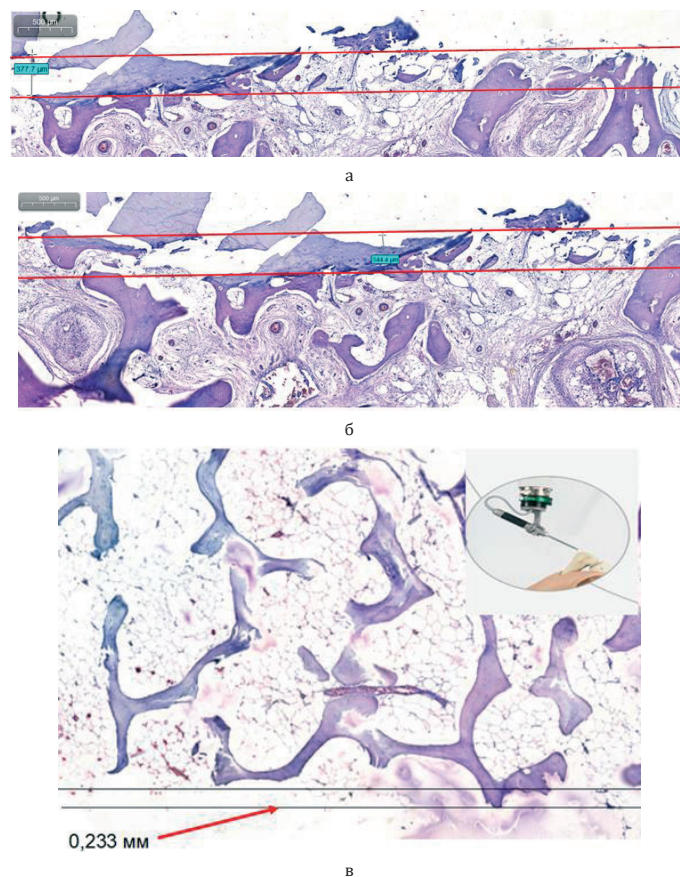
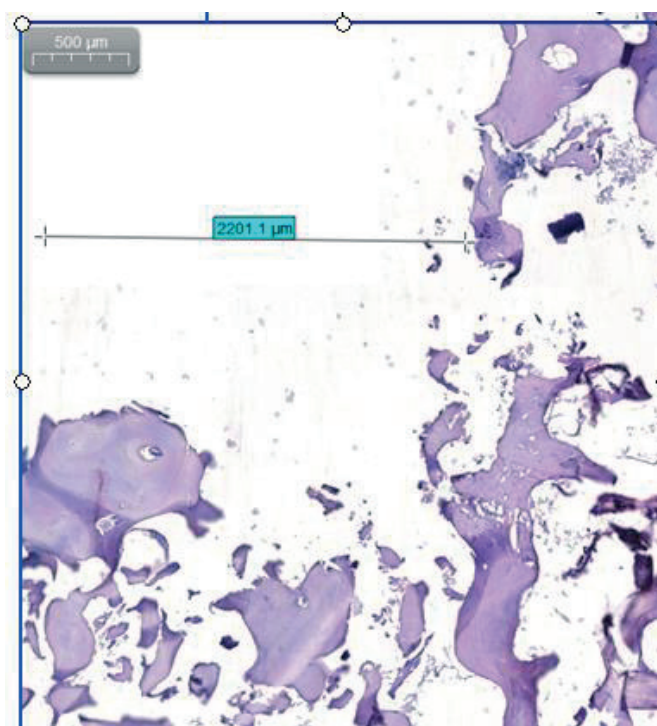


Рисунок 5. Гистологическая характеристика костной ткани после резекции ротационной фрезой. Микрофото. Окраска: гематоксилин, эозин. а - участок резекции бедренной кости область дефекта, увеличение x100; б - участок резекции бедренной кости область микропереломов, увеличение x100; в - участок резекции бедренной кости область ожога, увеличение x200



а



б

Рисунок 6. Гистологическая характеристика костной ткани после резекции осцилляторной пилой. Микрофото. Окраска: гематоксилин, эозин. Увеличение $\times 100$:

а - участки микропереломов трабекул; б - участок дефекта костной ткани

Количественный анализ показал, что протяжённость зоны дефекта во 2-й группе составила 1334 ± 120 мкм, что статистически значимо превышало соответствующий показатель в 1-й группе (339 ± 50 мкм, при уровне значимости $p < 0,05$). Гистологически данная зона демонстрировала более выраженную дезорганизацией ламеллярного строения во 2-й группе.

Зона микропереломов во 2-й группе была значительно шире и достигала 923 ± 80 мкм, тогда как в 1-й группе её протяжённость составляла в среднем 65 ± 18 мкм SD ($p < 0,01$). Микроскопически микропереломы проявлялись наличием множественных трещин костного матрикса, ориентированных преимущественно вдоль направления механического воздействия, с частичной фрагментацией костных трабекул. В образцах 1-й группы данные изменения носили ограниченный и очаговый характер, преимущественно в виде неполных переломов трабекул с сохранением ламеллярного рисунка.

Очаги термического повреждения также преобладали в 2-й группе, где их средняя протяжённость составила 521 ± 150 мкм, в то время как во 1-й группе данный показатель был значительно ниже при средних значениях 140 ± 30 мкм ($p < 0,01$). Гистологически некротические изменения характеризовались наличием пустых лакун, менее интенсивным накоплением красителя трабекулами и отсутствием ядер остеоцитов, и снижением клеточной плотности в прилежащих зонах (рисунок 7).

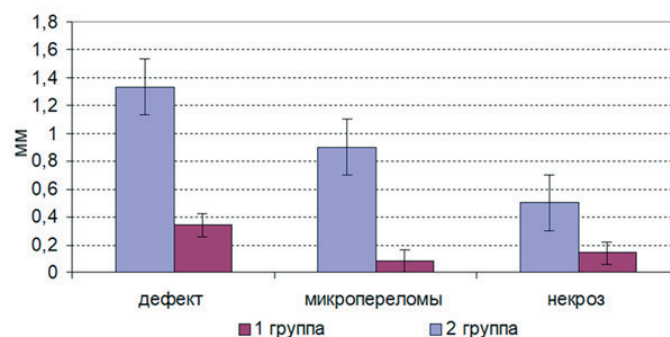


Рисунок 7. Средние значения ($M \pm SD$) параметров глубины костного дефекта, зоны микропереломов и некроза

При суммарной количественной оценке всех компонентов хирургической альтерации установлено, что общая глубина морфологических изменений во 2-й группе достигала 2778 ± 250 мкм, что в 4,97 раза превышало аналогичный показатель в 1-й группе (559 ± 100 мкм, $p < 0,05$) (рисунок 8). Микроскопически это соответствовало формированию широкой зоны механо-ишемического повреждения с постепенным переходом к относительно интактной костной ткани в глублежащих отделах.

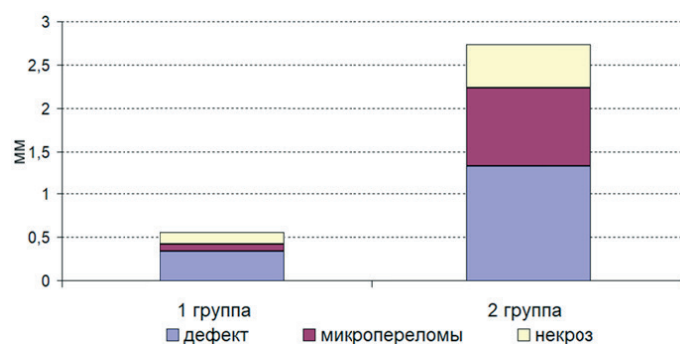


Рисунок 8. Сравнительная толщина суммарных механических повреждений и некротических изменений костной ткани в группах

Таким образом, количественная оценка морфологических данных свидетельствует о меньшей альтерации костной ткани у пациентов 1-й группы, что подтверждается статистически значимыми отличиями анализируемых параметров (таблица 2).

Таблица 2

Сравнение повреждений костной ткани в группах

Показатель (мкм)	1 группа (n=35), M ± SD	2 группа (n=32), M ± SD	p*
Дефект	339±50	1334±120	<0,05
Микропереломы	65±18	923±80	<0,01
Некроз	140±30	521±150	<0,01
Суммарно	559±100	2778±250	<0,05

Примечание: * - критерий Манна-Уитни

По рентгенологическим результатам изменения угла НКА после операции на протяжении 3 лет в группах отсутствует (критерий Манна-Уитни, $p < 0,05$). Отклонение до 1° в группе 1 отмечено в 33 % случаев, в группе 2 отклонение до 1° – 35 %; от 1° до 3° – в 41 %, более 3° – в 11 % случаев (рисунок 9).

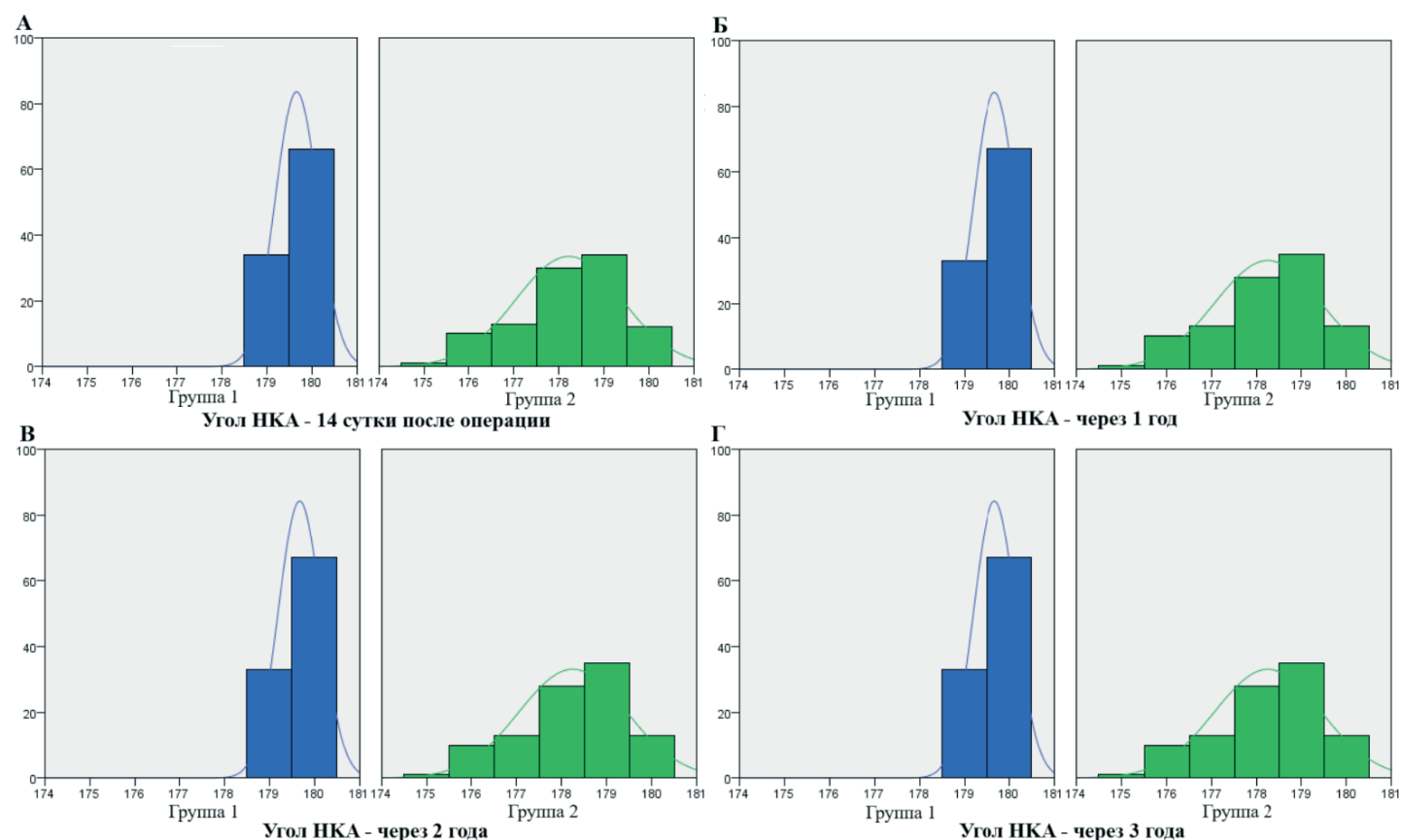


Рисунок 9. Динамика угла НКА в группах после операции: А - на 14 суток; Б - через 1 год; В - через 2 года, Г - через 3 года

Уровень болевого синдрома по ВАШ на 14 сутки после операции у пациентов группы 1 составил 60 (50; 70) баллов, в то время у пациентов группы 2 болевой синдром был выше – 70 (60; 70) баллов, что является статистически значимым, также через 2 года после операции имеется статистически значимое отличие с разницей медианы 10 баллов (критерий Манна-Уитни, $p < 0,05$) (таблица 3).

Таблица 3

Динамика уровня болевого синдрома по ВАШ (баллы)

Контрольный осмотр	Группа 1	Группа 2	p*
После операции	60 (50; 70)	70 (60; 70)	<0,05
Через 3 месяца	35 (30; 40)	40 (30; 40)	0,266
Через 6 месяцев	20 (10; 20)	20 (10; 30)	0,131
Через 1 год	0 (0; 10)	10 (0; 10)	0,085
Через 2 года	0 (0; 0)	0 (0; 10)	<0,05
Через 3 года	0 (0; 0)	0 (0; 0)	0,149

Примечание: * - критерий Манна-Уитни

При анализе субшкалы “WOMAC: Боль” статистически значимое отличие имеется через 3 года с момента операции с разницей в 1 балл ($p < 0,05$) (таблица 4).

Таблица 4

Динамика по субшкале WOMAC: Боль (баллы)

Контрольный осмотр	Группа 1	Группа 2	p*
После операции	15 (14,25; 16,75)	15 (14,25; 16)	0,103
Через 3 месяца	8 (7; 9)	8 (6; 9)	0,075
Через 6 месяцев	4 (3; 5)	3 (2; 4,75)	0,075
Через 1 год	2 (1; 3)	2 (1; 2)	0,083
Через 2 года	1 (1; 2)	1 (1; 2)	0,528
Через 3 года	1 (0; 1)	0 (0; 1)	<0,05

Примечание: * - критерий Манна-Уитни

Однако динамика по субшкале “WOMAC: Скованность” имеет статистическую разницу в группах на всем протяжении наблюдения, показывая лучшие результаты в группе 1 ($p < 0,05$) (таблица 5).

Таблица 5

Динамика по субшкале WOMAC: Скованность (баллы)

Контрольный осмотр	Группа 1	Группа 2	p*
После операции	6 (5; 6)	6 (6; 7)	<0,05
Через 3 месяца	3,5 (3; 4)	4 (4; 4)	<0,05
Через 6 месяцев	2 (1; 2)	2 (2; 3)	<0,05
Через 1 год	1 (1; 2)	2 (1; 2)	<0,05
Через 2 года	1 (0; 1)	1 (1; 2)	<0,05
Через 3 года	0 (0; 1)	1 (0; 1)	<0,05

Примечание: * - критерий Манна-Уитни

Статистически значимые отличия по субшкале “WOMAC: СЗФ” имеются через 14 суток, 3 месяца, 1 и 3 года после оперативного вмешательства (таблица 6).

Таблица 6

Динамика по субшкале WOMAC: СЗФ (баллы)

Контрольный осмотр	Группа 1	Группа 2	p*
После операции	52 (46; 55)	55 (54; 58)	<0,05
Через 3 месяца	36 (30,25; 40)	40 (37; 42)	<0,05
Через 6 месяцев	17 (14,25; 18)	17 (15; 20)	0,143
Через 1 год	13 (12; 14)	14 (12; 15)	<0,05
Через 2 года	9 (9; 10,75)	10 (9; 11)	0,203
Через 3 года	7 (6; 8)	8 (7; 9)	<0,05

Примечание: * - критерий Манна-Уитни

Поскольку исследование не было рандомизированным, по исходному уровню ИМТ и шкалы WOMAC группы различались ($p < 0,05$), проводился анализ по изменению показателей от исходного уровня (Δ WOMAC). Порог значимости после поправки Бонепфронти: $\alpha = 0,05 / 6 \approx 0,0083$.

Так по Δ WOMAC по субшкале “Боль” не выявлено различий между группами ни на одном сроке наблюдения. Статистическая значимость по субшкале “Скованность” имеется в раннем, на 14 сутки после операции, послеоперационном периоде в группе 1, в которой отражается более выраженная тенденция к уменьшению скованности ($p < 0,05$; $p < 0,0083$). В отдаленные сроки (1–3 года) выявлена устойчивая тенденция к улучшению функции в группе 1 при сравнении с группой 2 по субшкале “Степень затруднения функции” (таблица 7).

Таблица 7

Динамика по субшкале WOMAC (баллы)

Период сравнения	Боль				Скованность				Степень затруднения функции			
	Группа 1	Группа 2	p*	p**	Группа 1	Группа 2	p*	p**	Группа 1	Группа 2	p*	p**
После - до операции	-2 (-3;0)	-1 (-3;0,25)	0,702	0,768	-1 (-2; -1)	-1 (-2; 0)	<0,05		-6 (-10; -3,25)	-6 (-7,75; 3)	0,09	0,042
Через 3 мес. - до операции	-10 (-11; -8)	-9 (-11; -8)	0,65	0,575	-4 (-4; -3)	-3 (-4; -3)	<0,05	0,108	-21 (-26,75; -18)	-21 (-25,75; -18)	0,637	0,615
Через 6 мес. - до операции	-13,5 (-15; -12)	-13 (-15; -12)	0,639	0,601	-5 (-6; -5)	-5 (-5; -4)	<0,05	0,109	-43 (-46; -38)	-44 (-47; -40)	0,119	0,01
Через 1 год - до операции	-15 (-17; -14)	-15 (-16; -14)	0,287	0,846	-6 (-7; -5)	-6 (-6; -5)	0,449	1	-46 (-49; -43)	-47 (-50; -44,25)	<0,05	
Через 2 года - до операции	-16 (-17; -15)	-16 (-17; -14)	0,098	0,389	-6 (-7; -6)	-6 (-7; -5)	0,295	0,7	-49 (-52; -45)	-51 (-54; -48)	<0,05	
Через 3 года - до операции	-17 (-18; -16)	-1 (-18; -15)	0,375	0,973	-7 (-7; -6)	-7 (-7; -6)	0,596	0,793	-52 (-56; -49,25)	-53 (-56; -51)	0,058	<0,0083

Примечание: * - критерий Манна-Уитни; ** - поправка Бонферрони

Наблюдаемая динамика сравниваемых двух методик эндопротезирования показывает хорошие клинические результаты на протяжении всего наблюдения, однако в группе роботизированной артропластики в раннем послеоперационном периоде показатель скованности меньше, а функция коленного сустава лучше, но разница медиан в 1–2 балла не дает выраженного клинического эффекта.

Клинический случай №1 из группы № 1

Пациентка Р. 46 лет госпитализирована в 2022 году в УКБ №1 отделения травматологии, ортопедии и патологии суставов для проведения планового оперативного вмешательства. Пациентка отмечала жалобы на боль в области левого коленного сустава в течение 2 лет, ограничение движений в суставе. Лечилась консервативно по месту жительства с диагнозом: идиопатический левосторонний гонартроз 3 стадии по Kellgren-Lawrence, варусная деформация, комбинированная контрактура левого коленного сустава, болевой синдром. ИМТ пациентки составил 27,2 кг/м², угол НКА – 172°, уровень болевого синдрома по ВАШ – 70 баллов, оценка по шкале WOMAC: боль – 18 баллов, скованность – 6, степень затруднения функции – 60 баллов. Выполнено роботизированное тотальное эндопротезирование левого коленного сустава. Спустя 3 года, пациентка обратилась на консультацию для планового динамического осмотра (рисунок 10). Болевой синдром по ВАШ равен 0 баллов, по шкале WOMAC баллы были следующие: боль – 1 балл, скованность – 1 балл, степень затруднения функции – 7 баллов.

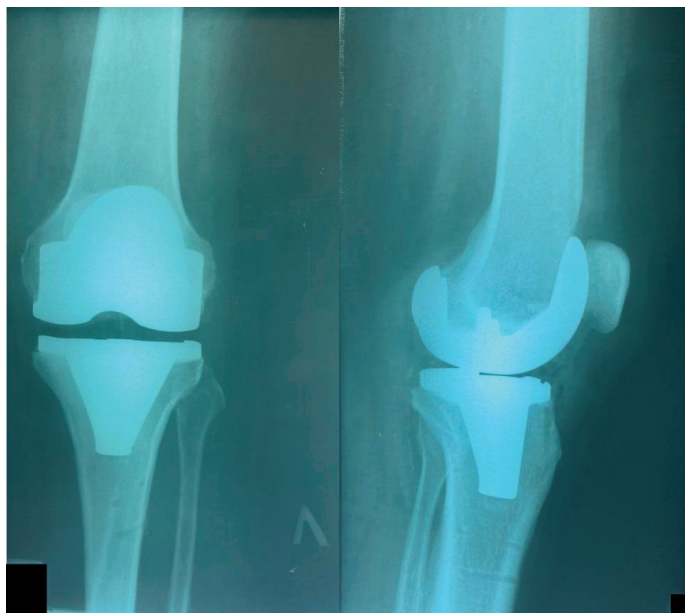


а

б



в



г

Рисунок 10. Клинический случай №1, группа 1. Внешний вид пациентки Р. 46 лет: а - вид спереди; б - вид сбоку (разгибание); в - вид сбоку (сгибание); г - рентгенография левого коленного сустава в прямой и боковой проекциях

Клинический случай № 2 из группы № 2

Пациентка Б. 70 лет госпитализирована в 2022 году в УКБ №1 отделения травматологии, ортопедии и патологии суставов для проведения планового оперативного вмешательства в объеме тотального эндопротезирования левого коленного сустава. Боль в коленных суставах беспокоила пациентку в течении 5–7 лет с разной интенсивностью. Лечилась консервативно по месту жительства с диагнозом: двусторонний идиопатический гонартроз 3–4 стадии по Kellgren-Lawrence с преимущественным поражением левого коленного сустава, комбинированная контрактура левого коленного сустава, болевой синдром (80 баллов по ВАШ). ИМТ пациентки составил 28,41 кг/м², угол НКА – 168°, оценка по шкале WOMAC: боль – 18 баллов, скованность – 8, степень затруднения функции – 65 баллов. Спустя 3 года, пациентка повторно госпитализировалась для планового оперативного лечения контралатерального коленного сустава (рисунок 11). Анкетирование после операции на левом коленном суставе следующее: болевой синдром по ВАШ равен 0 баллов, по шкале WOMAC: боль – 0 баллов, скованность – 1 балл, степень затруднения функции – 7 баллов.



а



б



Рисунок 11. Клинический случай №2, группа 2. Внешний вид пациентки Б. 70 лет: а - вид спереди; б - вид сбоку (разгибание и сгибание); в - рентгенография левого коленного сустава в прямой и боковой проекциях

Обсуждение

Результаты анализа гистологического материала в нашем исследовании показывают, что при роботизированной обработке костной ткани толщина некроза была в 3,7 раза, дефектов в 3,9 раза и микропереломов в 14,2 раза меньше по сравнению с ручной резекцией осцилляторной пилой. Объяснить это можно тем, что скорость вращения самой фрезы составляет 80000 оборотов в минуту, и во время её работы происходит постоянная ирригация физиологическим раствором, скорость которой можно регулировать. А также более жесткой фиксации нижней конечности пациента к роботу во время операции. Однако разница гистологических картин в нашем исследовании на клинические результаты не повлияла. Возможное отличие поверхности кости кроется в методе заточки режущих поверхностей инструментов, что требует дальнейшего изучения.

На кадаверных материалах S. Kreuzer и соав. (2022 г.) проанализировали костную поверхность сканирующей электронной микроскопией после роботизированной резекции автономной системой TSolution One. Поверхности среза костей имели среднюю шероховатость $0,16 \pm 0,06$ мм, дистальная плоскостность бедра – $0,11 \pm 0,03$ мм, больше-

берцовая плоскостность – $0,20 \pm 0,02$ мм. Промежуток между костью и имплантатом, рассчитанный по отклонениям пяти поверхностей среза бедренной кости от номинальных плоскостей среза, составлял менее 1 мм для 97,9 % поверхности, варьируясь от 94,2 % для задней поверхности до 100 % для дистальной поверхности [18]. Метод сканирующей электронной микроскопии – это еще один точный инструмент, предназначенный для получения изображения поверхности объекта с высоким пространственным разрешением, но в нашем исследовании он не был применен.

Luis E. Delgadillo и соав. (2020 г.) в своем исследовании провели анализ поверхности большеберцовой кости после ручной резекции на кадаверных материалах при помощи лазерной сканирующей системы и с последующим созданием трехмерной компьютерной модели поверхности, а также оценивался контакт кости с тибиальным компонентом бесцементной фиксации. Средняя плоскость поверхности составила $1,15 \pm 0,10$ мм (диапазон 0,56–1,81). Исследователями найдена закономерность, что в центральной зоне, в зоне крепления передней и задней крестообразных связок губчатая костная ткань была ниже на 0,2–0,5 мм плоскости наилучшего прилегания, в то время в боковых зонах уровень был выше на 0,0–0,3 мм. При оценке положения импланта, площадь контакта поверхностей между большеберцовым компонентом и костью составил 79 ± 3 % за счет пластической деформации обнаженной губчатой кости при остеотомии, хотя контакт варьировался от 56 % до 94 % [16]. В нашем исследовании гистологически зона дефекта, при роботизированном опиловании, имела в 3,9 раза менее выраженную дезорганизацией ламеллярного строения.

Как было описано ранее, что погрешность ручной резекции осцилляторной пилой во фронтальной плоскости может быть в диапазоне $1,5^\circ$ – $2,0^\circ$, а в сагиттальной в диапазоне $3,0^\circ$ – $4,0^\circ$, авторы отмечают, что ошибка во время резекции при повторном опиловании может увеличиться в среднем до 30,1 % во фронтальной и до 39,5 % в сагиттальной плоскости даже с использованием направляющего резекционного блока закрытого типа [17]. В другом исследовании авторы утверждают, что на погрешность опилования влияет люфт из-за несоответствия толщины пилищающего полотна и прорезью направляющего резекционного блока [19]. Во время костной резекции происходит потеря металла от осциллирующего полотна до 1,13 мг массы, что может влиять на ускоренный износ эндопротеза [20]. Хотя данные исследования имеют давность публикации более 25 лет, однако по сей день во время ТЭКС используются направляющие резекционные блоки с разными вариантами их фиксации к кости.

Во время резекции, между костной поверхностью и резекционным инструментом возникает сила трения с выделением тепла, что может способствовать термическому некрозу костной ткани. В исследовании Tawy G.F. и соав. (2016 г.), подтверждается, что ирригация физиологическим раство-

ром препятствует развитию остеонекроза при выполнении опилов [21]. Londhe S. B. и соав. (2025 г.) провели сравнение термического повреждения кости между осциллирующей пилой и роботизированной фрезой. Процент погибших остеоцитов после костной резекции пилой составил 40,3 % против обработки фрезой – 46,5 % ($p=0,6309$), а минимальная глубина обнаружения жизнеспособных остеоцитов была $25,5\pm 3,5$ мкм и $27,1\pm 3,6$ мкм в группах ТЭКС и РоТЭКС соответственно ($p=0,091$). Авторы пришли к выводу, что оба хирургических метода сопоставимы по термическому воздействию на костную ткань [22].

Ran T. и соав. (2022 г.) апробировали новый способ остеотомии для ТЭКС ультра-импульсной CO_2 лазерной системой в эксперименте на животном в сравнении с пилой. При сканирующей электронной микроскопии и гистологическом анализе авторы обнаружили более гладкую поверхность костной ткани, отсутствие механических и термических повреждений губчатой и кортикальной ткани, а также более активное присоединение мезенхимальных стволовых клеток в зоне воздействия лазером. Размер механического повреждения пилой составил 243 ± 44 мкм, глубина термического повреждения – 44 ± 10 мкм, а объем костной лакуны – $55,6\pm 7$ % [23].

По результатам нашего трехлетнего наблюдения групп отмечается положительная динамика после тотальной артропластики коленного сустава при помощи роботической установки, так и традиционной техникой и имеется статистически значимая разница с разницей медиан 1–2 балла по шкале WOMAC, но, возможно, не имеет минимально важного клинического различия (MCID – Minimal Clinically Important Difference) [24–26].

Alrajeb R. и соав. (2024 г.) в систематическом обзоре, в котором сравнивается роботизированная методика эндопротезирования с традиционной, сообщают об отсутствии статистической разницы по шкале KSS в период наблюдения от 24 месяцев до 47 месяцев, по шкале WOMAC через 1 и 3 года и в амплитуде движений оперированного коленного сустава. Однако восстановление механической оси нижней конечности достигается лучше при РоТЭКС со статистически значимой разницей [5], что также подтверждается в нашем исследовании.

Опубликованное рандомизированное контролируемое исследование в 2020 году, в котором приняли участие 1406 пациентов, из которых были доступны для наблюдения 1348 пациентов, авторы провели сравнение двух методик ТЭКС на протяжении 13 ± 5 лет. В ходе исследования отмечено, что выживаемость эндопротеза через 15 лет в обеих группах составила 98 %, а отклонение механической оси на $3-5^\circ$ не повлияло на скорость асептического расшатывания (диапазон отклонения $0-3^\circ$ – 14 %, $3-5^\circ$ – 4 % в группе РоТЭКС; $0-3^\circ$ – 26 %, $3-5^\circ$ – 6 % в группе стандартного ТЭКС). Различий по частоте возникновения осложнений,

асептического расшатывания, общей выживаемости и функциональных показателей не наблюдалось [6].

Меньшая степень альтерации костной ткани способствует более равномерному и предсказуемому проникновению костного цемента в трабекулярную структуру кости.

Сохранённая микроархитектоника, отсутствие обширных зон микропереломов и некроза обеспечивают оптимальную пористость костной ткани, что позволяет цементу инфильтрировать трабекулярные пространства без формирования зон избыточного скопления или, напротив, недостаточного заполнения. Это создаёт полноценный цементно-костный интерфейс и улучшает первичную фиксацию импланта [27, 28].

Адекватное проникновение цемента в жизнеспособную костную ткань повышает механическую устойчивость цементной мантии. При минимальной альтерации кости снижается риск формирования микрополостей, трещин и слабых зон в области контакта цемента с костью, которые в дальнейшем могут становиться очагами концентрации напряжений. В результате уменьшается вероятность ранней микроподвижности импланта и развития цементной диссоциации под воздействием функциональных нагрузок [29, 30, 31, 32].

Кроме того, ограниченная травматизация костной ткани снижает выраженность локальной воспалительной реакции и последующей резорбции кости вокруг цементной мантии. Это способствует долговременному сохранению цементно-костного контакта и стабильному распределению нагрузок в перимплантной зоне. В совокупности данные факторы обеспечивают более надёжную фиксацию импланта, снижают риск асептической нестабильности и потенциально повышают срок службы импланта [33, 34].

В нашем исследовании есть недостатки: отсутствовали пациенты с вальгусной деформацией, не проводился гистологический анализ костной ткани у пациентов с подтвержденным остеопорозом [35] или выраженным локальным остеосклерозом, а также оценка наличия или отсутствия металла, оставшегося после использования режущих инструментов. Данные факты определяют направления дальнейших исследований.

Вывод

Гистологически РоТЭКС характеризуется меньшей степенью повреждения и меньшей шероховатостью поверхности костной ткани в 4,97 раза ($p<0,05$), чем при традиционном эндопротезировании коленного сустава, что не влияет на клинические трехлетние результаты.

Список литературы / References:

1. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Рукин Я.А., Грицюк А.Андр., Гавловский М.Я., Бердиев М. Рандомизированное двойное контролируемое сравнительное исследование точности выравнивания механической оси нижней конечности. *Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко*. 2023;4(3):40-47. <https://doi.org/10.26907/2542-0215.2023.4.3.40-47>.

- org/10.53652/2782-1730-2023-4-3-40-47 [A. V. Lychagin, A. A. Gritsyuk, Ya. A. Rukin, M. P. Elizarov, A. Andr. Gritsyuk, M. Ya. Gavlovsky, M. Berdiyev. Randomized double controlled study of the accuracy of lower limb mechanical axis alignment. *Medical Bulletin of the Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko*, 2023;4(3):40-47. <https://doi.org/10.53652/2782-1730-2023-4-3-40-47> (In Russ.)]
2. 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>. EDN: QKZVVF. [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> (In Russ.)]
3. Stulberg B.N., Zadzilka J.D. Active robotic technologies for total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021 Dec;141(12):2069-2075. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04044-2>. Epub 2021 Jul 14. PMID: 34259928.
4. Stulberg B.N., Zadzilka J.D., Kreuzer S., Kissin Y.D., Liebelt R., Long W.J., Campanelli V. Safe and effective use of active robotics for TKA: Early results of a multicenter study. *J Orthop*. 2021 Jul 23;26:119-125. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2021.07.001>. PMID: 34393411; PMCID: PMC8346331.
5. Alrajeb R., Zarti M., Shuia 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 Apr;34(3):1333-1343. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03798-2>. Epub 2023 Dec 22. PMID: 38133653; PMCID: PMC10980635.
6. Kim Y.H., Yoon S.H., Park J.W. Does Robotic-assisted TKA Result in Better Outcome Scores or Long-Term Survivorship Than Conventional TKA? A Randomized, Controlled Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2020 Feb;478(2):266-275. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000916>. Erratum in: *Clin Orthop Relat Res*. 2021 Jun 1;479(6):1407. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000001813>. PMID: 31389889; PMCID: PMC7438149.
7. Khlopas A., Sodhi N., Hozack W.J., Chen A.F., Mahoney O.M., Kinsey T., Orozco F., Mont M.A. Patient-Reported Functional and Satisfaction Outcomes after Robotic-Arm-Assisted Total Knee Arthroplasty: Early Results of a Prospective Multicenter Investigation. *J Knee Surg*. 2020 Jul;33(7):685-690. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1684014>. Epub 2019 Apr 8. PMID: 30959541.
8. Kayani B., Konan S., Tahmassebi J., Rowan F.E., Haddad F.S. An assessment of early functional rehabilitation and hospital discharge in conventional versus robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2019 Jan;101-B(1):24-33. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-0564.R2>. PMID: 30601042.
9. Feng S., Xing P., Qu J., Guo J., Song J., Li H., Jiang H., Pi H., Huang T. Robotic-assisted total knee arthroplasty achieves superior early postoperative outcomes compared to conventional techniques in patients with severe varus. *J Exp Orthop*. 2025 Oct 28;12(4):e70468. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70468>. PMID: 41164322; PMCID: PMC12560254.
10. 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 Sep;14(9):1972-1980. <https://doi.org/10.1111/os.13323>. Epub 2022 Jul 18. PMID: 35848154; PMCID: PMC9483055.
11. Held M.B., Gazgalis A., Neuwirth A.L., Shah R.P., Cooper H.J., Geller J.A. Imageless robotic-assisted total knee arthroplasty leads to similar 24-month WOMAC scores as compared to conventional total knee arthroplasty: a retrospective cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022 Aug;30(8):2631-2638. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06599-4>. Epub 2021 May 7. PMID: 33961067.
12. Schroer W.C., Berend K.R., Lombardi A.V., Barnes C.L., Bolognesi M.P., Berend M.E., Ritter M.A., Nunley R.M. Why are total knees failing today? Etiology of total knee revision in 2010 and 2011. *J Arthroplasty*. 2013 Sep;28(8 Suppl):116-9. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.04.056>. Epub 2013 Aug 15. PMID: 23954423.
13. Dragosloveanu S., Petre M.A., Cretu B., Mihailescu A.A., Cergan R., Scheau C. Etiology of Total Knee Arthroplasty Revisions: A Two-Decade Institutional Perspective. *Cureus*. 2024 Feb 29;16(2):e55263. <https://doi.org/10.7759/cureus.55263>. PMID: 38425332; PMCID: PMC10904024.
14. Jiang Y., Jia T., Wooley P.H., Yang S.Y. Current research in the pathogenesis of aseptic implant loosening associated with particulate wear debris. *Acta Orthop Belg*. 2013 Feb;79(1):1-9. PMID: 23547507.
15. Cherian J.J., Jauregui J.J., Banerjee S., Pierce T., Mont M.A. What Host Factors Affect Aseptic Loosening After THA and TKA? *Clin Orthop Relat Res*. 2015 Aug;473(8):2700-9. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4220-2>. Epub 2015 Feb 26. PMID: 25716213; PMCID: PMC4488212.
16. Delgadillo L.E., Jones H.L., Ismaili S.K., Han S., Noble P.C. How Flat Is the Tibial Osteotomy in Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2020 Mar;35(3):870-876. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.10.007>. Epub 2019 Oct 9. PMID: 31694778.
17. Plaskos C., Hodgson A.J., Inkpen K., McGraw R.W. 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.
18. 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/10.1080/24699322.2022.2080116>. PMID: 35635837.
19. Otani T., Whiteside L.A., White S.E. Cutting errors in preparation of femoral components in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 1993 Oct;8(5):503-10. PMID: 8245995.
20. Gotterson P.R., Nusem I., Percy M.J., Crawford R.W. Metal debris from bony resection in knee arthroplasty--is it an issue? *Acta Orthop*. 2005 Aug;76(4):475-80. <https://doi.org/10.1080/17453670510041448>. PMID: 16195061.
21. Tawy G.F., Rowe P.J., Riches P.E. Thermal Damage Done to Bone by Burring and Sawing With and Without Irrigation in Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016 May;31(5):1102-8. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.11.002>. Epub 2015 Nov 10. PMID: 26718777.
22. Londhe S.B., Antao N., Shah R.V., Ali S.M., Rajendran A. Comparison of the thermal bone damage done by the oscillating saw and bone mill burr during total knee arthroplasty. *J Clin Orthop Trauma*. 2025 Mar 28;65:102992. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2025.102992>. PMID: 40242022; PMCID: PMC11999630.
23. Ran T., Lin C., Ma T., Qin Y., Li J., Zhang Y., Xu Y., Li C., Wang M.. Ultra-Pulsed CO₂ Laser Osteotomy: A New Method for the Bone Preparation of Total Knee Arthroplasty. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Apr 29;10:858862. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.858862>. PMID: 35573227; PMCID: PMC9096707.

24. Kim M.S., Koh I.J., Choi K.Y., Sung Y.G., Park D.C., Lee H.J., In Y. The Minimal Clinically Important Difference (MCID) for the WOMAC and Factors Related to Achievement of the MCID After Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy for Knee Osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2021 Jul;49(9):2406-2415. <https://doi.org/10.1177/03635465211016853>. Epub 2021 Jun 11. PMID: 34115533.

25. Messier S.P., Beavers D.P., Queen K., Mihalko S.L., Miller G.D., Losina E., Katz J.N., Loeser R.F., DeVita P., Hunter D.J., Newman J.J., Quandt S.A., Lyles M.F., Jordan J.M., Callahan L.F. Effect of Diet and Exercise on Knee Pain in Patients With Osteoarthritis and Overweight or Obesity: A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2022 Dec 13;328(22):2242-2251. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.21893>. PMID: 36511925; PMCID: PMC9856237.

26. Silva M.D.C., Perriman D.M., Fearon A.M., Couldrick J.M., Scarvell J.M. Minimal important change and difference for knee osteoarthritis outcome measurement tools after non-surgical interventions: a systematic review. *BMJ Open.* 2023 May 18;13(5):e063026. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-063026>. PMID: 37202126; PMCID: PMC10201231.

27. Mann K.A., Miller M.A., Amendola R.L., Cyndari K.I., Horton J.A., Damron T.A., Oest M.E. Early Changes in Cement-Bone Fixation Using a Novel Rat Knee Replacement Model. *J Orthop Res.* 2019 Oct;37(10):2163-2171. <https://doi.org/10.1002/jor.24390>. Epub 2019 Jul 8. PMID: 31206747; PMCID: PMC6739174.

28. Norton M.R., Eyres K.S. Irrigation and suction technique to ensure reliable cement penetration for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2000 Jun;15(4):468-74. <https://doi.org/10.1054/arth.2000.2965>. PMID: 10884207.

29. Zak S.G., Tang A., Pivec R., Meftah M., Austin M.S., Schnaser E., Schwarzkopf R. The effects of tourniquet on cement penetration in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023 Jun;143(6):2877-2884. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04470-w>. Epub 2022 May 13. PMID: 35552801.

30. Ko D.O., Lee S., Kim K.T., Lee J.I., Kim J.W., Yi S.M. Cement Mantle Thickness at the Bone Cement Interface in Total Knee Arthroplasty: Comparison of PS150 RP and LPS-Flex Knee Implants. *Knee Surg Relat Res.* 2017 Jun 1;29(2):115-121. <https://doi.org/10.5792/ksrr.16.013>. PMID: 28545176; PMCID: PMC5450579.

31. Гиноян А.О., Минасов Т.Б., Хайрутдинов Р.М., Якупова Е.Р., Мухаметзянова Э.И., Аслямов Н.Н., Саубанов Р.А., Амелидинов Д.Р. Особенности артропластики при двустороннем гонартрозе. *Креативная хирургия и онкология.* 2019;9(3):194-198. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-3-194-198> [Ginoyan A.O., Minasov T.B., Khairutdinov R.F., Yakupova E.R., Mukhametzyanova E.I., Aslyamov N.N., Saubanov R.A., Ameldinov D.R. Features of Arthroplasty in Bilateral Knee Osteoarthritis. *Creative Surgery and Oncology.* 2019;9(3):194-198. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-3-194-198> (In Russ.)]

32. Комплексная реабилитация после повреждений коленного сустава. *Гений ортопедии.* 2010;(4). С. 29-31. [T.B. Minasov, L.R. Filatova, I.B. Minasov Complex rehabilitation after the knee injuries. *Genij Ortopedii.* 2010;(4).29-31 (In Russ.)]

33. Goodheart J.R., Miller M.A., Oest M.E., Mann K.A. Trabecular resorption patterns of cement-bone interlock regions in total knee replacements. *J Orthop Res.* 2017 Dec;35(12):2773-2780. <https://doi.org/10.1002/jor.23586>. Epub 2017 May 15. PMID: 28452065; PMCID: PMC5659954.

34. Cawley D.T., Kelly N., McGarry J.P., Shannon F.J. Cementing techniques for the tibial component in primary total knee replacement.

Bone Joint J. 2013 Mar;95-B(3):295-300. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.95B3.29586>. PMID: 23450010.

35. Minasov T.B., Gasser J.A., Matveev A.L., Trubin A.R., Gafarov I.R., Minasov I.B., Biswas S. Possibilities of hip arthroplasty on the background of impaired bone metabolism // *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences.* 2015. Vol. 14. No. 6-3. P. 53-57.

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор мед. наук, директор клиники, профессор, Заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, e-mail: dr.lychagin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2202-8149;

Грицюк Андрей Анатольевич – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, 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, e-mail: elizarovm07@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4811-5718;

ORCID:0000-0002-8607-4347;

Сметанин Сергей Михайлович – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com,

ORCID:0000-0002-8607-4347;

Минасов Булат Шамильевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, SPIN-код: 2047-8868, AuthorID: 383849, e-mail: b.minasov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1733-9823;

Минасов Тимур Булатович – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, e-mail: m004@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1916-3830;

Якупова Екатерина Ришатовна – ассистент кафедры травматологии, ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, e-mail: katty.yakupova1@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5496-0766, SPIN-код: 1617-3278, AuthorID: 997774;

Глазунов Станислав Юрьевич – аспирант кафедры травматологии, ортопедии. ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, Sglazunov87@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1583-473X, SPIN-код: 9304-4799, AuthorID: 995644;

Кабилов Рахимбай Джалолович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, e-mail: rakhimbai.kabirov.96@inbox, ORCID: 0000-0002-8886-3390, SPIN-код: 7643-2289, AuthorID: 1117568;

Саубанов Радмир Амирович – кандидат мед. наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, SPIN-код: 9848-9081, AuthorID: 968801, saubanov.radmir@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8974-6188;

Гавловский Максим Ярославович – кандидат мед. наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, e-mail: gavlovsky-m@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-8854-6843.

Автор, ответственный за переписку: Гавловский Максим Ярославович

Information about authors:

Alexey V. Lychagin – Director of the Clinic, Head of the Department I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor. PhD in Medical Science, e-mail: clinic@travma.moscow. ORCID: 0000-0002-2202-8149;

Andrey A. Gritsyuk – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University. The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor. PhD in Medical Science, e-mail: drgaamma@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4202-4468;

Mikhail P. Elizarov – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery PhD, assistant professor of the Department, e-mail: elizarovm07@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4811-5718;

Sergey M. Smetanin – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Dr. of Sci.(Med.), professor, e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8607-4347;

Bulat Sh. Minasov – Head of the Department «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, Professor. PhD in Medical Science. SPIN-code: 2047-8868, AuthorID: 383849, e-mail: b.minasov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1733-9823;

Timur B. Minasov – «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, Professor. PhD in Medical Science. e-mail: m004@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1916-3830;

Ekaterina R. Yakupova – «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, assistant of the Department, e-mail: katya.yakupova1@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5496-0766, SPIN-код: 1617-3278, AuthorID: 997774;

Stanislav Y. Glazunov – «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, post-graduate student. Sglazunov87@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1583-473X, SPIN-код: 9304-4799, AuthorID: 995644;

Rahimbaj D. Kabirov – «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, post-graduate student. e-mail: rakhimbai.kabirov.96@inbox, ORCID: 0000-0002-8886-3390, SPIN-код: 7643-2289, AuthorID: 1117568;

Radmir A. Saubanov – «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. The Department of Traumatology, Orthopedics, PhD, assistant of the Department. SPIN-код: 9848-9081, AuthorID: 968801, saubanov.radmir@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8974-6188;

Maxim Ya. Gavlovsky – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery PhD, assistant of the Department, e-mail: gavlovsky.m@yandex.ru. ORCID: 0009-0002-8854-6843

Corresponding author: Maxim Ya. Gavlovsky

УДК 617.3

© Лычагин А.В., Калинин Е.Б., Азаркин К.М., Гаркави А.В., Сметанин С.М., Целищева Е.Ю., Жарова Т.А., Бабкова А.А., Чабдарханова Е.Д., Гончарук Ю.Р., Кавалерский Г.М., 2026

Оригинальное исследование / Original research



ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИИ КРЕСТООБРАЗНЫХ СВЯЗОК КОЛЕННОГО СУСТАВА

А.В. ЛЫЧАГИН, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, К.М. АЗАРКИН, А.В. ГАРКАВИ, С.М. СМЕТАНИН, Е.Ю. ЦЕЛИЩЕВА, Т.А. ЖАРОВА, А.А. БАБКОВА, Е.Д. ЧАБДАРХАНОВА, Ю.Р. ГОНЧАРУК, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ

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

Аннотация

Обоснование. Коленный сустав является самым крупным и сложным по строению и биомеханике суставом, в связи с этим наиболее уязвимым звеном опорно-двигательной системы. На долю травм коленного сустава приходится около 50 % всех травм суставов в теле человека. Наиболее часто встречаются повреждения капсульно-связочного аппарата коленного сустава, что определяет актуальность данной проблемы. Своевременное распознавание наличия и степени тяжести патологии крестообразных связок важно в определении выбора лечебной тактики, включая их хирургическую реконструкцию.

Цель исследования. Определение возможности диагностического применения метода спектроскопии диффузного отражения для выявления несостоятельности крестообразных связок коленного сустава.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись экспланты крестообразных связок коленного сустава, полученные у пациентов, которым выполнялось плановое первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава. Забор осуществляли вместе с костными блоками в местах прикреплений крестообразных связок. В предоперационном периоде всем пациентам выполняли магнитно-резонансную томографию с оценкой состояния крестообразных связок по шкале ACLOAS. Состоятельность связок оценивали до забора, используя классификацию AAOS. Впоследствии экспланты подвергали исследованию с помощью метода спектроскопии диффузного отражения в ближнем (800–1050 нм) и среднем (1050–1800 нм) инфракрасных диапазонах.

Результаты. В ближнем инфракрасном диапазоне при длине волны 910 нм обнаружены статистически значимые различия ($p < 0,05$) между полученными показателями по всем трем степеням тяжести поражений связок в соответствии с классификацией AAOS. В среднем инфракрасном диапазоне в диапазоне 1200–1050 нм зафиксирована статистически высокосignificant разница между средними показателями I и II степени поражений связки по AAOS ($p < 0,0001$).

Заключение. Анализ данных показал, что спектроскопия диффузного отражения света является перспективным диагностическим инструментом для дифференцировки стадий патологии крестообразных связок коленного сустава.

Ключевые слова: коленный сустав; передняя крестообразная связка; задняя крестообразная связка; спектроскопия диффузного отражения; биофотоника.

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., Калинин Е.Б., Азаркин К.М., Гаркави А.В., Сметанин С.М., Целищева Е.Ю., Жарова Т.А., Бабкова А.А., Чабдарханова Е.Д., Гончарук Ю.Р., Кавалерский Г.М. Проспективное исследование возможности применения спектроскопии диффузного отражения для диагностики патологии крестообразных связок коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1: 22–29.

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

PROSPECTIVE STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY FOR THE DIAGNOSIS OF PATHOLOGY OF THE CRUCIATE LIGAMENTS OF THE KNEE JOINT

ALEXEY V. LYCHAGIN, EUGENE B. KALINSKY, KIRILL M. AZARKIN, ANDREY V. GARKAVI, SERGEY M. SMETANIN, EVGENIYA YU. TSELISCHEVA, TATIANA A. ZHAROVA, ANNA A. BABKOVA, ELIZAVETA D. CHABDARHANOVA, YULIYA R. GONCHARUK, GENNADY M. KAVALERSKY

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

Introduction. The knee joint is the largest and most structurally and biomechanically complex joint, which makes it the most vulnerable component of the musculoskeletal system. Injuries to the knee joint account for approximately 50% of all joint injuries in the human body. Damage to the capsuloligamentous apparatus of the knee joint is the most common, which determines the relevance of this problem. Timely recognition of the presence and severity of cruciate ligament pathology is essential for determining the optimal treatment strategy, including surgical reconstruction.

Aim of the study. To assess the feasibility of using diffuse reflectance spectroscopy as a diagnostic method for detecting insufficiency of the knee joint cruciate ligaments.

Materials and methods. The study objects were explanted cruciate ligaments of the knee joint obtained from patients undergoing elective primary total knee arthroplasty. Tissue harvesting was performed together with bone blocks at the sites of cruciate ligament attachment. In the preoperative period, all patients underwent magnetic resonance imaging with assessment of cruciate ligament status using the ACLOAS scale. Ligament integrity was evaluated prior to harvesting using the AAOS classification. Subsequently, the explants were examined using diffuse reflectance spectroscopy in the near-infrared (800–1050 nm) and mid-infrared (1050–1800 nm) spectral ranges.

Results. In the near-infrared range at a wavelength of 910 nm, statistically significant differences ($p < 0.05$) were identified among the measured parameters for all three grades of ligament injury severity according to the AAOS classification. In the mid-infrared range, within 1050–1200 nm, a highly statistically significant difference was observed between the mean values of grade I and grade II ligament injuries according to AAOS ($p < 0.0001$).

Conclusion. Data analysis demonstrated that diffuse reflectance spectroscopy is a promising diagnostic tool for differentiating stages of cruciate ligament pathology of the knee joint.

Key words: knee joint; anterior cruciate ligament; posterior cruciate ligament; diffuse reflectance spectroscopy; biophotonics.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Lychagin A.V., Kalinsky E.B., Azarkin K.M., Garkavi A.V., Smetanin S.M., Tselischeva E.Yu., Zharova T.A., Babkova A.A., Chabdarhanova E.D., Goncharuk Yu.R., Kavalersky G.M. Prospective study of the feasibility of using diffuse reflectance spectroscopy for the diagnosis of pathology of the cruciate ligaments of the knee joint. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 22–29.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.22-29

Введение

Повреждения крестообразных связок коленного сустава являются одной из наиболее распространенных травм. В Соединённых Штатах ежегодно регистрируется около 250 000 случаев разрыва передней крестообразной связки (ПКС), при этом приблизительно в 50 % наблюдений требуется хирургическая реконструкция [1]. Несмотря на более низкую частоту встречаемости, повреждения задней крестообразной связки (ЗКС) выявляются у значительной доли пациентов с травмами коленного сустава и ассоциированы с неблагоприятными долгосрочными исходами, включая стойкое нарушение биомеханики сустава и прогрессирование дегенеративных изменений [2].

Ограниченный регенераторный потенциал крестообразных связок обусловлен их слабой васкуляризацией и особенностями тканевой организации. Травматическое воздействие

инициирует каскад микроструктурных изменений, включающих клеточные изменения и дезорганизацию внеклеточного матрикса, что приводит к ухудшению механических характеристик связки [3]. Эти изменения лежат в основе функциональной нестабильности коленного сустава и формируют предпосылки для развития гонартроза.

Эффективность хирургического лечения повреждений крестообразных связок в значительной степени зависит от времени вмешательства. На поздних стадиях формируются необратимые структурные изменения сустава, что снижает потенциал восстановления функции даже при технически корректно выполненной операции. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методов объективного и количественного выявления структурных нарушений крестообразных связок, предшествующих формированию клинически выраженной нестабильности.

Современные методы визуализации, включая магнитно-резонансную томографию и ультразвуковое исследование, обладают высокой диагностической ценностью при полных разрывах крестообразных связок и выраженных морфологических изменениях [4]. Однако их чувствительность существенно снижается при частичных субсиновиальных повреждениях, сопровождающихся преимущественно микроструктурными и биохимическими нарушениями ткани связки [5].

В этом контексте методы оптической спектроскопии представляют значительный интерес как инструмент количественной оценки структурно-функциональных характеристик биологических тканей. Данные методы успешно применяются в ряде медицинских дисциплин для анализа тканевого состава и метаболического состояния клеток [6–10]. Спектроскопический анализ основан на регистрации взаимодействия электромагнитного излучения с тканью, что позволяет получать спектральные параметры, отражающие компонентный состав и физико-химические свойства исследуемого объекта. Это делает методы оптической спектроскопии потенциально применимыми для выявления изменений крестообразных связок, недоступных для стандартных методов визуализации. Одной из наиболее подходящих методик для оценки состояния крестообразных связок является спектроскопия диффузного отражения (СДО) [9].

Основной принцип СДО заключается в изучении взаимодействия света с биологической тканью посредством явлений рассеяния и поглощения. Характеристики поглощения ткани указывают на ее биохимический состав, тогда как свойства рассеяния связаны с субклеточной морфологией. После взаимодействия с тканью спектр отраженного света изменяется относительно падающего света. Спектр диффузного отражения предоставляет информацию о композиционных и субклеточных свойствах исследуемой ткани [10].

Цель исследования

Определение возможности диагностического применения метода спектроскопии диффузного отражения для выявления несостоятельности крестообразных связок коленного сустава.

Материалы и методы

Проспективное нерандомизированное исследование проводили в Клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов Университетской клинической больницы № 1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М.Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) на базе кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины им. Н.В.Склифосовского в период с 2023 по 2025 гг.

В исследование были включены совершеннолетние пациенты с клиническими показаниями к тотальному эндопротезированию коленного сустава, у которых по результатам

предоперационной магнитно-резонансной томографии выявлялись повреждения передней и/или задней крестообразной связки, соответствующие 1–2 типам по классификации ACLOAS (Anterior Cruciate Ligament OsteoArthritis Score). Критериями невключения являлись полный разрыв крестообразных связок (3 тип по ACLOAS), отсутствие патологии крестообразных связок, технические погрешности при заборе эксплантов.

В ходе операции тотального эндопротезирования коленного сустава выполняли интраоперационную оценку состояния крестообразных связок в соответствии с классификацией AAOS (American Association of Orthopedic Surgeons), после чего осуществляли забор эксплантов передней и задней крестообразных связок вместе с костными участками их прикрепления (рисунок 1). После извлечения каждый эксплант подвергался визуальному контролю с целью выявления возможных ятрогенных повреждений. Далее образцы промывали физиологическим раствором хлорида натрия и помещали в фосфатный буфер для предотвращения дегидратации тканей. Всего исследовано 30 эксплантов, полученных от 24 пациентов.

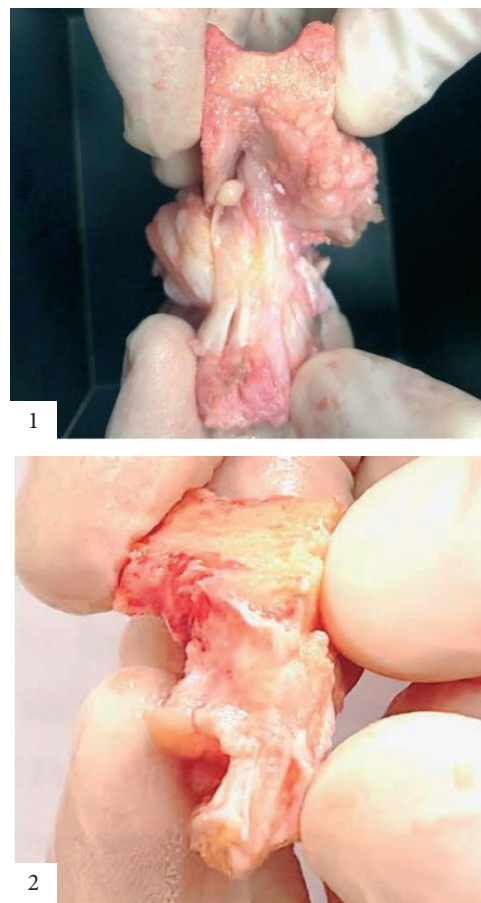


Рисунок 1. Экспланты пкс: 1 - 1 степень, 2 - 3 степень (по AAOS)
Fig. 1. ACL explants: 1 - grade 1, 2 - grade 3 (according to AAOS)

На каждом образце определяли девять репрезентативных зон для спектроскопического анализа: по три точки в области бедренного энтеза, в средней трети связки и в зоне большеберцового энтеза (рисунок 2).

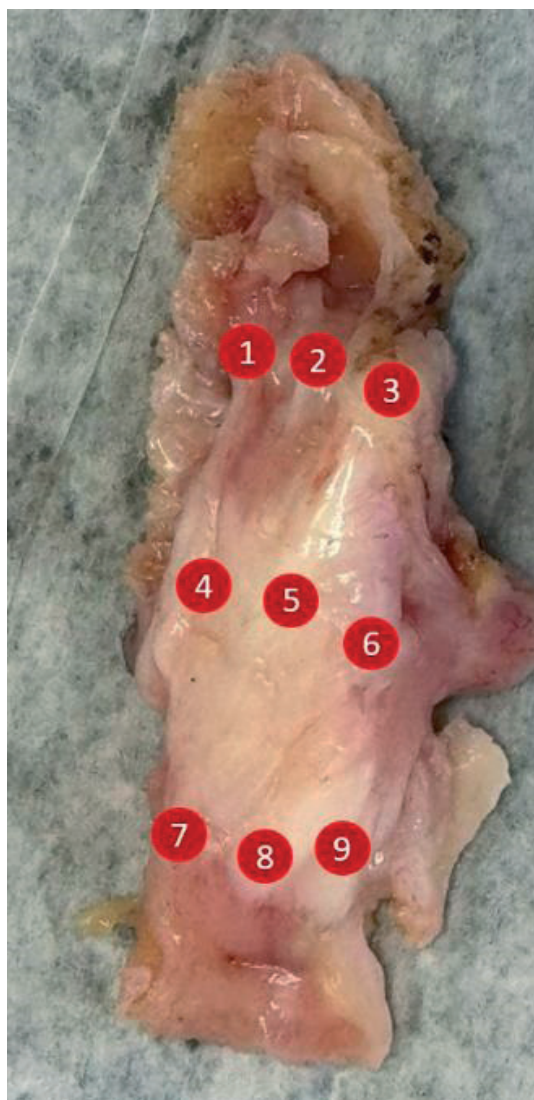


Рисунок 2. Точки получения спектров на примере экспланта пкс
Fig. 2. Points of obtaining spectra on the ACL explant

Регистрация спектров в каждой точке проводилась с повторением измерений два-три раза. Таким образом, совокупный массив данных включал 270 исследованных участков крестообразных связок, при этом проанализировано более 750 спектров. Спектроскопическое исследование выполняли непосредственно после эксцизии.

Для регистрации спектров СДО был применен зонд собственной разработки, включавший три оптоволоконных проводника. Один проводник служил для подачи широкополосного излучения на образец, два других проводника служили

приёмниками света, испытывавшего рассеяние и поглощение в толще исследуемого экспланта (рисунок 3).

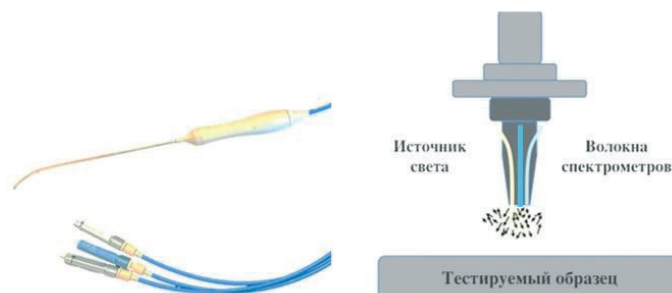


Рисунок 3. Приемо-передающий зонд и схема расположения оптических волокон
Fig. 3. Transmit-receive explorer and optical fiber layout

В качестве источника света использовали вольфрам-галогеновую лампу со сплошным спектром излучения (Thorlabs, Германия). Регистрацию отклика осуществляли в расширенном диапазоне 800–1800 нм с использованием двух спектрометров:

1. QE2000pro (OceanOptics, США) для диапазона 800–1050 нм (ближний инфракрасный диапазон)
2. AvaSpec-NIR256-2.5-HSC (Avantes BV, Нидерланды) для диапазона 1050–1800 нм (средний инфракрасный диапазон)

Для обеспечения достоверности измерений перед каждой серией экспериментов проводили калибровку – измеряли эталонный спектр лампы от стандарта диффузного отражения (белый эталон) и регистрировали фоновый спектр. После этого рассчитывали спектр отражения ($R(\lambda)$) по формуле:

$$R(\lambda) = \frac{I - I_{bg}}{I_{ref} - I_{bg}}$$

где I – спектр сигнала, I_{bg} – фоновый спектр, I_{ref} – эталонный спектр лампы.

По результатам измерения спектров отражения ($R(\lambda)$) рассчитывали спектр эффективного поглощения ($OD(\lambda)$) по формуле:

$$OD(\lambda) = -\log_{10} R(\lambda)$$

Из полученного спектра эффективного поглощения определяли оптические параметры.

Результаты

Статистически значимых различий между показателями, полученными для передней и задней крестообразных связок, выявлено не было ($p > 0,05$). В связи с этим дальнейший анализ выполнялся без дифференциации исследуемых связок на ПКС и ЗКС и проводился исключительно с учётом степени тяжести повреждений в соответствии с классификацией AAOS.

В ближнем инфракрасном диапазоне (800–1050 нм) зарегистрирован выраженный пик поглощения воды при длине волны 980 нм, тогда как максимум, ассоциированный с поглощением коллагена, наблюдался при 910 нм. В среднем инфракрасном диапазоне (1050–1800 нм) характерные пики поглощения воды и коллагена были зафиксированы при длинах волн 1200, 1400 и 1550 нм.

Таблица 1 / Tab. 1.

Средние значения спектров эффективного поглощения эксплантов ($OD(\lambda)$) на различных длинах волн /
Average values of the effective absorption spectra of explants ($OD(\lambda)$) at different wavelengths

	Длина волны (нм)	Тяжесть поражения по AAOS		
		I степень	II степень	III степень
Ближний инфракрасный диапазон	910	-0.029611287753006373	0.0076817117016659605	0.047724130817993836
	980	0.24865539463364925	0.2628257971401316	0.2978060975180321
Средний инфракрасный диапазон	1200	0.5067085783012302	0.5678271188087163	0.5951267697725632
	1400	2.8493098573147226	2.8485765284222726	2.810999330532399
	1550	2.732115993535909	2.6891843403627083	2.6175221368850914

Анализ данных, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне, показал, что при длине волны 910 нм, соответствующей поглощению коллагена, между всеми тремя степенями тяжести поражений связки по классификации AAOS выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$). В то же время при длине волны 980 нм достоверных различий между I и II степенью повреждения обнаружено не было ($p > 0,05$) (рисунок 4).

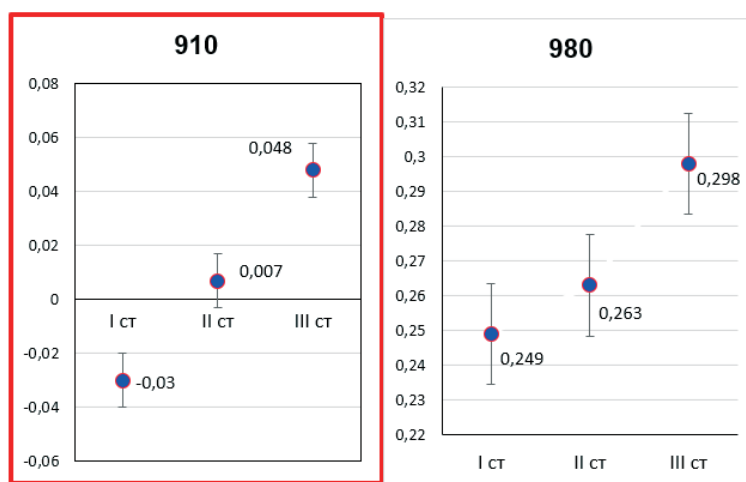


Рисунок 4. Диаграммы размаха средних значений спектров эффективного поглощения в зависимости от степени повреждения по ааос (ближний ик-диапазон)

Fig. 4. Plots of the average values of the effective absorption spectra depending on the stage of damage according to the aaos (near infrared range)

В среднем инфракрасном диапазоне проведен анализ разницы амплитуд между пиками и фоновым спектром 1050 нм, что является стандартным подходом для минимизации влияния фонового рассеяния. В диапазоне 1200–1050 нм выявлена статистически высокозначимая разница между средними значениями показателей для I и II степени повреждения связки по классификации AAOS ($p < 0,0001$) (рисунок 5).

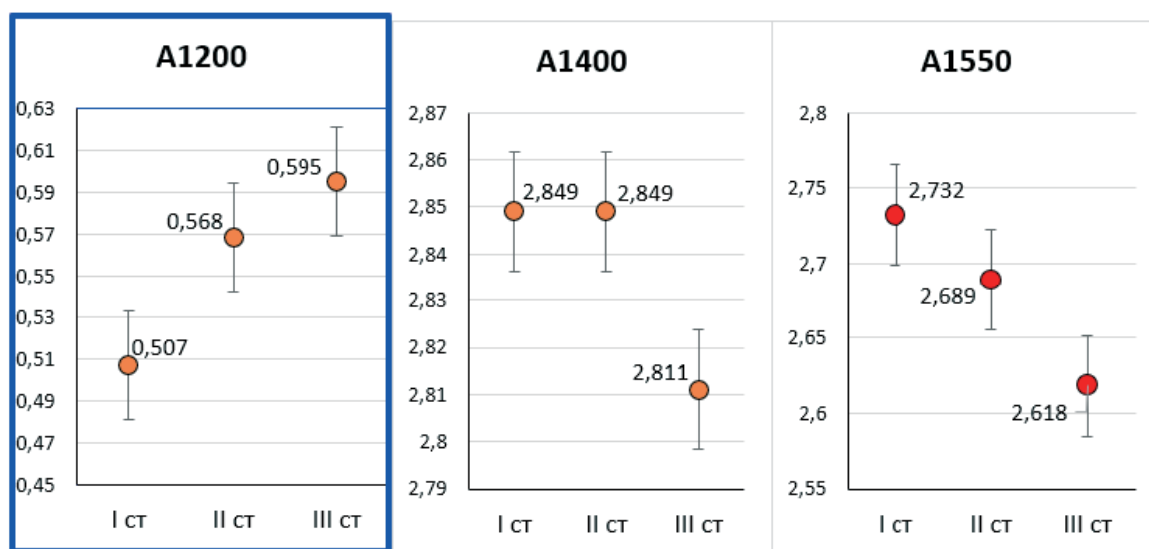


Рисунок 5. Диаграммы размаха средних значений спектров эффективного поглощения в зависимости от степени повреждения по aaos (средний ик-диапазон)
Fig. 5. Plots of the average values of the effective absorption spectra depending on the stage of damage according to the aaos (mid-infrared range)

Обсуждение

Отсутствие статистически значимых различий между спектральными показателями передней и задней крестообразных связок свидетельствует о сходстве их оптических характеристик в исследуемых диапазонах длин волн. Это позволило рассматривать полученные данные без разделения связок по анатомическому признаку и сосредоточить анализ на степени тяжести повреждений, что представляется методологически обоснованным.

Выявленные в ближнем инфракрасном диапазоне статистически значимые различия между всеми степенями повреждения связки при длине волны 910 нм указывают на высокую чувствительность коллаген-ассоциированного сигнала к структурным изменениям ткани. Это может быть обусловлено прогрессирующей дезорганизацией коллагеновых волокон по мере увеличения степени повреждения, что отражается в изменении оптических свойств крестообразных связок.

В то же время отсутствие достоверных различий между I и II степенью повреждения при длине волны 980 нм позволяет предположить, что содержание и распределение воды в ткани на ранних стадиях дегенеративных изменений изменяется менее выражено либо характеризуется высокой вариабельностью. Таким образом, водный компонент, по-видимому, является менее специфичным маркером для дифференциации начальных степеней повреждения по сравнению с коллагеновым компонентом.

Выявленная в интервале 1200–1050 нм статистически высокосignифицирующая разница между I и II степенью повреждения подтверждает информативность данного диапазона

для количественной оценки изменений структуры связки. Вероятно, наблюдаемые различия отражают совокупное влияние деградации коллагена и изменения гидратации ткани.

Заключение

Полученные результаты указывают на перспективность спектроскопического анализа в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах для объективной оценки степени повреждения крестообразных связок. Для целей диагностики представляется наиболее важным дифференцирование I и II степени поражения, так как дифференцировать эти степени по результатам клинического, инструментального и даже артроскопического исследования достаточно затруднительно. Особенно значимым представляется использование длин волн, ассоциированных с поглощением коллагена, как потенциальных диагностических маркеров тяжести поражения. Наиболее информативными при этом являются исследования в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны 910 нм и в среднем инфракрасном диапазоне с длиной волны 1200 нм.

Список литературы / References:

1. Beaulieu M. L., Ashton-Miller J. A., & Wojtys E. M. Loading mechanisms of the anterior cruciate ligament. *Sports Biomechanics*, 2023;22(1):1–29. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1916578>
2. Owesen C., Sandven-Thrane S., Lind M. et al. Epidemiology of surgically treated posterior cruciate ligament injuries in Scandinavia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:2384–2391. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3786-2>

3. Pitsillides A., Stasinopoulos D., & Giannakou K. Healing potential of the anterior cruciate ligament in terms of fiber continuity after a complete rupture: a systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2021;28:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.06.003>
4. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54:1423-1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
5. Al Mohammad B., & Gharaibeh M. A. Magnetic Resonance Imaging of Anterior Cruciate Ligament Injury. *Orthopedic Research and Reviews*, 2024;16:233–242. <https://doi.org/10.2147/ORR.S450336>
6. Han Y., Ling S., Qi Z., Shao Z., & Chen X. Application of far-infrared spectroscopy to the structural identification of protein materials. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2018;20(17):11643-11648. <https://doi.org/10.1039/C8CP00802G>
7. Qi Y., Chen E. X., Hu D., Yang Y., Wu Z., Zheng M., Sadi M. A., Jiang Y., Zhang K., Chen Z., & Chen Y. P. Applications of Raman spectroscopy in clinical medicine. *Food Frontiers*. 2024;5:392–419. <https://doi.org/10.1002/fft2.335>
8. Bydlon T.M., Nachabé R., Ramanujam N., Sterenborg H.J.C.M. and Hendriks B.H.W. Chromophore based analyses of steady-state diffuse reflectance spectroscopy: current status and perspectives for clinical adoption. *J. Biophoton*. 2015;8:9-24. <https://doi.org/10.1002/jbio.201300198>
9. N. R. Rovnyagina, G. S. Budylin, P. V. Dyakonov, Y. M. Efremov, M. M. Lipina, Y. R. Goncharuk, E. E. Murdalov, D. A. Pogosyan, D. A. Davydov, A. A. Korneev, N. B. Serejnikova, K. A. Mikaelyan, S. A. Evlashin, V. A. Lazarev, A. V. Lychagin, P. S. Timashev, E. A. Shirshin. *J. Biophotonics*. 2023;16(3):e202200149. <https://doi.org/10.1002/jbio.202200149>
10. de Boer L.L., Bydlon T.M., van Duijnhoven F. et al. Towards the use of diffuse reflectance spectroscopy for real-time in vivo detection of breast cancer during surgery. *J Transl Med*. 2018;16:367. <https://doi.org/10.1186/s12967-018-1747-5>

Информация об авторах:

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

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

Азаркин Кирилл Михайлович – аспирант 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

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; ORCID: 0000-0003-4996-1657

Сметанин Сергей Михайлович – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com, ORCID:0000-0002-8607-4347;

Целищева Евгения Юрьевна – 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: tjanetrav-ort@bk.ru

Жарова Татьяна Альбертовна – 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: zharova-mma@yandex.ru

Бабкова Анна Анатольевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: babkova_a_a@staff.sechenov.ru

Чабдарханова Елизавета Дмитриевна – студент ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: elizab.chab@gmail.com

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

Кавалерский Геннадий Михайлович – 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: gkavalerskiy@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Азаркин Кирилл Михайлович

Information about 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

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

Kirill M. Azarkin – postgraduate student 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

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; ORCID: 0000-0003-4996-1657

Sergey M. Smetanin – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Dr. of Sci.(Med.), professor, e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8607-4347;

Evgeniya Yu. Tselischeva – MD, PhD, Associate Professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail tjanetravort@bk.ru

Tatiana A. Zharova – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: zharova-mma@yandex.ru

Anna A. Babkova – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Radiology and Radiation Therapy, I. M. Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia, ORCID: 0000-0003-4857-8621. E-mail: babkova_a_a@staff.sechenov.ru.

Elizaveta D. Chabdarhanova – student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: elizab.chab@gmail.com

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

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: Kirill M. Azarkin

УДК 616.728.3-007.248-089.843-77

© Пиманчев О. В., Небелас Р. П., Ряполов Ю. В., Гаврилюк В.В., Романов Д. А., 2026

Оригинальное исследование / Original research



СУБВАСТУС-ДОСТУП ПРИ РОБОТИЧЕСКОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

О. В. ПИМАНЧЕВ¹, Р. П. НЕБЕЛАС¹, Ю. В. РЯПОЛОВ¹, В.В. ГАВРИЛЮК, Д. А. РОМАНОВ²¹ ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 105203, Москва, Россия.² ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование. Высокий процент неудовлетворительных результатов тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) диктует необходимость совершенствования хирургических методик, в том числе за счет применения минимально инвазивных доступов и роботических систем.

Цель исследования: оценить эффективность роботического ТЭКС с использованием субвастус-доступа по сравнению со стандартным ТЭКС. Материалы и методы: в проспективное рандомизированное исследование включены 60 пациентов с гонартрозом III стадии по Kellgren & Lawrence (Келлгрэн-Лоуренс). Основная группа (n=31) оперирована с применением роботической системы и субвастус-доступа. Группа сравнения (n=29) – мануальное ТЭКС с применением медиального парapatellarного доступа. Оценивали интенсивность болевого синдрома (ВАШ), функциональные исходы (КООС) и амплитуда движений в коленном суставе в сроки до 12 месяцев.

Результаты: в основной группе в раннем послеоперационном периоде (1-е, 3-и, 5-е сутки и 1 месяц) показатели интенсивности боли статистически значимо ($p < 0,05$) ниже, амплитуда движений больше и функциональные показатели по шкале КООС лучше. Потребность в анальгетиках в стационаре была на 32,5 % ниже. К 6 и 12 месяцам статистически значимые различия между группами нивелировались.

Заключение: применение субвастус-доступа в робот-ассистированной технике ТЭКС обеспечивает снижение болевого синдрома и ускорение функциональной реабилитации в раннем послеоперационном периоде по сравнению с мануальной техникой, выполненной через традиционный доступ.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава; остеоартрит коленного сустава; робот-ассистированная хирургия; реабилитация; послеоперационная боль.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Для цитирования: Пиманчев О. В., Небелас Р. П., Ряполов Ю. В., Гаврилюк В.В., Романов Д. А. Субвастус-доступ при роботическом эндопротезировании коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1: 30–38.

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

SUBVASTUS APPROACH IN ROBOTIC TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

OLEG V. PIMANCHEV¹, ROMAN P. NEBELAS¹, YURY V. RYAPOLOV¹, VLADISLAV V. GAVRILIUK¹, DMITRY A. ROMANOV²¹ Federal State Budgetary Institution “National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 105203, Moscow, Russia² 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

Background: the high rate of unsatisfactory outcomes following total knee arthroplasty (TKA) necessitates continuous refinement of surgical techniques, including the implementation of minimally invasive approaches and robotic-assisted systems.

Objective: To evaluate the efficacy of robotic-assisted TKA utilizing the subvastus approach compared with conventional manual TKA.

Materials and Methods: This prospective randomized controlled trial enrolled 60 patients with stage III knee osteoarthritis (Kellgren-Lawrence grade). The study group (n=31) underwent robotic-assisted TKA via subvastus approach; the control group (n=29) received manual TKA through

medial parapatellar approach. Primary outcomes included pain intensity (VAS), functional recovery (KOOS), and knee range of motion assessed up to 12 months postoperatively.

Results: In the early postoperative period (postoperative days 1, 3, 5, and month 1), the robotic subvastus group demonstrated statistically significant reductions in pain scores ($p < 0.05$), greater knee range of motion, and superior KOOS functional scores. Analgesic requirements during hospitalization were 32.5% lower in the study group. By 6 and 12 months, intergroup differences were no longer statistically significant.

Conclusion: The subvastus approach in robotic-assisted TKA significantly reduces early postoperative pain and accelerates functional rehabilitation compared to conventional manual TKA performed through medial parapatellar approach.

Key words: arthroplasty, replacement, knee; osteoarthritis, knee; robotic surgical procedures; rehabilitation; pain, postoperative.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Pimanchev O.V., Nebelas R.P., Ryaplov Yu V., Gavriluk V.V., Romanov D. A. Subvastus approach in robotic total knee arthroplasty. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1:30–38.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.30-38

Введение

Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) является эффективным методом лечения остеоартроза (ОА) выраженных стадий. Его цели – купирование болевого синдрома, восстановление оси конечности и объёма движений, что в конечном итоге приводит к восстановлению функции коленного сустава [1, 2].

В современной ортопедической хирургии всё большее внимание уделяется минимально инвазивным методикам, которые снижают травматизацию мягких тканей, в том числе мышц, в области хирургического вмешательства. Одной из таких методик при ТЭКС является **субвастус-доступ** [5, 6, 9, 11]. Анализ зарубежной литературы свидетельствует о его эффективности, которая заключается в более быстром восстановлении функции оперированного сустава по сравнению с классическим доступом при сопоставимой частоте осложнений [11, 13, 14, 16, 17, 19, 21, 23, 28, 29]. Выполнение ТЭКС с использованием субвастус-доступа позволяет уменьшить послеоперационную боль, сохранить силу квадрицепса, что способствует ранней активизации пациента и сокращает срок стационарного лечения по сравнению с традиционным медиальным парapatellarным доступом, поскольку при нём сохраняется целостность сухожилия четырёхглавой мышцы бедра [5, 6, 7, 9, 10, 14, 26].

Применение роботической системы минимизирует необходимость в мягкотканном релизе, снижает риск ошибок позиционирования имплантата и оптимизирует кинематику коленного сустава [3, 4, 19, 21, 23, 24, 25].

Литературные данные о результатах робот-ассистированных операций ТЭКС, выполненных с использованием различных хирургических доступов, ограничены [5, 6].

Целью данного исследования являлась оценка эффективности роботического ТЭКС с использованием субвастус-доступа по сравнению со стандартным ТЭКС.

Материалы и методы

Проведено проспективное рандомизированное исследование на базе отделения травматологии и ортопедии Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова. В исследование включены 60 пациентов с первичным гонартрозом III стадии, которым в период с 2022 по 2023 гг. выполнено ТЭКС.

Общая характеристика сравниваемых групп представлена в таблице 1. Группы были сопоставимы по возрасту и индексу массы тела ($p > 0,05$), но отличались по гендерному распределению ($p < 0,05$).

Таблица 1 / Tab. 1

Общие характеристики пациентов / Baseline Characteristics of the Patients

Показатель	Группа 1 (доступ с сохранением внутренней широкой мышцы бедра, n=31)	Группа 2 (медиальный парapatellarный доступ, n=29)	p-value*
Возраст, лет (M ± SD)	66,4 ± 7,8 лет (от 52 до 78 лет)	64,7 ± 6,4 лет (от 53 до 76 лет)	> 0,05
Женщины/мужчины	18 (58%) / 13 (42%)	21 (72%) / 8 (28%)	< 0,05
ИМТ, кг/м ² (M ± SD)	31,4 ± 4,5	30,9 ± 3,7	> 0,05
Пораженный коленный сустав	Правый – 17 (55%) Левый – 14 (45%)	Правый – 12 (41%) Левый – 17 (59%)	–

*У-критерий Манна-Уитни

Критерии включения: 1) гонартроз III ст., диагностированный клинически и рентгенологически; 2) отсутствие эффекта от консервативной терапии в течение 3 месяцев комплексного лечения; 3) совершеннолетний возраст.

Критерии неключения: 1) вторичный гонартроз (обусловленный системными заболеваниями, например, ревматоидным артритом, или перенесенными травмами); 2) наличие предшествующих оперативных вмешательств на коленном суставе; 3) индекс массы тела (ИМТ) ≥ 35 кг/м²; 4) трофические нарушения или инфекционные поражения кожного покрова в области операционного поля.

Критерии исключения: отказ пациента или нарушение предписанного ортопедического режима.

После получения информированного добровольного согласия пациенты методом случайных чисел были рандомизированы на две группы:

- **Основная группа (n=31):** 13 (42%) мужчин, 18 (58%) женщин $66,4 \pm 7,8$ лет с ИМТ $31,4 \pm 4,5$ кг/м². ТЭКС выполнялось робот-ассистированным способом, из линейного продольного передневнутреннего доступа с сохранением m. vastus medialis (субвастус-доступ).

- **Группа сравнения (n=29):** 8 (28%) мужчин, 21 (72%) женщина. ТЭКС выполнялось ручным способом из линейного разреза медиального с парапателлярным доступом.

Рандомизацию проводил независимый сотрудник непосредственно перед операцией. Все вмешательства выполнены одной бригадой хирургов с опытом эндопротезирования коленного сустава не менее 10 лет для минимизации вариабельности. Во всех случаях применялась комбинированная анестезия. Устанавливались эндопротезы цементной фиксации: MAXX Orthopedics FREEDOM TOTAL KNEE SYSTEM с сохранением задней крестообразной связки.

Хирургическая техника

Доступ к коленному суставу с сохранением m. vastus medialis (субвастус-доступ) выполняли по стандартной методике. Пациент находился в положении на спине с согнутым под углом 100° коленным суставом. Голень фиксировали в позиционере для коленного сустава DeMayo. Разрез кожи длиной 12–15 см начинали по средней линии:

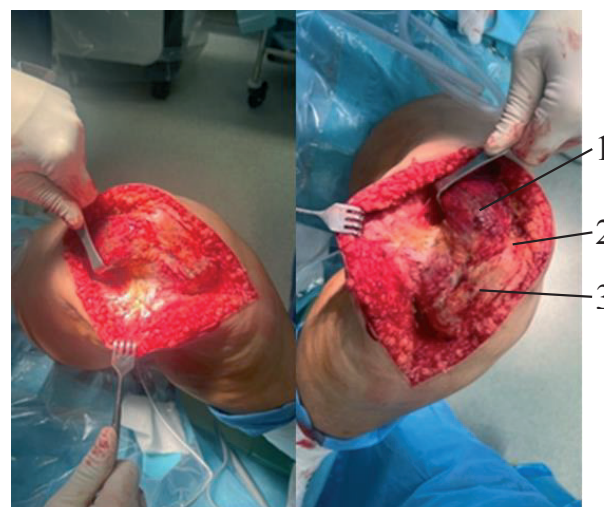
- на 3–4 см выше вершины надколенника — при транскутанной установке винтов Шанца для крепления бедренного маркера,
- на 4–5 см выше вершины надколенника — при установке винтов для бедренного маркера внутри операционной раны.

Разрез завершали на 3–4 см дистальнее суставной щели, продолжая его вдоль внутреннего края большеберцовой кости (рис. 1).



Рисунок 1. Вид операционной раны после разреза кожи
Fig. 1. Intraoperative view of the surgical wound after skin incision

Затем путём рассечения подкожно-жировой клетчатки и фасции обнажали разгибательный аппарат коленного сустава и его капсулу. Выполняли мобилизацию m. vastus medialis от межмышечной перегородки. После визуализации сухожилия производили артротомию, которую начинали проксимально вдоль нижнего края m. vastus medialis и продолжали дистально вдоль внутреннего края медиального мыщелка бедренной кости до уровня медиального мыщелка большеберцовой кости. Далее разрез продлевали параллельно суставной щели до медиального края связки надколенника. После этого выполняли латеральный вывих надколенника, обнажая полость коленного сустава (рис. 2).



A

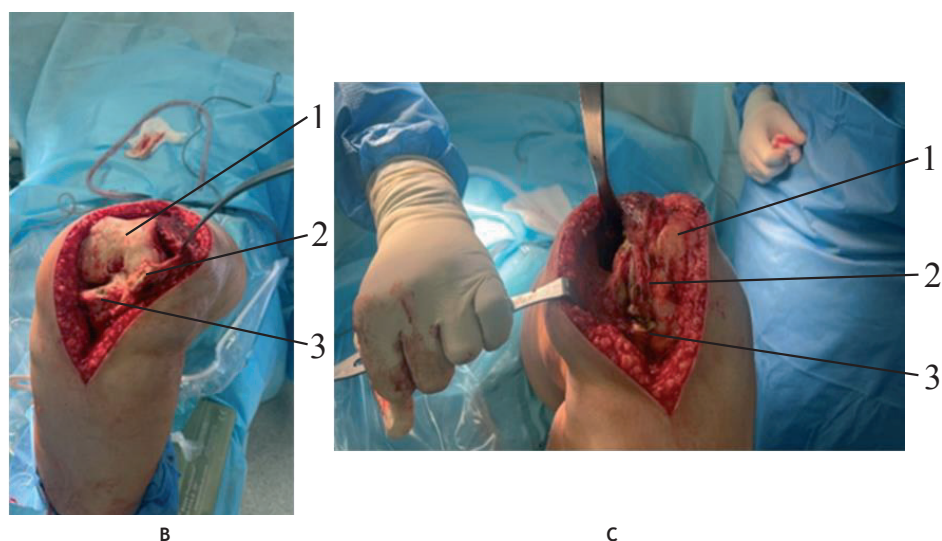


Рисунок 2. Выполнение передневнутреннего доступа к коленному суставу с сохранением внутренней широкой мышцы бедра: А - мобилизация m. vastus medialis (1 - m. vastus medialis, 2- patella, 3 - lig. patellae); В - L-образная артротомия (1 - os. femoris, 2 - capsula articularis, 3 - tibia); С - вид на полость коленного сустава после выполнения доступа (1 - patella, 2 - os. femoris, 3 - tibia)

Fig. 2. Anteromedial approach to the knee joint with preservation of the vastus medialis muscle: A - mobilization of m. vastus medialis (1 - m. vastus medialis, 2- patella, 3 - lig. patellae); B - L-shaped arthrotomy (1 - os. femoris, 2 - capsula articularis, 3 - tibia); C - view of the knee joint cavity after the approach (1 - patella, 2 - os. femoris, 3 - tibia)

После обнажения сустава релиз мягких тканей и резекцию жирового тела Гоффа не проводили. Устанавливали винты Шанца для крепления бедренного и большеберцового датчиков роботической системы, а также зажимы для фиксации бедренной и большеберцовой костей (рис. 3).



Рис. 3 Вид операционной раны после установки бедренных и большеберцовых датчиков роботической системы, фиксаторов бедренной и большеберцовой кости (1 - бедренные датчики роботической системы. 2 - os. femoralis, 3 - tibia, большеберцовые датчики роботической системы).

Fig. 3. Intraoperative view after placement of femoral and tibial sensors of the robotic system, and femoral and tibial bone trackers / fixation arrays (1 - femoral sensors of the robotic system, 2 - femur, 3 - tibia, tibial sensors of the robotic system).

Резекцию костей и балансировку связочного аппарата коленного сустава выполняли с помощью роботической системы. После завершения подготовки костного ложа устанавливали эндопротез цементной фиксации.

Рану послойно ушивали; дренаж не устанавливали.

Медиальный парapatellarный доступ выполняли по стандартной методике. Положение пациента на операционном столе, а также разрез кожи и обнажение разгиба-

тельного аппарата сустава были идентичными описанным выше. Затем *m. vastus medialis* в сухожильной части отделяли острым путём от *m. rectus femoris* и осуществляли артротомию по внутреннему краю надколенника и его связки до бутристы большеберцовой кости. Надколенник ротировали и вывихивали кнаружи. Резекция жирового тела Гоффа обеспечивала полный обзор суставных поверхностей коленного сустава (рис. 4).



Рисунок 4. Выполнение медиального парapatellarного доступа к коленному суставу: А - разметка артротомии; Б - обнаженная капсула сустава; В - вид на полость коленного сустава после выполнения доступа (1 - os femoralis, 2 - patella, 3 - lig. patellae, 4 - tibia)

Figure. 4. Medial parapatellar approach to the knee joint: A - arthrotomy marking; B - exposed joint capsule; C - view of the knee joint cavity after the approach (1 - os femoralis, 2 - patella, 3 - lig. patellae, 4 - tibia).

Дальнейшие этапы операции (подготовка костного ложа, установка компонентов) выполняли согласно стандартной методике с использованием интрамедуллярных направителей (рис. 5).

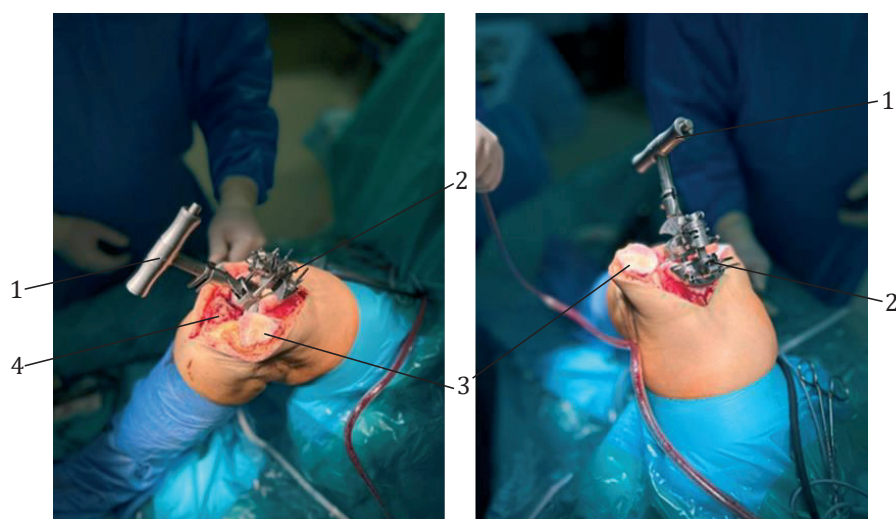


Рисунок 5. Резекционные блоки установлены на интрамедуллярные направители А - бедренной кости (1 - интрамедуллярный направитель, 2 - резекционный блок бедренной кости, 3 - patella, 4 - tibia); Б - большеберцовой кости (1 - интрамедуллярный направитель, 2 - резекционный блок большеберцовой кости, 3 - patella)

Figure 5. Resection blocks placed on intramedullary guides: A - femur (1 - intramedullary guide, 2 - femoral resection block, 3 - patella, 4 - tibia); B - tibia (1 - intramedullary guide, 2 - tibial resection block, 3 - patella)

Послеоперационное ведение и методы оценки

Всем пациентам проводили профилактику венозных тромбозных осложнений в течение 5 недель в послеоперационном периоде (ривароксабан по 10 мг/сут). Для обезболивания в стационаре пациентам обеих групп назначали кетопрофен в дозе 100 мг внутримышечно по требованию, но не более 3 раз в сутки. Антибактериальная профилактика (цефазолин 2 г в/в) проводилась за 30 минут до операции и в послеоперационном периоде не применялась.

Активизацию пациентов начинали на следующие сутки после операции. Проводили комплексную реабилитацию, включавшую лечебную физкультуру (ЛФК), физиотерапию, обучение ходьбе на костылях и симптоматическую терапию.

Выписку пациентов на амбулаторное лечение осуществляли на 3–7-е сутки после операции при соблюдении следующих критериев: стабильная гемодинамика, полноценная мобилизация на костылях, контролируемый болевой синдром и отсутствие признаков воспаления послеоперационной раны.

Оценка результатов

Основными сравниваемыми критериями в обеих группах были интенсивность болевого синдрома (особенно в раннем послеоперационном периоде) и функциональные результаты.

Интенсивность боли оценивали по 10-балльной визуальной аналоговой шкале (ВАШ). Пациенты самостоятельно заполняли опросник перед операцией, на 1-е и 5-е сутки после неё, а также через 1, 6 и 12 месяцев, что позволяло оценить динамику болевого синдрома как в раннем, так и в отдалённом периоде.

Функциональные результаты оценивали с помощью опросника KOOS, который пациенты также заполняли самостоятельно перед операцией, а затем через 1, 6 и 12 месяцев после неё. Кроме того, до операции, на 1-е и 3-и сутки, а также через 6 и 12 месяцев после неё оценивали объём сгибания в коленном суставе. Полное разгибание принимали за 0°.

Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 16.42 и IBM SPSS Statistics 23. Для оценки достоверности различий между группами применяли U-критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Количественные данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm \sigma$), качественные — в виде абсолютных чисел и процентов.

Результаты исследования

До операции интенсивность болевого синдрома по ВАШ была одинаково высокой в обеих группах ($7,8 \pm 1,0$ балла и $7,6 \pm 0,9$ балла соответственно; $p > 0,05$). На 1-е сутки после операции, несмотря на ожидаемо высокую интенсивность боли, связанную с хирургической травмой, в группе субвастус-доступа болевой синдром был статистически значимо менее выраженным ($p < 0,05$). Данные различия сохранялись на 5-е сутки и на 4-й неделе ($p < 0,05$), однако к 6 и 12 месяцам послеоперационного периода показатели ВАШ в группах снизились до сопоставимых уровней ($p > 0,05$). При этом к 12-му месяцу наблюдения в обеих группах было зафиксировано статистически значимое снижение интенсивности боли по сравнению с дооперационными значениями ($p < 0,05$).

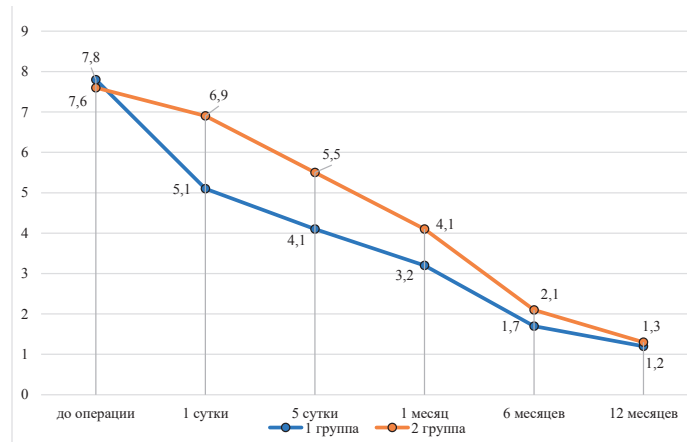


Рисунок 6. Динамика болевого синдрома по шкале ВАШ в группах исследования

Figure 6. Dynamics of pain syndrome according to the VAS scale in the study groups

Функциональные показатели по шкале KOOS в обеих группах статистически значимо улучшились по сравнению с дооперационным уровнем уже к 4-й неделе, причем в дальнейшем положительная динамика сохранялась ($p < 0,05$). При сравнении между группами через 1 месяц после операции, значения в основной (субвастус-доступ) были достоверно выше, чем в группе сравнения ($65,4 \pm 6,9$ и $51,4 \pm 7,3$ балла соответственно; $p < 0,05$), что, вероятно, связано с менее выраженным болевым синдромом. Однако к 6 и 12 месяцам наблюдения, как и при оценке боли, различия между группами нивелировались ($p > 0,05$).

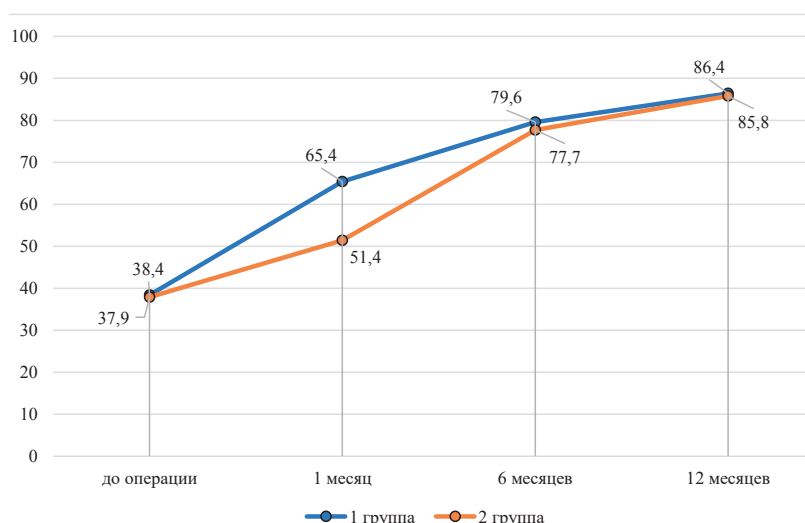


Рисунок 7. Изменения показателей по шкале-опроснику KOOS в динамике KOOS
Figure 7. Score changes over time

Схожие результаты (таблица 2) получены и при оценке объема движений в коленном суставе. На 1-е и 3-е сутки после операции объем движений был выше в группе доступа с сохранением внутренней широкой мышцы бедра ($p < 0,05$), однако к 6 и 12 месяцам показатели объема движений в обеих группах выровнялись и были статистически значимо выше, чем показатели в данных каждой из групп до оперативного вмешательства ($p < 0,05$).

Таблица 2 / Tab. 2

Динамика объема движений в коленном суставе (°) / Range of motion dynamics in the knee joint (°)

Срок наблюдения	Группа 1 (n=31)	Группа 2 (n=29)	p-value*
До операции	98,5 ± 11,9	96,7 ± 12,4	>0,05
1 сутки после операции	62,3 ± 8,8	54,4 ± 9,3	<0,05
3 сутки после операции	77,6 ± 7,8	67,4 ± 8,5	<0,05
6 месяцев после операции	119,1 ± 7,6	114,2 ± 8,4	>0,05
12 месяцев после операции	124,4 ± 7,6	122,1 ± 8,1	>0,05

*U-критерий Манна-Уитни

Ни в одной из групп не зафиксировано серьезных осложнений, потребовавших дополнительных вмешательств или повлиявших на программу реабилитации.

При анализе частоты применения анальгетиков в стационаре установлено, что в основной группе (субвастус-доступ) этот показатель был на 32,5% ниже, чем в группе сравнения.

Обсуждение

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что применение субвастус-доступа в сочетании с роботическим эндопротезированием коленного сустава связано с лучшими функциональными результатами и менее выраженным болевым синдромом в раннем послеопера-

ционном периоде по сравнению с медиальным парapatеллярным доступом и мануальной техникой. Уже в первые сутки и на протяжении последующих 4 недель пациенты основной группы демонстрировали статистически значимо более низкую интенсивность болевого синдрома, больший объем движений и лучшие показатели по шкале KOOS, что согласуется с данными других исследований [1–3].

Объяснением выявленных преимуществ, вероятно, служит меньшая травматизация мягких тканей при субвастус-доступе, обусловленная сохранением целостности сухожилия четырехглавой мышцы и медиальной порции m. vastus medialis, что способствует ускорению функционального восстановления. В отличие от этого, медиальный парapatеллярный доступ,

предполагающий рассечение сухожилия квадрицепса, может приводить к более выраженной послеоперационной боли и замедленной реабилитации [4, 9, 18].

Полученные преимущества носили временный характер: к 6 и 12 месяцам наблюдения показатели боли, объёма движений и функциональной оценки в группах нивелировались и не имели статистически значимых различий. Данное наблюдение согласуется с выводами других авторов о том, что выбор хирургического доступа оказывает существенное влияние преимущественно на ранние послеоперационные исходы, но не определяет отдалённые результаты эндопротезирования [5,6].

Ограничением исследования является относительно небольшой объём выборки. Перспективным представляется проведение исследований с большим количеством пациентов и более длительными сроками наблюдения для оценки влияния типа доступа и методики установки эндопротеза на его выживаемость.

Заключение

Применение субвастус-доступа в робот-ассистированной технике ТЭКС обеспечивает снижение болевого синдрома и ускорение функциональной реабилитации в раннем послеоперационном периоде по сравнению с мануальной техникой, выполненной через традиционный доступ.

Список литературы / References:

1. 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>.
2. Кузин В.В., Кузин А.В., Германов А.В., Шпак М.А. Влияние принципа персонализированного выравнивания на положение компонентов эндопротеза при тотальном эндопротезировании коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2025;31(1):12-18. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-1-12-18>.
3. Герасенкова А.Д., Орлецкий А.К., Шумский А.А., Крылов С.В., Дгебуадзе Г. Ранние результаты первичного робот-ассистированного эндопротезирования коленного сустава с использованием системы STRYKER MAKO. *Современные проблемы науки и образования*. 2024;112(2):13. <https://doi.org/10.17513/spno.33312>.
4. Герасенкова А.Д., Орлецкий А.К., Шумский А.А., Крылов С.В., Дгебуадзе Г. Early results of primary robot-assisted knee endoprosthesis using the STRYKER MAKO system. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2024;112(2): Art 13. (in Russian). <https://doi.org/10.17513/spno.33312>.
5. Цед А.Н., Кожевин А.А., Муштин Н.Е. Современные тренды в ранней реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2024;183(1):60-65. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2024-183-1-60-65>.
6. Tsed A.N., Kozhevin A.A., Mushtin N.E. Current trends in early rehabilitation of patients after total hip and knee replacement. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2024;183(1):60-65. (in Russian). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2024-183-1-60-65>.
7. Badawi I., Ismail A., Waly A., Khakaf M. Prospective comparative study of medial parapatellar and medial subvastus approaches in total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):511-521. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-511-521>.
8. Sokolovskii SE, Zykin AA, Rukina NN, Malyshev EE. Minimally Invasive (Epivastus) Approach for Total Knee Arthroplasty. *Sovrem Tekhnologii Med*. 2023;15(4):23-28. <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.4.02>.
9. Tria AJ Jr, Coon TM. Minimal incision total knee arthroplasty: early experience. *Clin Orthop Relat Res*. 2003 Nov;(416):185-90. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000093030.56370.d9>.
10. Tria AJ, Scuderi GR. Minimally invasive knee arthroplasty: An overview. *World J Orthop*. 2015 Nov 18;6(10):804-11. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i10.804>.
11. Li C, Zeng Y, Shen B, Kang P, Yang J, Zhou Z, Pei F. A meta-analysis of minimally invasive and conventional medial parapatella approaches for primary total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Jul;23(7):1971-85. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-2837-4>.
12. Başarir K, Erdemli B, Tuccar E, Esmer AF. Safe zone for the descending genicular artery in the midvastus approach to the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2006 Oct;451:96-100. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000223995.79894.5e>.
13. Pagnano MW, Meneghini RM. Minimally invasive total knee arthroplasty with an optimized subvastus approach. *J Arthroplasty*. 2006 Jun;21(4 Suppl 1):22-6. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2006.02.081>.
14. Roysam GS, Oakley MJ. Subvastus approach for total knee arthroplasty: a prospective, randomized, and observer-blinded trial. *J Arthroplasty*. 2001 Jun;16(4):454-7. <https://doi.org/10.1054/arth.2001.22388>.
15. Schroer WC, Diesfeld PJ, Reedy ME, LeMarr AR. Mini-subvastus approach for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2008 Jan;23(1):19-25. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2006.12.100>.
16. Tenholder M, Clarke HD, Scuderi GR. Minimal-incision total knee arthroplasty: the early clinical experience. *Clin Orthop Relat Res*. 2005 Nov;440:67-76. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000185450.89364.10>.
17. Aglietti P, Baldini A, Sensi L. Quadriceps-sparing versus mini-subvastus approach in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2006 Nov;452:106-11. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000238789.51972.16>.
18. Berth A, Urbach D, Neumann W, Awiszus F. Strength and voluntary activation of quadriceps femoris muscle in total knee arthroplasty with midvastus and subvastus approaches. *J Arthroplasty*. 2007 Jan;22(1):83-8. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2006.02.161>.
19. Sporer SM. The minimally invasive subvastus approach for primary total knee arthroplasty. *J Knee Surg*. 2006 Jan;19(1):58-62. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248080>.
20. Kazarian GS, Siow MY, Chen AF, Deirmengian CA. Comparison of Quadriceps-Sparing and Medial Parapatellar Approaches in Total

Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Arthroplasty*. 2018 Jan;33(1):277-283. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.08.025>.

19. St Mart JP, Goh EL. The current state of robotics in total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2021 Apr 1;6(4):270-279. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200052>.

20. Nogalo C., Meena, A., Abermann, E. et al. Complications and downsides of the robotic total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023 June 18; 31: 736–750. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07031-1>.

21. Shatrov, J., & Parker, D. (2020). Computer and robotic—assisted total knee arthroplasty: A review of outcomes. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2020 Sep 24; 7(1), 70. <https://doi.org/10.1186/s40634-020-00278-y>.

22. Sultan AA, Piuzei N, Khlopas A, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection. *Expert Rev Med Devices*. 2017 Dec;14(12):925-927. <https://doi.org/10.1080/17434440.2017.1392237>.

23. Siddiqi A, Horan T, Molloy RM, Bloomfield MR, Patel PD, Piuzei NS. A clinical review of robotic navigation in total knee arthroplasty: historical systems to modern design. *EFORT Open Rev*. 2021 Apr 1;6(4):252-269. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200071>.

24. Chandrashekar, P., Babu, K.A., Nagaraja, H.S. et al. Intra-operative Safety of an Autonomous Robotic System for Total Knee Replacement: A Review of 500 Cases in India. *JOJO*. 57, 1800–1808 (2023). <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00970-y>.

25. Hampel EL, Chughtai M, Scholl LY, Sodhi N, Bhowmik-Stoker M, Jacofsky DJ, Mont MA. Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Demonstrated Greater Accuracy and Precision to Plan Compared with Manual Techniques. *J Knee Surg*. 2019 Mar;32(3):239-250. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1641729>.

26. Song EK, Seon JK, Park SJ, Jung WB, Park HW, Lee GW. Simultaneous bilateral total knee arthroplasty with robotic and conventional techniques: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Jul;19(7):1069-76. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1400-9>.

27. Li J, Yan Z, Lv Y, Li Y, Ye P, Deng P, Zhang H, Chen J, Li J, Qi X, Zeng J, Zeng Y, Feng W. Impact of intraoperative medial collateral ligament injury on outcomes after total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. *J Orthop Surg Res*. 2021 Nov 20;16(1):686. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02824-5>.

28. Kim K, Kim YH, Park WM, Rhyu KH. Stress concentration near pin holes associated with fracture risk after computer navigated total knee arthroplasty. *Comput Aided Surg*. 2010;15(4-6):98-103. <https://doi.org/10.3109/10929088.2010.515419>.

Информация об авторах:

Пиманчев Олег Вячеславович, врач-травматолог-ортопед первой категории, к.м.н., заведующий Центром травматологии и ортопедии, заведующий отделением травматологии и ортопедии, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Нижняя Первомайская, д.70, 105203, г. Москва, Россия.

e-mail pimanchev@mail.ru

Небелас Роман Петрович, врач-травматолог-ортопед Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Национальный медико-

хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Нижняя Первомайская, д.70, 105203, г. Москва, Россия.

e-mail nebelrp@rambler.ru

Ряполов Юрий Владимирович, асс., заведующий кафедры травматологии и ортопедии, врач-травматолог-ортопед высшей категории Центра травматологии и ортопедии, ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Нижняя Первомайская, д.70, 105203, г. Москва, Россия.

e-mail yuriy.ryapolov@gmail.com

Гаврилюк Владислав Владимирович, клинический ординатор кафедры травматологии и ортопедии Института усовершенствования врачей ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Нижняя Первомайская, д.70, 105203, г. Москва, Россия. e-mail gavriliukvladislav@mail.ru

Романов Дмитрий Алексеевич, асс., к.м.н., ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, 119991, Москва, Россия.

e-mail romanov_d_a@staff.sechenov.ru

Автор, ответственный за переписку: Пиманчев Олег Вячеславович.

Information about authors:

Information about authors:

Oleg V. Pimanchev, MD, PhD, Head of the Center of Traumatology and Orthopedics, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Federal State Budgetary Institution "National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 105203, Moscow, Russia

Email: pimanchev@mail.ru

Roman P. Nebelas, MD, Orthopedic Trauma Surgeon, Center of Traumatology and Orthopedics, Federal State Budgetary Institution "National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 105203, Moscow, Russia Email: nebelrp@rambler.ru

Yuri V. Ryapolov, MD, Assistant Professor, Center for Traumatology and Orthopedics, Federal State Budgetary Institution "National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 105203, Moscow, Russia

Email: yuriy.ryapolov@gmail.com

Vladislav V. Gavriliuk, Clinical Resident of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Postgraduate Medical Education Institute, Federal State Budgetary Institution "National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 105203, Moscow, Russia. Email: gavriliukvladislav@mail.ru

Dmitry A. Romanov, MD, PhD, Assistant Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, 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 Email: romanov_d_a@staff.sechenov.ru

Corresponding author: Oleg V. Pimanchev.

УДК 617.3

© Хабаров В.Н., Беляевский В.А., 2026

Оригинальная статья / Original article



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЕЛАТНОЙ ФОРМЫ ЦИНКА С ГИАЛУРОНАНОМ В КАЧЕСТВЕ СЕНОМОРФИКА, МОДИФИЦИРУЮЩЕГО АНАБОЛИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СЕНЕСЦЕНТНЫХ ХОНДРОЦИТОВ

В.Н. ХАБАРОВ¹, В.А. БЕЛЯЕВСКИЙ²¹ Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты, 119146, Москва, Россия² Частная клиника «Биони Медикал», 117418, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование. Поиск веществ и методов, замедляющих и/или предотвращающих процессы разрушения хряща суставов актуален в медицине. Известно, что ингибирование экспрессии генов основных белковых комплексов – агрекана и декорина способствует его разрушению.

Цель исследования: изучить влияние протеза синовиальной жидкости с хелатной формой цинка и гиалуроновой кислотой на экспрессию агрекана, декорина и трансформирующего фактора роста (TGF- β 1) в культуре сенесцентных хондроцитов.

Материалы и методы: источником первичной культуры хондроцитов являлась реберная хрящевая ткань. Для моделирования инфламэйджинга генотоксического стресса на культуру клеток воздействовали ультрафиолетом. Изучали четыре типа культур хондроцитов: контрольная – нормальная культура (2–4 пассаж с добавлением ростовой среды); культура с моделью инфламэйджинга (МИ); культура с комбинацией инфламэйджинг + гиалуроновый гель (МИ+ГК); культура с комбинацией инфламэйджинг + препарат «Ювента» с хелатом цинка (МИ+Ювента). Верификация белковых факторов проводилась методом иммуноцитохимии с использованием первичных моноклональных антител коллагена II, IV типов. Для визуализации использовали иммунофлуоресцентную конфокальную микроскопию. Разницу в экспрессии исследуемых маркеров наблюдали в зависимости от интенсивности свечения красителей.

Результаты: При развитии у клеток SASP-фенотипа экспрессия агрекана снизилась в 5,6 раза по сравнению с контрольной и составила 0,60 %. Введение ГК повышало экспрессию агрекана до 1,34 %, а «ЮВЕНТА» - до 5,88 %. Экспрессия TGF- β 1 снизилась до 0,12 %. Введение ГК и «ЮВЕНТА» привело к равному увеличению уровня экспрессии TGF- β 1: 1,47 % и 1,45 %, соответственно. Экспрессия декорина снизилась более, чем в 16 раз, значительного влияния «ЮВЕНТЫ» по сравнению с чистого ГК обнаружено не было.

Заключение: Протез синовиальной жидкости на основе гиалуроновой кислоты с хелатной формой цинка способен частично восстанавливать анаболическую активность сенесцентных хондроцитов путем повышения экспрессии компонентов хрящевого матрикса, прежде всего, агрекана.

Ключевые слова: агрекан; декорин; трансформирующий фактор роста; хелат цинка с гиалуронатом; остеоартрит; SASP-фенотип хондроцитов.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Для цитирования: Хабаров В.Н., Беляевский В.А. Перспективы использования хелатной формы цинка с гиалуронатом в качестве сеноморфика, модифицирующего анаболические функции сенесцентных хондроцитов. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026;1:39–46.

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

PROSPECTS OF USING A CHELATED FORM OF ZINC WITH HYALURONAN AS A CENOMORPHIC MODIFYING THE ANABOLIC FUNCTIONS OF SENESCENT CHONDROCYTES

VLADIMIR N. KHABAROV¹, VALENTIN A. BELYAEVSKY²¹ Scientific Research Center of Hyaluronic Acid, 119146, Moscow, Russia² Private clinic "Bioni Medical", 117418, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. Strategies that can slow or prevent articular cartilage deterioration remain clinically important. Reduced expression of genes encoding major extracellular matrix components, including aggrecan and decorin, is associated with cartilage degeneration.

Objective: To assess how a hyaluronic-acid-based synovial fluid substitute containing chelated zinc influences the expression of aggrecan, decorin, and transforming growth factor TGF- β 1 in a senescent chondrocyte model.

Methods: Primary chondrocytes were isolated from costal cartilage and cultured. Cellular senescence/inflammation-associated genotoxic stress was induced by ultraviolet irradiation. Four conditions were compared: (1) untreated control culture; (2) inflammation model (IM); (3) IM with hyaluronic acid gel (IM+HA); and (4) IM with the hyaluronic acid + chelated zinc preparation Yuventa (IM+Yuventa). Chondrocyte phenotype was confirmed by immunocytochemistry using monoclonal antibodies to type II and type IV collagen, with signal detection by confocal immunofluorescence microscopy. Relative expression of target markers was evaluated from fluorescence intensity.

Results: IM was accompanied by a pronounced decline in aggrecan expression (5.6-fold vs control; 0.60 %). HA partially increased aggrecan to 1.34 %, whereas Yuventa raised it to 5.88 %. TGF- β 1 dropped to 0.12 % under IM and increased comparably with HA and Yuventa (1.47% and 1.45 %, respectively). Decorin decreased more than 16-fold under IM; Yuventa did not demonstrate a clear advantage over HA alone for this marker.

Conclusion: Hyaluronic acid supplemented with chelated zinc may partially restore anabolic activity in senescent chondrocytes, primarily by enhancing aggrecan expression.

Key words: aggrecan; decorin; transforming growth factor; zinc chelate with hyaluronan; osteoarthritis; SASP-phenotype of chondrocytes.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Khabarov V. N., Belyaevsky V.A. Prospects of using a chelated form of zinc with hyaluronan as a ceneomorphic modifying the anabolic functions of senescent chondrocytes. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026;1:39–46.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.39–46

Введение

С возрастом во всех тканях и органах человека накапливается особый тип стареющих клеток – сенесцентные, которые представляют собой живые, метаболически активные, но неспособные к делению дифференцированные клетки. Любая клетка организма может стать сенесцентной в силу повреждений, вызванных как внутренними, так и внешними факторами. С точки зрения воздействия на окружающие ткани наиболее важным свойством стареющих клеток является приобретение ими особого секреторного фенотипа, ассоциированного со старением (англ. Senescence-Associated Secretory Phenotype, SASP). Общий провоспалительный фон, создаваемый стареющими клетками благодаря SASP, является одним из основных механизмов хронического стерильного воспаления, связанного со старением (inflammaging). SASP-фенотип характеризуется повышенной секрецией биологически активных молекул стареющими клетками, включая хемокины, цитокины, протеазы и факторы роста. По этим причинам SASP вовлечен в патогенез и прогрессирование заболеваний, связанных со старением, включая суставные патологии и, в частности, остеоартрит (ОА) [1, 2]. Ферменты, связанные с прогрессированием ОА, были идентифицированы как факторы SASP, и их избирательное модифицирование с помощью сеноморфиков (препараты, которые модулируют свойства стареющих клеток, подавляя фенотипы старения), может в перспективе применяться при ОА [3, 4]. Однако доказательства специфического и протекторного действия сеноморфиков при лечении ОА в настоящее время не найдены [5].

Выявление специфических биомаркеров для профилактики, лечения или идентификации стадий заболевания ОА стало актуальной проблемой клинической практики. Вариабильные эпитопы коллагена II типа, а также продукты деградации коллагена, в целом, такие как мочевой С-концевой телопептид коллагена II типа (uCTX-II), сывороточный олигомерный матриксный белок хряща (COMP) и протеогликаны – агрекан, декорин, а также трансформирующий фактор роста (TGF- β) – являются основными хрящевыми биомаркерами [6]. Эти факторы продемонстрировали потенциальную применимость для оценки предрасположенности и тяжести текущего ОА. Однако, учитывая гетерогенность этого заболевания, отсутствие данных по их клинической валидации, отсутствие воспроизводимых и международно-признанных методов, ни один из вышеуказанных биомаркеров до сих пор не нашел рутинного применения в практике лечения ОА [7].

Протеогликаны: агрекан, бигликан, декорин, перлекан и версикан вносят значительный вклад, как в поддержание здоровья суставного хряща, так и в процесс его восстановления [8]. Некоторые из них оказались полезными для определения временной стадии ОА в качестве биомаркеров [6]. Ингибирование экспрессии генов основных белковых комплексов – агрекана и декорина способствует разрушению хряща суставов. Интересно, что при посттравматическом ОА декорин задерживает потерю фрагментированного агрекана и фибрилляцию поверхности хряща и, таким образом, играет защитную роль, замедляя дегенерацию хрящевой ткани [9]. В клеточной линии хондроцитов человека C28/I2 было определено влияние снижения экспрессии декорина

на профили экспрессии генов и идентифицировано 1780 дифференциально экспрессируемых генов [10]. Исследование подтвердило, что снижение экспрессии основного гена декорина значительно подавляет пролиферацию и адгезию клеток, а также индуцирует апоптоз хондроцитов.

Кроме протеогликанов, значительную роль в артрологии при заболеваниях суставов играет трансформирующий фактор роста бета (TGF- β), который контролирует пролиферацию, клеточную дифференцировку и другие функции в большинстве клеток. Исследования показали, что TGF- β 1 — ключевой ростовой фактор, необходимый для более эффективной дифференцировки МСК в хондроциты [10].

Цель исследования

Изучить как протез синовиальной жидкости с хелатной формой цинка и гиалуроновой кислотой влияет на экспрессию агрекана, декорина и трансформирующего фактора роста TGF- β 1 в культуре сенесцентных хондроцитов.

Материалы и методы

Дизайн исследования

Методами иммуноцитохимии изучали модулирующее действие хелатной формы цинка, как основного компонента в составе препарата «Ювента» – протеза синовиальной жидкости, на экспрессию TGF- β 1, агрекана и декорина в культуре хондроцитов при моделировании инфламэйджинга генотоксического стресса.

Протез синовиальной жидкости «Ювента» [11, 12] (состав: натриевая соль гиалуроновой кислоты – 15 мг/мл, натрия хлорид 8,5 мг/мл, натрия гидрофосфат дигидрат 3,5 мг/мл, натрия дигидрофосфат дигидрат 0,4 мг/мл; хлористый цинк 0,025 мг/мл) готовили для экспериментов по следующей схеме: 2,0 мл геля разводили физраствором до 10 мл и по 1 мл вводили в ростовую среду.

В проведенном исследовании источником первичной культуры хондроцитов являлась биопсия реберной хрящевой ткани, которая культивировалась в виде монослоя и поддерживалась в условиях *in vitro* в культуральной среде по стандартным протоколам. Для моделирования инфламэйджинга генотоксического стресса на культуру клеток воздействовали бактерицидной дезинфицирующей лампой Philips TUV 8W (Philips, Нидерланды), производящей коротковолновое ультрафиолетовое излучение с пиковым значением на длине волны 253,7 нм.

В исследовании использовали четыре типа культур: контрольная – нормальная культура хондроцитов (2–4 пассаж с добавлением ростовой среды), инкубация 24 часа; культура с моделью инфламэйджинга (МИ) – культура с моделированным естественным клеточным старением хондроцитов в физрастворе, инкубация 24 часа; культура с комбинацией инфламэйджинг + гиалуроновый гель (МИ+ГК) (аналогичный по составу с «Ювентой», но

без цинка); культура с комбинацией инфламэйджинг + «Ювента» (МИ+ЮВЕНТА).

Для верификации наличия белковых факторов в клетках был применён метод иммуноцитохимии с использованием первичных моноклональных антител коллагена II, IV типов. Для последующей визуализации методом иммунофлуоресцентной конфокальной микроскопии были использованы вторичные антитела, конъюгированные с Alexa Fluor 488 и Alexa Fluor 647 (1:1000, Abcam). Окрашивание препаратов проводили по стандартному протоколу. Разницу в экспрессии исследуемого маркера TGF- β 1, агрекана и декорина в каждой из четырёх культур наблюдали в зависимости от интенсивности свечения красителей (рис. 1–3).

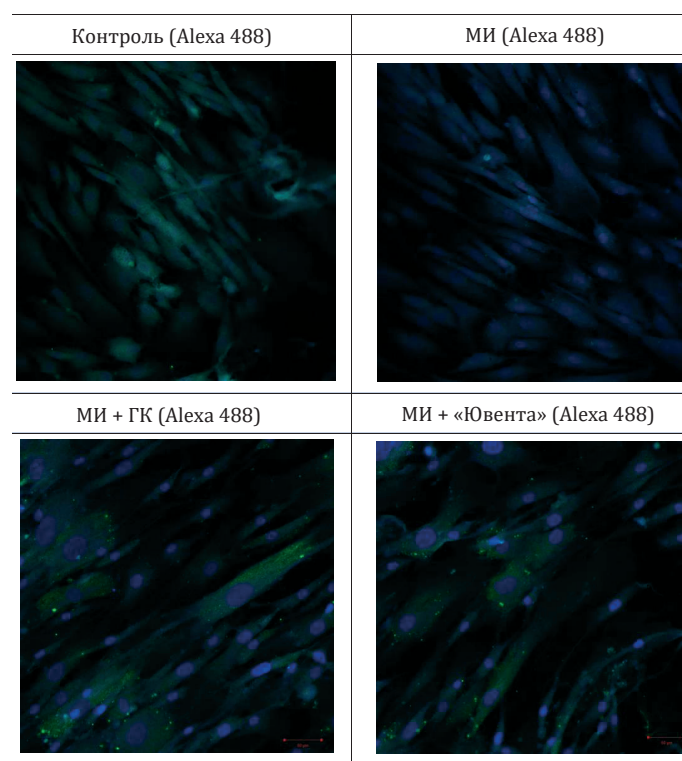


Рисунок 1. Экспрессия TGF- β 1 в культуре хондроцитов в контрольной группе и при развитии инфламэйджинга. Увеличение: $\times 1000$

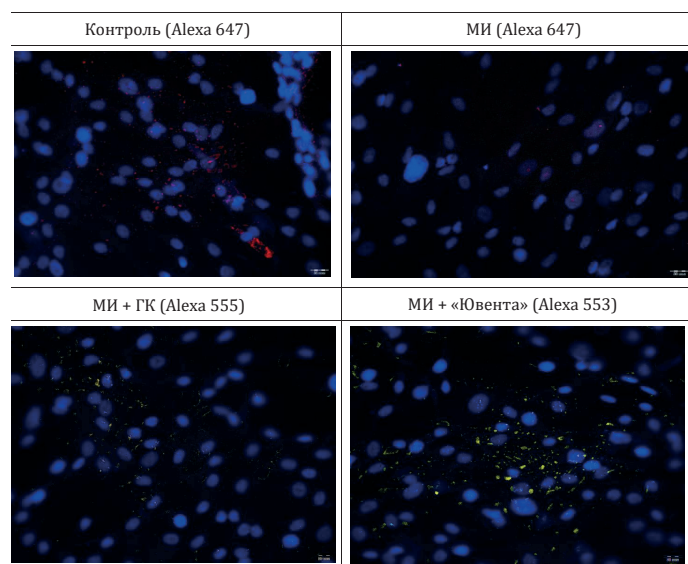


Рисунок 2. Экспрессия агрекана в культуре хондроцитов в контрольной группе и при развитии инфламэйджинга. Увеличение: x1000

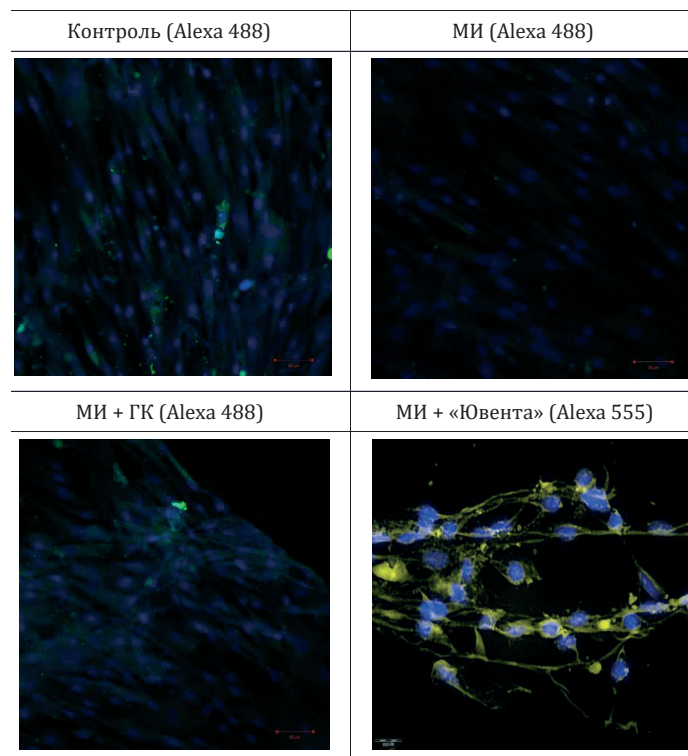


Рисунок 3. Экспрессия декорина в культуре хондроцитов в контрольной группе и при развитии инфламэйджинга. Увеличение: x1000

Статистический анализ

Результаты исследования оценивали морфометрическим методом с помощью инвертированного микроскопа Olympus IX73 (Olympus, Япония) и программного обе-

спечения cellsens Standart. Относительную площадь экспрессии рассчитывали, как площадь экспрессии маркера к общей площади поля зрения. Статистическую обработку проводили в программе Origin. Для сравнения групп использовали непараметрический U-критерий Манна Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Результаты представлены в виде среднего и стандартной ошибки среднего.

Результаты исследования

На рисунках 4–6 представлены экспериментальные данные по уровню экспрессии генов, кодирующих белки TGF- β 1, агрекан и декорин в культуре хондроцитов, подвергнутых УФ-излучению, что приводит к формированию сенесцентного клеточного фенотипа, ассоциированного со старением (SASP-фенотипа).

Площадь экспрессии TGF- β 1 в культуре хондроцитов в контрольной группе составляла 0,51 %. При развитии у клеток SASP-фенотипа, экспрессия TGF- β 1 в группе МИ снизилась до уровня 0,12 %, что соответствовало уменьшению в 4,25 раза. Введение ГК и препарата «ЮВЕНТА» привело к практически равному уровню экспрессии TGF- β 1: 1,47 % и 1,45 %, соответственно, что соответствовало 12-ти кратному росту по сравнению с культурой сенесцентных хондроцитов при моделировании естественного клеточного старения. Влияние хелатной формы цинка в этой серии экспериментов выявлено не было.

Экспрессия агрекана в культуре хондроцитов в контрольной группе составляла 3,37 %. В группе моделирования инфламэйджинга при воздействии УФ-излучения и развития у клеток SASP-фенотипа, экспрессия агрекана снизилась в 5,6 раза и составила 0,60 %. Введение ГК привело к увеличению уровня экспрессии агрекана до 1,34 %, а препарат «ЮВЕНТА» достоверно повысил уровень его экспрессии до 5,88 %, что почти в 10 раз выше по сравнению с культурой сенесцентных хондроцитов в моделировании естественного клеточного старения. Наблюдаемый эффект препарата, содержащего ГК с хелатом цинка – особенно значимый результат нашей работы, т.к. агрекан – основной протеогликан хрящевого межклеточного матрикса, от которого, в основном, зависит гомеостаз суставного хряща.

Что касается декорина, то перевод нормальных хондроцитов в сенесцентное состояние сопровождался самым значительным снижением экспрессии гена, кодирующего декорин: более, чем в 16 раз снизился его уровень (рис. 6) в клеточной культуре при УФ-облучении (площадь экспрессии декорина в культуре хондроцитов в контрольной группе составляла 0,98 %, а в группе моделирования инфламэйджинга – 0,06 %). Значительного влияния хелата цинка в составе препарате «ЮВЕНТА» по сравнению с чистым ГК зафиксировано не было: площадь

экспрессии составила 1,59 % для ГК и 1,75 % для препарата «ЮВЕНТА», что статистически не значимо.

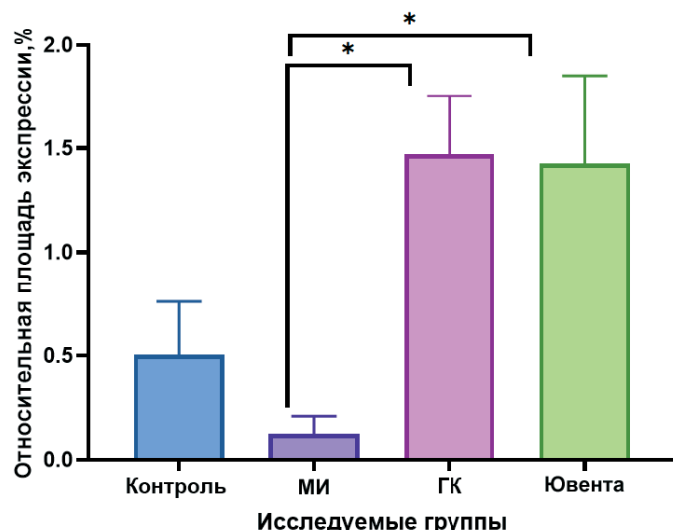


Рисунок 4. Уровень экспрессии трансформирующего фактора роста TGF-β1 в исследуемых группах клеточных культур, подвергнутых генотоксическому стрессу в модели инфламэйджинга генотоксического стресса.

Примечание: * - статистически значимое различие между группами клеток, $p < 0,05$. Исследуемые группы: контрольная - нормальная культура хондроцитов (2-4 пассаж с добавлением ростовой среды), инкубация 24 часа; культура с моделью инфламэйджинга (МИ) - культура с моделированным естественным клеточным старением хондроцитов в физрастворе, инкубация 24 часа; культура с комбинацией инфламэйджинг + гиалуроновый гель (МИ+ГК) (аналогичный по составу с «Ювентой», но без цинка); культура с комбинацией инфламэйджинг + «Ювента» (МИ+ЮВЕНТА.)

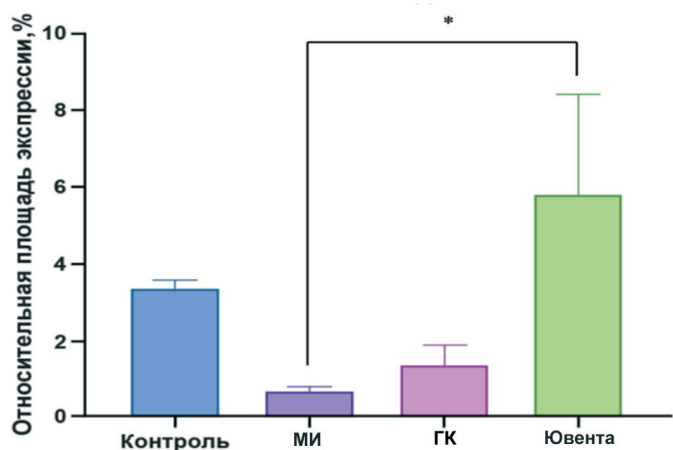


Рисунок 5. Уровень экспрессии Агрекана в исследуемых группах клеточных культур, подвергнутых генотоксическому стрессу в модели инфламэйджинга генотоксического стресса. Примечание: * - статистически значимое различие между группами клеток, $p < 0,05$. Исследуемые группы: контрольная - нормальная культура хондроцитов (2-4 пассаж с добавлением ростовой среды), инкубация 24 часа; культура с моделью инфламэйджинга (МИ) - культура с моделированным естественным клеточным старением хондроцитов в физрастворе, инкубация 24 часа; культура с комбинацией инфламэйджинг + гиалуроновый гель (МИ+ГК) (аналогичный по составу с «Ювентой», но без цинка); культура с комбинацией инфламэйджинг + «Ювента» (МИ+ЮВЕНТА.)

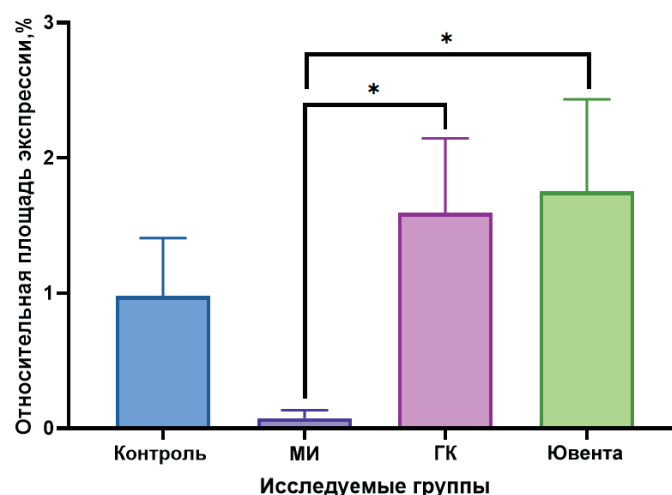


Рисунок 6. Уровень экспрессии декорина в исследуемых группах клеточных культур, подвергнутых генотоксическому стрессу в модели инфламэйджинга генотоксического стресса. Примечание: * - статистически значимое различие между группами клеток, $p < 0,05$. Исследуемые группы: контрольная - нормальная культура хондроцитов (2-4 пассаж с добавлением ростовой среды), инкубация 24 часа; культура с моделью инфламэйджинга (МИ) - культура с моделированным естественным клеточным старением хондроцитов в физрастворе, инкубация 24 часа; культура с комбинацией инфламэйджинг + гиалуроновый гель (МИ+ГК) (аналогичный по составу с «Ювентой», но без цинка); культура с комбинацией инфламэйджинг + «Ювента» (МИ+ЮВЕНТА.)

Обсуждение

В нашем исследовании рассмотрено влияние препарата «Ювента» на ключевые компоненты гомеостаза хрящевой ткани в условиях индуцированного клеточного старения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что интеграция хелатной формы цинка в структуру гиалуроновой кислоты не просто потенцирует действие последней, но и качественно меняет биологический ответ сенесцентных хондроцитов. Обнаруженное нами десятикратное увеличение экспрессии агрекана и существенная модуляция уровня TGF-β1 указывают на восстановление анаболической активности клеток, ранее находившихся в состоянии глубокого функционального угнетения под воздействием генотоксического стресса. Это позволяет рассматривать исследуемую комбинацию как эффективный инструмент преодоления "инфламэйджинга" в суставном хряще. Изучение роли TGF-β1 в патогенезе ОА показывает, что TGF-β1 способствует заживлению тканей, уравнивает действие матриксных металлопротеиназ, которые стимулируются воспалительными цитокинами и продуктами деградации хрящевого внеклеточного матрикса. Сигнальный путь TGF-β регулирует экспрессию факторов транскрипции и факторов роста, контролируя пролиферацию и дифференцировку хондроцитов [13, 14]. Транскрипционный фактор FOXO1 является ключевым регулятором аутофагии. В хондроцитах снижение экспрессии FOXO1 с возрастом

вызывает ОА из-за дисфункции аутофагии. В исследовании авторов Kurakazu I et al. [13] изучался механизм, посредством которого сигнализация трансформирующего фактора роста TGF β 1 регулирует ось FOXO1-аутофагия. Фактор TGF β 1 способствовал экспрессии мРНК и белка FOXO1, который снижается с возрастом. TGF β 1 защищает хондроциты от окислительного стресса через ось FOXO1-аутофагия [13]. В научной литературе встречается мнение, что фактор TGF β 1 может провоцировать артрофиброз. Артрофиброз или чрезмерное рубцевание суставов — это изнурительное состояние, вызывающее боль и скованность вследствие прогрессирования ОА. В основе патологии лежит нарушение регуляции сигнального пути трансформирующего фактора TGF- β 1, что стимулирует фиброгенез. Однако данные, полученные при исследовании других органов и систем, свидетельствуют о том, что интерлейкин-11 (IL-11) опосредует фиброз в результате действия TGF- β 1. В современном исследовании 2025 года изучали взаимосвязь между IL-11 и синовиальным фиброзом у пациентов с терминальной стадией ОА коленного сустава. Результаты демонстрируют сильную взаимосвязь между IL-11 и состоянием синовиального фиброза у пациентов с запущенным ОА, указывая на то, что IL-11, а не TGF- β 1, является ключевым медиатором этого процесса [15]. Результаты, полученные в нашей работе, демонстрируют, что сочетанное применение гиалуроновой кислоты с хелатной формой цинка позволяет преодолеть метаболическую инертность сенесцентных хондроцитов, инициируя мощный анаболический ответ в виде многократного усиления экспрессии агрекана и восстановления регуляторного потенциала через модуляцию фактора TGF- β 1.

Разрушение суставного хряща при ОА начинается с истощения сети гиалуронан-агрекан с последующей деградацией коллагеновых фибрилл. Снижение способности удерживать протеогликан агрекан является ранним проявлением ОА. Повышенный оборот гиалуронана тесно связан с изменениями уровня агрекана [16]. Без правильно закрепленного на клеточной поверхности агрекана несущая функция хряща оказывается под угрозой. Закрепление происходит только за счёт связывания агрекана с гиалуроновой кислотой, когда гиалуронан координируется либо с гиалуронансинтазой HAS2, либо за счёт мультивалентного связывания с клеточным рецептором гиалуронана - CD44 [17]. Полученные нами данные по увеличению экспрессии агрекана под действием препарата «Ювента» наглядно демонстрируют синергетический эффект гиалуронана и хелатной формы цинка, который позволяет не только компенсировать дефицит основного протеогликана в стареющих хондроцитах, но и значимо превосходить результаты применения традиционных монопрепаратов гиалуроновой кислоты.

Белок декорин, как один из типов молекул внеклеточного матрикса, является прототипом семейства малых лейцин-богатых протеогликанов. Имея молекулярную массу около 100 кДа, он состоит из 40-кДа основного белка и одной боковой цепи хондроитинсульфата или дерматансульфата. Малоразмерные протеогликаны, к которым и относится декорин, являются хорошо известными стимуляторами фибриллогенеза коллагена в соединительных тканях. Результаты исследований показали, что каждый такой протеогликан уникальным образом влияет на структуру коллагена как на уровне фибрилл, так и на уровне зрелых волокон, изменяя механическую реакцию тканей на нагрузку [18]. В частности, декорин продемонстрировал значительные различия в свойствах растяжения по сравнению с бигликаном и фибромодулином, что подчеркивает его особую роль в обеспечении структурно и механически прочного ответа при растягивающей нагрузке. Действие декорина разнообразно и включает способность функционировать как эндогенный панрецепторный ингибитор тирозинкиназы, регулятор как аутофагии, так и митофагии, а также как модулятор иммунной системы. Декорин проявил себя как мощный антифибротический агент [19]. Результаты нашего исследования демонстрируют, что несмотря на выраженное снижение экспрессии декорина при формировании сенесцентного фенотипа хондроцитов, добавление гиалуроновой кислоты, как в чистом виде, так и в составе протеза синовиальной жидкости с хелатной формой цинка, приводит к частичному восстановлению его экспрессии, однако не сопровождается цинк-зависимым усилением данного эффекта.

Заключение

Результаты нашей работы вносят заметный вклад в понимании молекулярно-клеточного механизма иницирования и прогрессирования суставных патологий и возможность влиять на важнейшие регуляторы клеточного метаболизма, необходимые для поддержания хрящевого гомеостаза. Показано, что генотоксический стресс сопровождается выраженным снижением экспрессии агрекана, декорина и трансформирующего фактора роста TGF- β 1, что отражает угнетение анаболической активности клеток и нарушение структуры внеклеточного матрикса, характерные для остеоартрита. Добавление гиалуроновой кислоты частично восстанавливало экспрессию исследуемых маркеров, тогда как применение препарата «Ювента», способного реанимировать анаболический потенциал сенесцентных хондроцитов. Это приводило к селективному и статистически значимому увеличению экспрессии агрекана — основного протеогликана хрящевого матрикса. При этом влияние хелатной формы цинка не сопровождалось дополнительным усилением экспрессии декорина

и TGF- β 1, что указывает на избирательный характер действия препарата на анаболический профиль сенесцентных хондроцитов.

Практическая значимость работы заключается в экспериментальном обосновании перспективности применения гиалуранового гидрогеля с хелатной формой цинка как средства, способного избирательно усиливать синтез агрекана в условиях клеточного старения, что открывает новые подходы к поддержанию хрящевого гомеостаза при остеоартрите.

Результаты настоящего исследования продолжают цикл работ, проводимых в АНО «Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты», которые на примере биомаркеров: лубрицина, коллагена II и IV, SOX9, RUNX2, NF- κ B, CD44 позволили выявить у препарата «ЮБЕНТА» выраженные общерегуляторные и геропротекторные свойства.

Список литературы / References:

1. Хабаров В.Н., Беляевский В.А. Молекулярно-клеточные механизмы иницирования и прогрессирования суставных патологий (Обзор литературы). Кафедра травматологии и ортопедии. 2025;(4): 138-147. DOI: 10.17238/issn2226-2016.2025.4.146-156 [Khabarov V.N., Belyaevsky V.A. Molecular and cellular mechanisms of initiation and progression of joint pathologies (Literature review). Department of Traumatology and Orthopedics. 2025;(4): 138-147. DOI: 10.17238/issn2226-2016.2025.4.146-156].
2. Wang S., Yang J., Xiang R., et al. Research and publication trends on knee osteoarthritis and cellular senescence: a bibliometric analysis. *Front Physiol.* 2023;14:1269-338. DOI: 10.3389/fphys.2023.1269338.
3. Liu Y., Zhang Z., Li T., et al. Senescence in osteoarthritis: from mechanism to potential treatment. *Arthritis Res Ther.* 2022; 24(1):174. DOI: 10.1186/s13075-022-02859-x.
4. Хабаров В.Н., Миронова Е.С. Инфламэйджинг: роль сенесцентных хондроцитов в патогенезе ОА. Успехи геронтологии. 2024;37(6):777-86. DOI: 10.34922/AE.2024.37.6.013 [Khabarov V.N., Mironova E.S. Inflammaging: the role of senescent chondrocytes in the pathogenesis of OA. *Advances in Gerontology.* 2024;37(6):777-86. DOI: 10.34922/AE.2024.37.6.013].
5. Oliviero F, Ramonda R. Cartilage-derived biomarkers in osteoarthritis. *Indian J Med Res.* 2021;153(4):413-15. DOI: 10.4103/ijmr.IJMR_436_20.
6. Moretti L, Bizzoca D, Geronimo A, Moretti F, Monaco E, Solarino G, Moretti B. Towards Precision Medicine for Osteoarthritis: Focus on the Synovial Fluid Proteome. *Int J Mol Sci.* 2022; 23(17):9731. DOI: 10.3390/ijms23179731.
7. Wu L, Wen D, Wang W, Wang Y, Zhang L. Identification of key genes in osteoarthritis development: biomarker discovery and therapeutic targets. *Front Med (Lausanne).* 2025; 12:1518-580. DOI: 10.3389/fmed.2025.1518580.
8. Alcaide-Ruggiero L, Cugat R, Domínguez J. Proteoglycans in Articular Cartilage and Their Contribution to Chondral Injury and Repair Mechanisms. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(13):10824. DOI: 10.3390/ijms241310824.
9. Li Q, Han B, Wang C, Tong W, Wei Y, Tseng W, Han L, Liu X, Enomoto-Iwamoto M, Mauck L, Qin L, Iozzo R, Birk D, Han L. Mediation of Cartilage Matrix Degeneration and Fibrillation by Decorin in Post-traumatic Osteoarthritis. *Arthritis Rheumatol.* 2020; 72(8):1266-77. DOI: 10.1002/art.41254.
10. Wang M, Li Z, Zhang M, Wang H, Zhang Y. Decorin knockdown affects the gene expression profile of adhesion, growth and extracellular matrix metabolism in C-28/I2 chondrocytes. *PLoS One.* 2020; 15(4):0232-321. DOI: 10.1371/journal.pone.0232321.
11. Иванов П.Л., Хабаров В.Н. Твердофазный способ получения биоактивной композиции на основе хелатных комплексов цинка, магния, марганца, меди и хрома с гиалуроновой кислотой. Патент РФ №2780485, 2022. [Ivanov P.L., Khabarov V.N. Solid-phase method for producing a bioactive composition based on chelate complexes of zinc, magnesium, manganese, copper, and chromium with hyaluronic acid. Russian Federation Patent No. 2780485, 2022].
12. Иванов П.Л., Хабаров В.Н. Протез синовиальной жидкости и способ его получения. Патент РФ №2782921, 2022. [Ivanov P.L., Khabarov V.N. Synovial fluid prosthesis and method for producing it. Russian Federation Patent No. 2782921, 2022].
13. Kurakazu I, Akasaki Y, Tsushima H, et al. TGF β 1 signaling protects chondrocytes against oxidative stress via FOXO1-autophagy axis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2021;29(11):1600-1613. DOI: 10.1016/j.joca.2021.07.015.
14. Lei Z, Tang R, Wu Y, et al. TGF-beta1 induces PD-1 expression in macrophages through SMAD3/STAT3 cooperative signaling in chronic inflammation. *JCI Insight.* 2024;9(7):1655-44. DOI: 10.1172/jci.insight.165544.
15. Schroeder R, De Jesus MA, Saweikis S, et al. Novel Interleukin-11 Inhibitors Attenuate Collagen Production in Patient-Derived Synovial Fibroblasts. *Cureus.* 2025;17(8):898-50. DOI: 10.7759/cureus.89850.
16. Ishizuka S, Tsuchiya S, Ohashi Y, et al. Hyaluronan synthase 2 (HAS2) overexpression diminishes the procatabolic activity of chondrocytes by a mechanism independent of extracellular hyaluronan. *J Biol Chem.* 2019; 294(37):13562-79. DOI: 10.1074/jbc.RA119.008567.
17. Хабаров В.Н., Бойков П.Я., Колосов В.А., Иванов П.Л. Гиалуронан в артрологии. М. Эдвантедж сольюшин. 2014. ISBN 978-5-906722-14-0 [Khabarov V.N., Boykov P.Ya., Kolosov V.A., Ivanov P.L. Hyaluronan in arthrology. M. Advantage Solyushin. 2014. ISBN 978-5-906722-14-0].
18. Lopez S, Moura H, Chow E, Kuo J, Paszek M, Bonassar L. Recombinant Small Leucine-Rich Proteoglycans Modulate Fiber Structure and Mechanical Properties of Collagen Gels. *ACS Biomater Sci Eng.* 2025; 11(7):4101-15. DOI: 10.1021/acsbomaterials.5c00732.
19. Baghy K, Szakadati H, Kovalszky I. Decorin the antifibrotic proteoglycan and its progression in therapy. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2025; 328(6):1853-65. DOI: 10.1152/ajpcell.01075.2024.

Информация об авторах:

Хабаров Владимир Николаевич – к.х.н., генеральный директор АНО «Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты». Научно-исследовательский центр гиалуроновой кислоты, Комсомольский пр., 16/38, Москва, 119146, Россия
E-mail: info@nicgk.com

Беляевский Валентин Александрович – врач по спортивной медицине, травматолог-ортопед. Частная клиника «Биони Медикал», Новочеремушкинская 50 к2, Москва, 117418, Россия
E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

Автор, ответственный за переписку: Беляевский Валентин Александрович – врач по спортивной медицине. Частная клиника «Биони Медикал», Новочеремушкинская 50 к2, Москва, 117418, Россия, E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

Information about authors:

Khabarov Vladimir Nikolaevich – Candidate of Chemical Sciences, General Director of the Scientific Research Center of Hyaluronic Acid. Hyaluronic Acid Research Center, 38/16 Komsomolsky Ave., Moscow, 119146, Russia, E-mail: info@nicgk.com

Belyaevsky Valentin Alexandrovich – sports medicine doctor, orthopedic traumatologist. Private clinic "Bioni Medical". Novocheremushkinskaya 50 k 2, Moscow, 117418, Russia, E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

Corresponding author:

Belyaevsky Valentin Alexandrovich - sports medicine doctor, orthopedic traumatologist. Private clinic "Bioni Medical". Novocheremushkinskaya 50 k 2, Moscow, 117418, Russia, E-mail: v.belyayevskiy@inbox.ru

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ



УДК 617.3

© Зейналов В.Т., Чернышов С.И., Нечаева М.И., Арапова И.А., Шкуро К.В., Гончаров Н.Г., 2026

Оригинальная статья / Original article

КОРРЕКЦИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПЯТОЧНОЙ КОСТИ ПО МЕТОДИКЕ ROMASH

В.Т. ЗЕЙНАЛОВ^{1,3}, С.И. ЧЕРНЫШОВ^{1,3}, М.И. НЕЧАЕВА¹, И.А. АРАПОВА², К.В. ШКУРО², Н.Г. ГОНЧАРОВ³¹ НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», 117593, Москва, Россия² ФГБУ НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова Минздрава России, 127299, Москва, Россия³ ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 125993, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование: сросшиеся со смещением переломы пяточной кости представляют собой сложную ортопедическую проблему, оптимальное решение которой является вызовом для хирурга. Такие клинические случаи сопровождаются рядом основных симптомов, которые вызваны не только посттравматическим артрозом подтаранного и пяточно-кубовидного суставов, а так же импиджментом между наружной лодыжкой и пяточной костью (в связи с чем происходит вывих сухожилий малоберцовой группы и воспаление их оболочек), импиджмент синдромом между таранной и большеберцовой костью в переднем аспекте голеностопного сустава, вследствие изменения нормального угла наклона таранной кости и нередкой компрессионно-ишемической нейропатии большеберцового нерва вследствие изменения анатомии тарзального канала. Мы хотим представить методику коррекции посттравматической деформации пяточной кости, которую впервые начал применять и подробно описал Romasch в 1993г., и в 2006 г., благодаря которой возможно решить проблемы связанные с импиджмент синдромом в переднем отделе голеностопного сустава, а так же высоту и соосность с осью голени смещенной на вальгус и деформированной в результате травмы пяточной кости. Она заключается в артрорезировании подтаранного сустава с выполнением косой остеотомии пяточной кости, воссоздающей первичную линию перелома, а последующая репозиция отломков позволяет получить желаемую анатомо-рентгенологическую картину. Данная техника дистракционного артрореза имеет преимущества, заключающиеся в использовании кровоснабжаемой («живой») костной ткани для обеспечения артрореза, вместо промежуточного костного трансплантата, и возможности корректировать положение заднего отдела стопы до нейтрального положения перед фиксацией.

Материалы и методы: нами проведено 11 оперативных вмешательств по предложенной методике пациентам с застарелой посттравматической деформацией пяточной кости.

Результаты: все полученные нами результаты после проведенных оперативных вмешательств в ходе оценки исходов лечения, были расценены как положительные, произошла коррекция высоты пяточной кости на 1,0–1,5 см и увеличения угла Белера от 20 до 25 градусов.

Ключевые слова: импиджмент синдром, пяточная кость, остеоартроз, деформация стопы

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Для цитирования: Зейналов В.Т., Чернышов С.И., Нечаева М.И., Арапова И.А., Шкуро К.В., Гончаров Н.Г. Коррекция посттравматической деформации пяточной кости по методике Romash. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026;1:47–58.

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

CORRECTIVE OSTEOTOMY FOR DISPLACED FRACTURES OF THE CALCANEUS USING THE ROMASH TECHNIQUE

V.T. ZEYNALOV^{1,3}, S.I. CHERNYSHOV^{1,3}, M.I. NECHAEVA¹, I.A. ARAPOVA², K.V. SHKURO², N.G. GONCHAROV³¹ Scientific and Clinical Center № 2 Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Scientific Center for Surgery named after Academician B.V. Petrovsky” 117593, Moscow, Russia² Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov of the Ministry of Health of the Russia, 127299, Moscow, Russia

³ The Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 125993, Moscow, Russia

Abstract

Introduction: displaced fractures of the calcaneus are a complex orthopedic problem, the optimal solution of which is a challenge for the surgeon. Such clinical cases are accompanied by a number of basic symptoms, which are caused by posttraumatic arthrosis of the subtalar and calcaneo-cuboid joints, impingement between the external ankle and the calcaneus (due to which there is dislocation and inflammation of the peroneal tendon sheaths), Impingement syndrome between the talus and tibia, due to the change in the normal angle of the talus and the associated impingement of the calf nerve and not infrequent compression-ischemic neuropathy of the tibial nerve due to changes in the anatomy of the tarsal canal. We would like to present a method of correction of post-traumatic deformity of the calcaneus, which was first used in 1993 and described in detail by Romasch in 2006, thanks to which it is possible to solve the problems associated with impingement syndrome in the anterior ankle joint, due to the inclination of the posterior aspects of the talus, as well as the height and alignment with the axis of the tibia displaced on valgus and deformed as a result of trauma of the calcaneus. It consists in arthrodesis of the subtalar joint with oblique osteotomy of the calcaneus, recreating the primary fracture line, and subsequent repositioning of the fragments allows to obtain the desired anatomical and radiological picture. This distraction arthrodesis technique has the advantages of using "living" bone tissue to provide arthrodesis, instead of an intermediate bone graft, and the ability to correct the position of the hindfoot to a neutral position before fixation.

Materials and methods: we performed 11 surgical interventions according to the proposed technique in patients with a long-standing posttraumatic deformity of the calcaneus. Results: we obtained positive results after the performed surgical interventions, correction of the calcaneal bone height by 1.5 cm and increase of the Belair angle by 25 degrees occurred.

Key words: impingement syndrome, calcaneal bone, osteoarthritis, foot deformity

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Zeynalov V.T., Chernyshov S.I., Nechaeva M.I., Arapova I.A., Shkuro K.V., Goncharov N.G. Corrective osteotomy for displaced fractures of the calcaneus using the Romash technique. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 47–58.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.47-58

История проблемы

Обычным методом хирургического лечения посттравматического артроза пяточно-таранного сустава при сросшихся со смещением переломах пяточной кости, сопровождающихся болевым синдромом, был и остается подтаранный артродез [1]. Однако этот метод лечения, при нарушении правильных геометрических соотношений, как правило приводит к формированию ригидной, широкой, плоской стопы с дорсифлексией таранной кости и/или угловым смещением оси пяточной кости относительно оси голени на варус или вальгус, помимо его укорочения. Gallie [2] описал технику артродеза подтаранного сустава, при которой спонгиозный трансплантат с кортикальным слоем помещается между пяточной и таранной костью через заднелатеральный доступ. Carr с соавт. [3] затем модифицировали этот метод, производя дистракцию на уровне подтаранного сустава и размещая трикортикальные структурные промежуточные костные блоки в артродезированном суставе для поддержания коррекции. С течением времени стало ясно, что все методы коррекции с использованием костных трансплантатов имеют общую проблему, связанную с тем, что положение стопы зависит от формы и правильности размещения трансплантатов. К тому же,

эти технически сложные методики очень ограничены в решение проблемы смещения пяточного бугра в вальгус-, варус-коррекции.

Методика, описанная в этом сообщении, имеет ряд преимуществ, а именно: восстанавливает высоту пяточной кости, уменьшает её ширину и позволяет корректировать эверсию стопы за счет восстановления соосности голени и стопы и анатомичного распределения естественных точек опоры. Ключевые моменты этой техники следующие: остеотомия пяточной кости вдоль первичной линии перелома, затем перемещение фрагмента бугристости обратно в более правильное положение и артродезирование подтаранного сустава через поддерживающий фрагмент и прикрепленную часть задней фасетки пяточной кости. Фиксация костных фрагментов после остеотомии, инверсия и эверсия заднего отдела стопы могут быть скорректированы путём позиционирования стопы через подтаранный сустав перед его артродезированием [4, 5].

Клинические особенности

Чтобы понять принципы описываемой методики, необходимо понимать патогенез и механику перелома пяточной кости.

Когда пяточная кость подвергается осевой нагрузке, результирующий вектор осевой нагрузки проходит косо через бугор пяточной кости, поскольку бугор находится латеральнее оси большеберцовой кости (рис. 1; Burdeaux [6] не смог воссоздать переломы пяточной кости с её инверсией по линии оси большеберцовой кости).

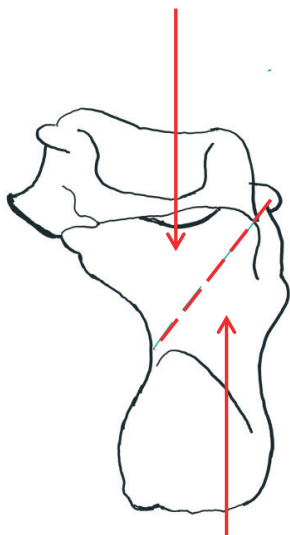


Рисунок 1. Результирующий вектор осевой нагрузки проходит косо через бугор пяточной кости

Пяточная кость, как правило, ломается вдоль этой линии и в итоге бугор смещается проксимально, латерально и кпереди. Заднелатеральная фасетка смещается с таранной костью проксимально и кнаружи, формируя перелом на уровне угла Гиссана и/или «языкообразный» перелом и, как правило, импрессию задней суставной поверхности пяточной кости (рис. 2–4).

Передний наружный фрагмент

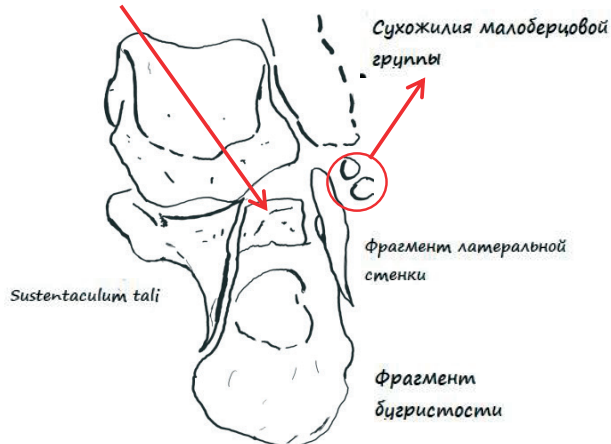


Рисунок 2. Схема перелома, демонстрирующая латеральное и проксимальное смещение бугристости, ущемление задней суставной поверхности и расширение латеральной стенки пяточной кости



Рисунок 3. Компьютерная томография, демонстрирующая смещение отломков пяточной кости

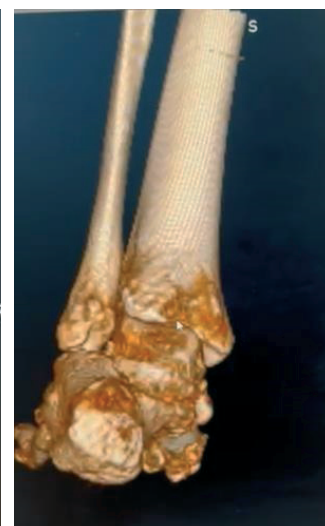


Рисунок 4. 3-D реконструкция перелома пяточной кости, дополнение к рис. 3

Таким образом, переломы пяточной кости характеризуются определенными закономерностями [7, 8]. Есть четыре основных фрагмента: бугор пяточной кости, заднелатеральная фасетка, sustentaculum tali и латеральные фрагменты. Опора таранной кости обычно сохраняет контакт и следует за фрагментом суставной поверхности пяточной кости.

Когда происходит консолидация в этом патологическом положении, вальгусное и проксимальное смещение бугристости вызывает пяточно-малоберцовый импиджмент, ущемление и вывих сухожилий мышц малоберцовой группы. Посттравматическое изменение задней фасетки суставной поверхности пяточной кости приводит к посттравматическому артрозу подтаранного сустава (рис. 5). Потеря высоты пяточной кости приводит к потере угла наклона таранной кости и большеберцово-таранному импиджменту в переднем отделе голеностопного сустава. Также может произойти подошвенная дислокация ладьевидной кости в таранно-ладьевидном суставе.

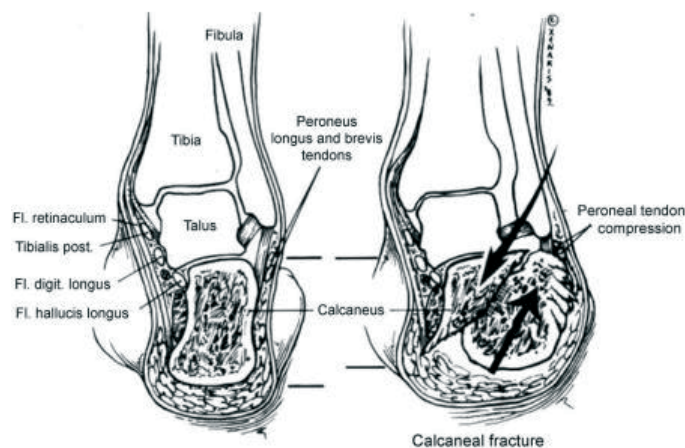


Рисунок 5. Изображение нормальной и патологической анатомии после перелома пяточной кости. Рисунок взят из «Clinical Orthopedics and Related Research. 1993; 228(157B):167.»

Симптомы включают боль в пяточно-малоберцовой области, а также в синусе предплюсны. При клиническом осмотре выявляется отсутствие привычного углубления сразу за окончанием наружной лодыжки, ограничение движения в подтаранном суставе и частичное снижение объема тыльного сгибания в голеностопном суставе. Рентгеновские снимки, как правило, выявляют уменьшение угла Белера, снижение наклона таранной кости и увеличение поперечного размера пяточной кости. Первичная линия перелома часто идентифицируется на аксиальных снимках пяточной кости и в проекции Бродена.

Результаты компьютерной томографии⁹ подтверждают все вышеперечисленное и дополняют информацию о состоянии пяточной кости, подтверждая деформацию, импиджмент и артроз.

Рассматриваемая техника способна корректировать потерю высоты пяточной кости до 1,5 см. Более значительная потеря высоты потребует удлинения за счет промежуточного костного блока. Фактор, ограничивающий коррекцию, заключается в количестве доступной костной ткани для поперечной фиксации, так как фрагменты скользят относительно друг друга и дефицитом кости в результате удлинения. Перенос точки фиксации фрагментов впереди дает лучший результат, так как в этой части пяточной кости в ходе коррекции происходит меньшее смещение костных фрагментов и площадь контакта после проведенной остеотомии максимальная.

Показания и противопоказания

Показаниями для остеотомии по Romash являются: сросшиеся со смещением переломы пяточной кости, проявляющиеся рентгенологическими признаками и клиниче-

скими симптомами пяточно-малоберцового импиджмента и ущемлением сухожилий малоберцовой группы, посттравматического артроза подтаранного сустава, потери угла Белера (и наклона таранной кости), увеличение поперечного размера пяточной кости и наличие большеберцово-таранного импиджмента. Все перечисленные симптомы могут не проявляться клинически, однако рентгенологическая картина остается неизменной.

Переломы с импрессией суставной поверхности лучше подходят для коррекции с использованием этой методики, чем переломы по типу "языкообразных".

Преимуществом представленной методики является возможность рассчитать коррекцию высоты пяточной кости до 1,5 см. Однако, если требуется большая коррекция по высоте, то это является противопоказанием к выполнению данной оперативной техники. Также важным условием является сохранность таранно-ладьевидного сустава. Если ко всему прочему отмечается артроз в пяточно-кубовидном суставе, проявляющийся клинической симптоматикой в виде болевого синдрома данной области, то оперативное лечение может быть дополнено выполнением артродезирования этого сустава.

Курение, сахарный диабет и нарушение кровообращения дистальных отделов нижних конечностей должны оцениваться у каждого пациента и, безусловно, могут быть противопоказаниями к предложенному оперативному лечению.

Предоперационное планирование

В предоперационном планировании ключевую роль играют правильно выполненные рентгенограммы стоп, в комплексе с голеностопным суставом и нижней трети голени.

Функциональные рентгенограммы стоп необходимо выполнять в прямой, боковой проекциях, а также в аксиальной проекции и в проекции Зальцмана. Рентгенограммы контралатеральной конечности нужны для сравнения, понимания особенностей анатомии отдельно взятого пациента и планирования объема коррекции. Рентгенограммы стопы в прямой проекции могут выявить вовлечение в деформацию пяточно-кубовидного сустава (рис. 6). На боковой проекции мы можем оценить потерю высоты пяточной кости и изменения наклона таранной кости и так же выявить передний большеберцово-таранный импиджмент (рис. 7). На аксиальных рентгенограммах пяточной кости оценивается первичная косая линия перелома и величина смещения отломков относительно друг друга (рис. 8). Проекция Зальцмана наглядно показывает угловое (в основном вальгусное) смещение пяточной кости (рис. 9). Интересна и показательна будет так же прямая и проекция mortis голеностопного сустава с наглядной картиной малоберцово-пяточного импиджмента (рис. 10–11).



Рисунок 6. Рентгенограмма стопы в прямой проекции демонстрирующая посттравматический артроз в пяточно-кубовидном суставе



Рисунок 7. Боковая функциональная рентгенограмма демонстрирующая потерю высоты пяточной кости и изменения наклона таранной кости и так же выявляющая передний большеберцово-таранный импиджмент



Рисунок 8. Рентгенограмма стопы в аксиальной проекции демонстрирует косую линию перелома, смещение бугристости и латеральный импинджмент



Рисунок 9. Рентгенограмма стопы в проекции Зальцмана, демонстрирующая угловое (вальгусное) смещение пяточной кости



Рисунок 10. Функциональная рентгенограмма голеностопного сустава в прямой проекции, демонстрирующая пяточно-малоберцовый импиджмент

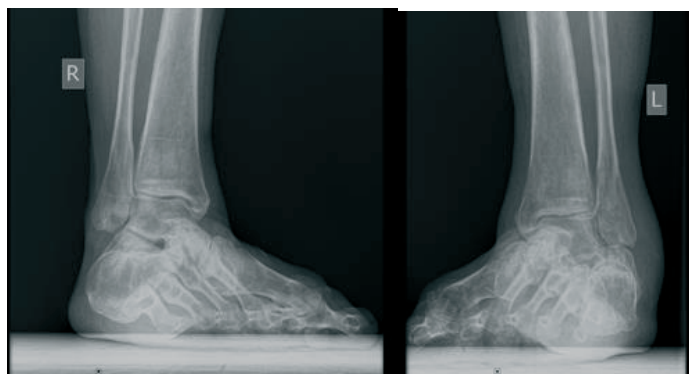


Рисунок 11. Функциональная рентгенограмма голеностопного сустава в проекции mortis, демонстрирующая пяточно-малоберцовый импиджмент

Так же, в современных реалиях, неотъемлемой частью планирования оперативного вмешательства является оценка результатов компьютерной томографии с 3D реконструкцией, что, однако, не умаляет важность выполнения правильных рентгенограмм стоп.

Техника оперативного вмешательства

Для выполнения данной методики оперативного лечения используются, как канюлированные винты с переменным шагом (винты Герберта) или с полной нарезкой диаметром от 5.5 до 7.0 мм, так и канюлированные винты меньшего диаметра – 3.5, 4.3мм для межотломковой фиксации

(в нашей практике мы используем канюлированные винты Герберта 4.3 мм) (рис 12).



Рисунок 12. Требуемый инструментарий для выполнения оперативного вмешательства

Положение пациента лежа на боку с наложенным пневматурником. Начало хирургического доступа проецируется на верхушку малоберцовой кости, выполняется прямой разрез, по направлению вдоль линии проведенной к четвертому/пятому лучу и проходящего рядом с пяточно-кубовидным суставом – расширенный L-образный доступ (Рис. 13).



Рисунок 13. Хирургический доступ

Так же, во время выполнения хирургического доступа мы можем выделить икроножный нерв и при необходимости выполнить его невролиз (рис. 14). Сухожилия малоберцовых мышц мобилизуются и отводятся в сторону (рис. 15). Латеральная стенка пяточной кости выделяется путем субпериостальной диссекции. Короткий разгибатель пальцев перемещают кпереди, производится релиз мягких тканей находящихся в пазухе предплюсны. Выделяется пяточно-кубовидный сустав, определяется и мобилизуется подтаранный сустав. Затем в пазуху предплюсны устанавливается дистрактор, подтаранный сустав визуализируется (рис. 15). Капсула сустава вскрывается, с пересечением пяточно-малоберцовой связки, рубцовые ткани иссекаются. Выделяется задний отдел капсулы сустава, производится диссекция задне-латеральной части пяточной кости с контролем малоберцовых сухожилий и сухожилия длинного сгибателя первого пальца, который мы можем видеть через сустав (рис. 16).



Рисунок 14. Выделенный икроножный нерв



Рисунок 15. Выделение сухожилий малоберцовой группы



Рисунок 16. Визуализируется сухожилия малоберцовой группы, пяточно-кубовидный сустав и подтаранный сустав

Линию перелома, как правило, можно наблюдать по задней фасетке пяточной кости и ее необходимо отметить, например при помощи насечек долотом. Далее необходимо удалить остатки хрящевого покрытия с суставных поверхностей таранной и задней фасетки пяточной кости с сохранением отмеченной линии. Под рентгеноскопическим контролем (аксиальная или прямая проекция) устанавливается направляющая спица(ы) от верхне-латеральной точки до нижне-медиальной в плоскости первичного перелома (рис. 17).

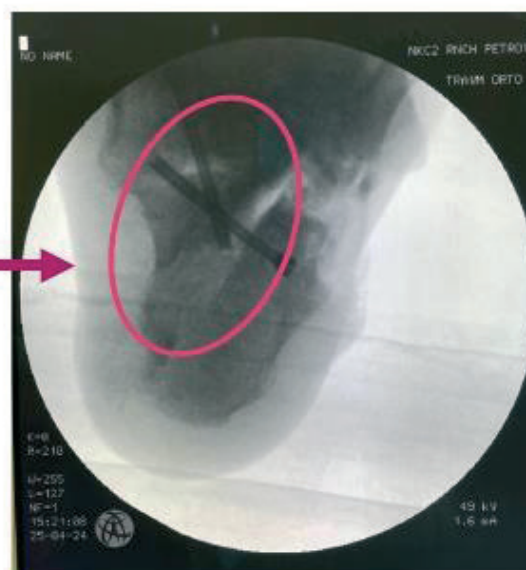
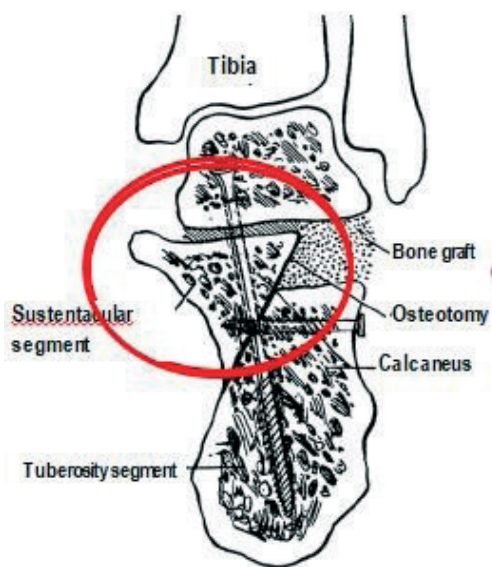


Рисунок 17. Спица установлена по линии сросшегося со смещением перелома пяточной кости

Затем по направляющим спицам выполняется остеотомия, для выполнения которой можно использовать осцилляторную пилу, однако подходя к медиальной поверхности лучше заменить ее на остеотом и довыполнить остеотомию без силового инструментария, для предотвращения повреждения нейро-васкулярных структур (рис. 18). После мобилизации отломков первым этапом производится фиксация проксимального фрагмента пяточной кости к таранной кости через шейку таранной кости винтом 4.3 мм диаметром по типу Герберта, создавая непосредственно артродез в подтаранном суставе (рис. 19).



Рисунок 18. Выполнение остеотомии по направляющим спицам



a

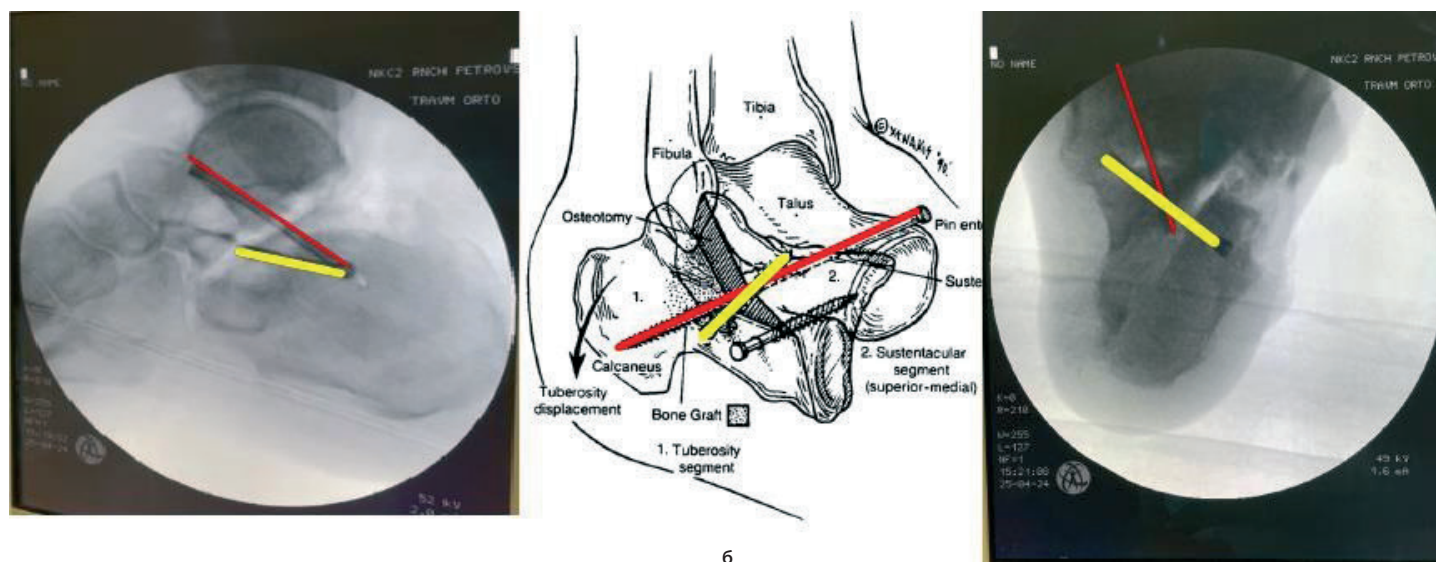


Рисунок 19. Низведение наружного фрагмента и фиксация винтами 4.3 мм в боковом (а) и фронтальном (б) аспектах

После чего следует наиболее трудная часть – низведение бугра пяточной кости медиально, в подошвенную сторону и несколько кзади. Используя остеотомы или специальные дистракторы необходимо разобщить отломки и уменьшить тягу мягких тканей. Можно использовать остеотом, поместив его под углом к линии остеотомии, создав противоскользкий эффект или спицы для фиксации отломков, при том одной спицей можно зафиксировать отломки вставив ее в линию остеотомии как противоскользкую, а так же спицы проведенные из пяточной кости в таранную, как вариант провизорной фиксации, для предотвращения потери коррекции. Так же в это время можно вывести стопу в положение максимального подошвенного сгибания, для ослабления тяги икроножно-камбаловидного комплекса.

Еще удобно использовать спицевой дистрактор Хинтермана, с одной спицей проведенной в бугристость пяточной кости, а другой в медиальный (проксимальный) фрагмент, благодаря чему при разведении бранш мы можем достичь низведение фрагмента, а поворот инструмента дает возможность сопоставление фрагментов. После достижения коррекции происходит фиксация отломков между собой малыми канюлированными разношаговыми винтами 4.3 мм по типу Герберта (рис. 19).

Затем необходимо установить винт 5.5/7.0 мм по направлению от заднелатерального края бугра пяточной кости до медиальной поверхности задней фасетки, таким образом, фиксируя фрагменты пяточной кости в единый конгломерат с таранной костью (рис. 20).

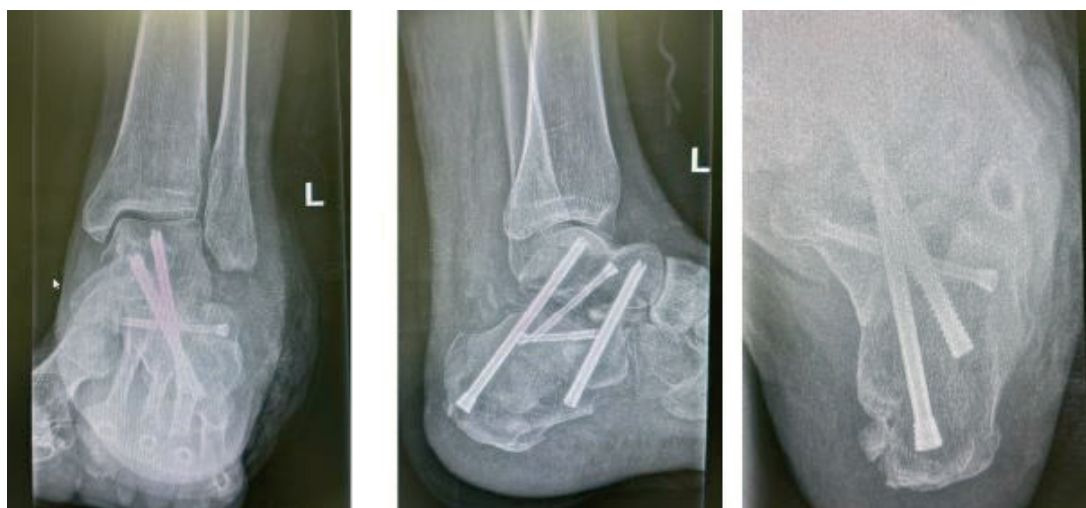


Рисунок 20. Финальная стадия – фиксация всего пяточно-таранного комплекса и общая рентген-картина результатов коррекции канюлированными винтами 5.5 мм с частичной и полной нарезкой

Перед фиксацией задний отдел стопы выводится в нейтральное положение, в соответствии с положением переднего отдела стопы для избежания чрезмерной инверсии и эверсии стопы (это ключевая особенность данной методики, в отличие от других, использующих костный трансплантат, который ограничивает эту возможность за счет своей формы и размеров). После окончательной фиксации нужно проверить объем движений в голеностопном суставе и при ограничении тыльной флексии за счет контрактуры (ретракции) икроножно-камбаловидного комплекса выполняется подкожное удлинение ахиллова сухожилия по стандартной методике (мы используем методику Strayer). В нашей практике мы выполняли этот этап во всех клинических случаях.

Учитывая коррекцию высоты пяточной кости могут быть проблемы с закрытием раны мягкими тканями, которые могут быть решены различными видами местной кожной пластики с привлечением пластических хирургов при необходимости. После ушивания ран и оставления дренажа, нижняя конечность иммобилизуется в задней гипсовой лонгете или специализированном ортезе (рис. 21).



Рисунок 21. Внешний вид конечности после операции

Послеоперационное ведение

Дренаж удаляется в первые сутки после оперативного вмешательства. В послеоперационном периоде пациенту назначается антикоагулянтная, антибактериальная, противовоспалительная, гастропротективная, гормональная (глюкокортикостероиды внутривенно) терапия. Пациенту даются рекомендации ходить без нагрузки на оперированную конечность в течение 6-8 недель и максимально охранительный режим до заживления мягких тканей, до выполнения контрольной компьютерной томографии. Далее, по результатам компьютерной томографии, пациенты, как правило, могут начинать дозированно нагружать конечность. Назначается курс физиотерапевтического лечения, под контролем врача-специалиста.

Осложнения

Не сращения в области остеотомии или артродеза возможны, они не встречались у наших пациентов, однако описаны в литературе. Фиксация артродеза в порочном положении возможна, однако внимание к инверсии/эверсии перед установкой конструкции позволяет избежать этого потенциального осложнения. Так же профилактикой осложнений является правильное предоперационное планирование и отбор пациентов в рамках показаний указанных выше. Замедленное заживление встречается у ряда пациентов, особенно в случае наличия послеоперационных рубцов в области вмешательства, но как правило заканчиваются благополучно, путем заживления вторичным натяжением, благодаря отсутствию подлежащих металлических конструкций и свободных костных блоков в области операционной раны. Случаев остеомиелита в нашей практике не было.

Результаты

Было проведено 11 оперативных вмешательств по данной методике. Статистический анализ не проводился из-за малого количества пациентов. Результаты были воспроизводимыми – можно ожидать коррекции высоты пяточной кости на 1,0–1,5 см и увеличения угла Белера на 20–25 градусов. В нашей практике не было осложнений. Однако автор методики описывает перенесенные осложнения как маловероятные и особо обращает внимание на злоупотребление курением, как важнейший фактор возможного риска. Данное сообщение имеет статус первого опыта и описания методики, как таковой. В следующих наших работах мы проведем тщательную оценку с учетом пола, возраста и соответствующих оценочных шкал, фиксация которых проводилась во всех случаях.

Обсуждение

Посттравматическая деформации после неправильно сросшегося перелома пяточной кости и связанные с этим осложнения давно изучены и важность их не оспаривается.

«Золотым стандартом» лечения таких деформация является различные виды остеотомий и артродезов. Существуют и другие виды остеотомии, которые были описаны для лечения деформации пяточной кости, они могут быть внутрисуставными, как описано в данной работе, или косыми и внесуставными, как описано в работе Хансена¹⁰. Так же были описаны поперечные внесуставные остеотомии со смещением бугристости вдоль вертикально ориентированной линии. Однако, эти остеотомии сами по себе не решают проблему пяточно-малоберцового импинджмента и смещения сухожилий малоберцовой группы. Биомеханические и анатомические принципы коррекции, представленные в этой методике относительно просты, однако, требуют опыта в хирургии задних отделов стопы и голеностопного сустава. Представленная методика хирургической коррекции, согласно нашему опыту и литературным данным, хоть и не решает все посттравматические проблемы после неправильно сросшегося перелома пяточной кости, однако, максимально сохраняет функцию голеностопного сустава, восстанавливает форму стопы, приближает к норме биомеханику стопы и дает предсказуемые результаты при правильном отборе пациентов.

Список литературы / References:

1. Conn HR. The treatment of fractures of the os calcis.// J Bone Joint Surgery 1935, Vol. 17, P. 392. PMID: 5127968
2. Gallie WE. Substragalar arthrodesis in fractures of the os calcis.// J Bone Joint Surgery 1943, Vol.25, No. 4, P.731-736. PMID: 18894610
3. Carr JB, Hansen ST, Benirschke SK. Subtalar distraction bone block fusion for late complications of the os calcis fractures.// Foot Ankle. 1988, Vol.9, P. 81-86. doi: 10.1177/107110078800900204
4. Myerson, M; Quill, G E Jr. Late complications of fractures of the calcaneus.// The Journal of Bone & Joint Surgery 1993 Vol. 75, №3, P. 331-341. PMID: 8444911
5. Romash MM. Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures.// Clin Orthopaedics Relat Res. 1993 Vol. 290, P.157-167. PMID: 8472443
6. Burdeaux BD. Reduction of calcaneal fractures by the McReynolds medial approach technique and its experimental basis.// Clin Orthopaedics Relat Res. 1983, Vol. 199, P. 87-103
7. Leung K, Chan W, Shen W, et al. Operative treatment of intra articular fractures of the os calcis. The role of rigid internal fixation and primary bone grafting: preliminary results.// J Trauma. 1989; Vol. 3, P. 232-240 doi: 10.1097/00005131
8. Palmer I. The mechanism and treatment of fracture of the calcaneus: open reduction with the use of cancellous bone grafts.// J Bone Joint Surg. 1948 Vol. 30, P.2-8.
9. Bradley S A, Davies A M. Computerized tomographic assessment of old calcaneal fractures.// Br J Radiol. 1990; Vol.63, №756, P. 926-933.
10. Hansen ST Jr. Functional reconstruction of the foot and ankle.// In: Calcaneal Osteotomy in Multiple Planes for Correction of Major Posttraumatic Deformity. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000: P.380-383. ISBN 0397517521, 9780397517527

Информация об авторах:

Зейналов Вадим Тофикович, к.м.н., врач высшей категории, врач травматолог-ортопед, НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», Литовский бульвар. Д.1А, 117593, Россия. Ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 125993, Россия.

email: zeinalov_vadim@mail.ru

Чернышов Станислав Игоревич, врач травматолог-ортопед НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», Литовский бульвар. Д.1А, 117593, Россия. Лаборант кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 125993, Россия.

email: i@dr-chest.ru

Нечаева Марина Ивановна, врач травматолог-ортопед, НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», Литовский бульвар. Д.1А, 117593, Россия.

email: m.nechaeva01@yandex.ru

Арапова Ирина Андреевна, аспирант. врач травматолог-ортопед. ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» МЗ РФ, Приорова, 125130.10, Россия.

email: ryb4sirina@yandex.ru

Шкуро Константин Викторович, врач травматолог-ортопед. ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» МЗ РФ, Приорова, 10. 125130, Россия.

email: shkuro_kostya@mail.ru

Гончаров Николай Гаврилович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии РМАНПО, врач травматолог-ортопед высшей категории, ведущий научный сотрудник НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», Литовский бульвар. Д.1А, 117593, Россия.

goncharovng57@gmail.com

Автор, ответственный за переписку:

Зейналов Вадим Тофикович, к.м.н., врач высшей категории, врач травматолог-ортопед, НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. Ак. Б.В. Петровского», Литовский бульвар. Д.1А, 117593, Россия. Ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 125993, Россия.

email: zeinalov_vadim@mail.ru

Information about authors:

Vadim T. Zeinalov, MD, PhD, Scientific Center No. 2 of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky", Litovsky Boulevard, Bldg. 1A, 117593, Moscow, Russia. Assistant professor of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education Russian Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, 125993, Moscow, Russia.

e-mail zeinalov_vadim@mail.ru

Stanislav I. Chernyshov, MD, Scientific Center № 2 of the Federal State Budgetary Institution "Russian Scientific Center for Surgery named after Ak. B.V. Petrovsky", Litovsky Boulevard. D.1A, 117593, Moscow, Russia. Laboratory assistant of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education RMANPO of the Ministry of Health of the Russian Federation, 125993, Moscow, Russia.

email: i@dr-chest.ru

Marina I. Nechaeva, MD, Scientific Center № 2 of the Federal State Budgetary Institution “Russian Scientific Center for Surgery named after. Ak. B.V. Petrovsky”, Litovsky Boulevard. D.1A, 117593, Moscow, Russia.

email: m.nechaeva01@yandex.ru

Irina A. Arapova, MD, clinical resident, Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov of the Ministry of Health of the Russia, 127299, Moscow, Russia

email: ryb4sirina@yandex.ru

Konstantin V. Shkuro, MD, Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov of the Ministry of Health of the Russia, 127299, Moscow, Russia

Nickolay G. Goncharov, MD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Russian Academy of Medical Sciences, orthopedic traumatologist

of the highest category, leading researcher Scientific Center № 2 of the Federal State Budgetary Institution “Russian Scientific Center for Surgery named after. Ak. B.V. Petrovsky”, Litovsky Boulevard. D.1A, 117593, Moscow, Russia.

email: goncharovng57@gmail.com

Corresponding author:

Vadim T. Zeynalov, MD, PhD, Scientific Center No. 2 of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky”, Litovsky Boulevard, Bldg. 1A, 117593, Russia. Assistant professor of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education Russian Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, 125993, Russia.

e-mail: zeinalov_vadim@mail.ru

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ



УДК 671.3

© Суфиянова А.Ф., Билялов А.Р., Акбашев В.Н., Галаутдинов М.Ф., 2026

Обзор литературы / Literature review

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЛЕЧЕНИЯ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.Ф. СУФИЯНОВА, А.Р. БИЛЯЛОВ, В.Н. АКБАШЕВ, М.Ф. ГАЛАУТДИНОВФГБОУ ВО БГМУ МИНЗДРАВА РОССИИ (Башкирский государственный медицинский университет),
450008, Уфа, Республика Башкортостан, Россия**Аннотация**

Введение: Перипротезная инфекция – это одно из наиболее тяжёлых осложнений после эндопротезирования суставов. По различным данным, частота ППИ составляет до 2 % после первичного эндопротезирования и до 4–6% после ревизионных вмешательств. Возрастающее число операций по замене суставов, а также рост устойчивости микроорганизмов к антибиотикам требуют постоянного совершенствования подходов к диагностике и лечению ППИ. Настоящий обзор посвящён современным стратегиям борьбы с данным осложнением, включая как традиционные, так и инновационные подходы.

Цель работы – на основании анализа современной научно-медицинской литературы обобщить современные подходы к диагностике и лечению перипротезной инфекции, рассмотреть эпидемиологию, методы лечения и алгоритмы ее диагностики.

Материалы и методы. Для проведения обзора литературы по перипротезной инфекции, методам ее диагностики и лечения был осуществлен систематический поиск научных публикаций в базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar. Были отобраны исследования, обзоры и метаанализы, опубликованные за последние 10 лет. В общей сложности было проанализировано 47 научных исследований.

Результаты и обсуждение. Проведённый анализ показал, что частота перипротезной инфекции составляет 1–2 % после первичного эндопротезирования и около 4 % после ревизионной артропластики. Основными возбудителями ППИ являются коагулазонегативные стафилококки (до 43 % случаев) и золотистый стафилококк (до 23 %). До 30 % инфекций остаются не идентифицированными вследствие образования биоплёнок и предшествующей антибиотикотерапии. Лидирующим методом лечения хронической перипротезной инфекции является двухэтапная ревизионная артропластика с применением антибактериальных цементных спейсеров, включая их современные модификации. Однако они также имеют ограничения использования. Комплексное применение современных стратегий лечения, включая хирургические вмешательства, антибактериальную терапию и использование спейсеров из различных материалов представляет собой перспективное направление в терапии хронической перипротезной инфекции. Особого внимания требует разработка методов комплексной диагностики и лечения перипротезной инфекции.

Заключение. На основании данных 47 научных статей получены сведения об эпидемиологии перипротезной инфекции, классификации основных видов возбудителей, методах ее диагностики и алгоритмах лечения. Обзор консолидирует современные знания и последние инновации в диагностике и лечении ППИ, заполняя пробел в русскоязычной литературе.

Ключевые слова: перипротезная инфекция; осложнения эндопротезирования; биопленки; коагулазонегативные стафилококки; спейсеры; ревизионное эндопротезирование.

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

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Суфиянова А.Ф., Билялов А.Р., Акбашев В.Н., Галаутдинов М.Ф. Современные аспекты лечения перипротезной инфекции: обзор литературы. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1:59–70.

CURRENT ASPECTS OF PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION TREATMENT: A LITERATURE REVIEW

ALIYA F. SUFIYANOVA, AZAT R. BILYALOV, VLAD N. AKBASHEV, MARS F. GALAUTDINOVFederal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Medical University" of the Ministry
of Health of the Russian Federation, 450008, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Abstract

Introduction: Periprosthetic joint infection (PJI) remains one of the most serious complications following total joint arthroplasty, with an incidence of up to 2 % after primary and 4–6 % after revision procedures. Increasing antimicrobial resistance and the complexity of treatment necessitate continuous refinement of diagnostic and therapeutic strategies.

Aim. To provide a comprehensive review of current diagnostic methods and treatment approaches for PJI, with a particular focus on recent spacer innovations. This article is the first Russian-language review to systematize up-to-date global data and technological advances in the field.

Materials and Methods. A systematic search was conducted in PubMed, eLIBRARY, and Google Scholar databases, focusing on publications from the past 10 years. Inclusion criteria followed the PRISMA protocol. Forty-seven articles, including clinical studies, meta-analyses, and reviews, were analyzed.

Results and discussion. Coagulase-negative staphylococci and *Staphylococcus aureus* remain the most frequent pathogens, often protected by biofilms. Diagnostic criteria from MSIS and ICM include biomarkers (e.g., alpha-defensin), leukocyte esterase, and synovial fluid analysis. Two-stage revision arthroplasty with antibiotic-loaded cement spacers remains the standard of care. The review highlights novel spacer modifications, including personalized 3D-printed designs, embedded drug reservoirs, and magnetically controlled delivery systems. The potential role of bacteriophage therapy in multidrug-resistant infections is also discussed.

Conclusion. This review consolidates current knowledge and recent innovations in PJI diagnosis and treatment, addressing a gap in Russian-language literature. The integration of advanced materials, technologies, and diagnostic tools represents a promising direction for improving patient outcomes.

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: Sufiyanova A. F., Bilyalov A. R., Akbashev V. N., Galautdinov M. F. Current aspects of periprosthetic joint infection treatment: a literature review. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 59–70.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.59-70

Введение

Перипротезная инфекция – это одно из наиболее тяжёлых осложнений после эндопротезирования суставов. По различным данным, частота ППИ составляет до 2 % после первичного эндопротезирования и до 4–6 % после ревизионных вмешательств. Возрастающее число операций по замене суставов, а также рост устойчивости микроорганизмов к антибиотикам требуют постоянного совершенствования подходов к диагностике и лечению ППИ. Настоящий обзор посвящён современным стратегиям борьбы с данным осложнением, включая как традиционные, так и инновационные методы.

Цель работы – на основании анализа современной научно-медицинской литературы рассмотреть эпидемиологию, методы лечения и алгоритмы диагностики перипротезной инфекции.

Материалы и методы

Для проведения обзора литературы по перипротезной инфекции, методам ее диагностики и лечения был осуществлен систематический поиск научных публикаций в базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar. Согласно протоколу сбора данных PRISMA были определены критерии включения и исключения из обзора. Основными критериями включения были:

– Оригинальные исследования, обзоры и метаанализы, опубликованные за последние 10 лет.

– Статьи, описывающие основные алгоритмы лечения ППИ, методы диагностики и лечения, а также результаты хирургических вмешательств и статистические данные об осложнениях после них.

Критерии исключения:

– Работы, не имеющие клинической значимости.

– Экспериментальные исследования без подтвержденной клинической эффективности.

– Статьи на не рецензируемых ресурсах.

Литература была отобрана путем систематического поиска с использованием ключевых слов: «periprosthetic joint infection», «biofilm», «spacer», «hip spacer», «knee spacer», «перипротезная инфекция», «осложнения эндопротезирования», «био пленки», «коагулазонегативные стафилококки», «спейсеры тазобедренного сустава», «спейсеры коленного сустава», «спейсеры», «инфекционные осложнения в травматологии». Полученные данные были упорядочены по следующим направлениям:

– Эпидемиология.

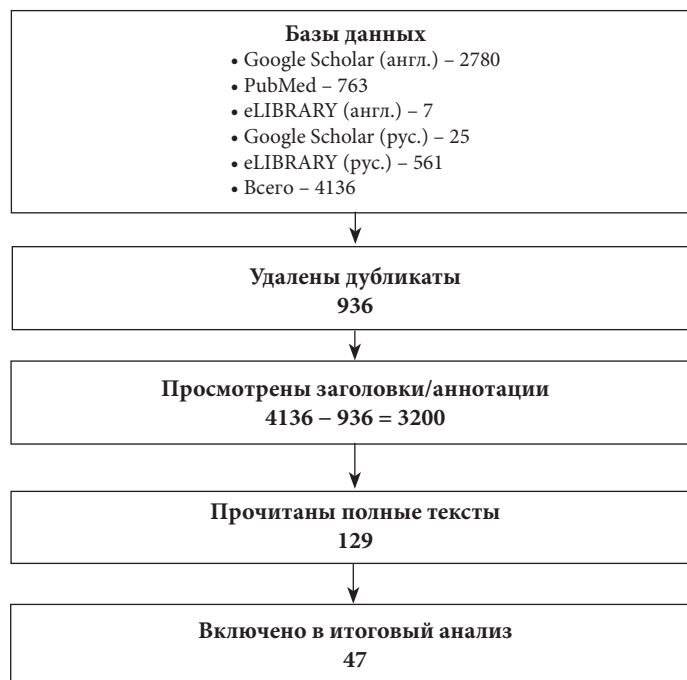
– Возбудители инфекции и частота их встречаемости.

– Классификация и критерии для постановки диагноза, с указаниями диагностических алгоритмов.

– Определение роли био пленки и основные этапы ее формирования.

– Методы лечения, включая консервативные и хирургические стратегии, а также их современные модификации и ограничения в использовании.

Результаты поиска:



Результаты и обсуждение

Эпидемиология

Перипротезная инфекция (ППИ) характеризуется инфицированием компонентов эндопротеза и прилежащих тканей с развитием локального и периартикулярного воспаления.

ППИ встречается в 1–2 % случаев первичной и в 4 % случаев ревизионной артропластики [1]. Согласно данным, в 2019 году в Российской Федерации было выполнено 147 061 операция первичного эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов. В этом же году зарегистрировано 6 606 случаев ортопедической имплантат-ассоциированной инфекции тяжёлого течения, из которых 4 282 случая связаны с эндопротезированием крупных суставов, что составляет 2,91 % от общего числа операций первичного эндопротезирования [2]. По прогнозам А. М. Schwartz и соавторов, число первичных ревизионных операций скоро будет составлять 10% от числа всех первичных операций или около 400 000 случаев в год, а ППИ будет ведущей причиной ревизий к 2030 году [3].

Проблемы эпидемиологического мониторинга ППИ в Российской Федерации связаны с недостаточной регистрацией осложнений. Доступные данные часто основаны на локальной статистике отдельных лечебных учреждений, что не позволяет сформировать целостное представление об эпидемиологии данной патологии [4, 5]. Кроме того, организационные сложности маршрутизации пациентов значительно влияют на своевременность диагностики

и лечения: путь от первичного медицинского звена до специализированного центра может занимать год и более, что способствует хронизации инфекционного процесса [2].

Согласно мировым исследованиям, число ревизий эндопротезов тазобедренного сустава превышает аналогичные показатели для коленного сустава. Тем не менее, ежегодный прирост операций наблюдается в обеих категориях. Перипротезная инфекция является причиной 25% ревизий коленного сустава и 15% ревизий тазобедренного сустава, что подчёркивает её значимость как ведущего осложнения ревизионной артропластики [6]. Прогнозируется, что к 2030 г. количество ревизионных артропластик тазобедренного сустава увеличится в среднем на 43–70 %, а коленного сустава — на 78–182 % [3].

Возбудители

Микроорганизмы, вызывающие (ППИ), чаще всего относятся к грамположительным бактериям. Наиболее распространёнными возбудителями являются коагулазонегативные стафилококки (*Staphylococcus epidermidis*, *S. hominis*, *S. haemolyticus* и др.), на долю которых приходится 30–43 % случаев. *Staphylococcus aureus* (метициллин-чувствительные и метициллин-резистентные штаммы) встречается в 12–23 % случаев. Реже ППИ вызываются стрептококками (9–10 %), энтерококками (3–7%), анаэробными бактериями (2–4 %) и грибами рода *Candida* (1–3%) [7].

В 10–30 % случаев возбудителя выявить не удаётся. Это обусловлено, в первую очередь, назначением антибиотиков до взятия проб, а также наличием биоплёнок, затрудняющих культивирование. Грамотрицательные микроорганизмы, включая *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli* и другие, занимают 5–23% случаев. Эти патогены характеризуются более высокой вирулентностью и устойчивостью к антибиотикам, что утяжеляет клиническое течение инфекции [8]. В таблице 1 представлена частота встречаемости возбудителей в микробных сообществах от общего числа идентифицированных организмов [9].

Таблица 1

**Частота встречаемости возбудителей
в микробных сообществах
от общего числа идентифицированных организмов**

Идентифицированные возбудители		Литературные источники
Грам (+) возбудители ППИ	Грам (-) возбудители ППИ	
MRSA (34 %)	<i>P. aeruginosa</i> (60 %)	Tsiskarashvili al (2022) [9]
MSSA (21 %)	<i>A. baumannii</i> (61 %)	
MRSE (54 %)	<i>E. coli</i> (58 %)	
<i>S. haemolyticus</i> (22 %)	<i>K. pneumoniae</i> (60 %)	

Окончание Таблицы 1

Идентифицированные возбудители		Литературные источники
Грам (+) возбудители ППИ	Грам (-) возбудители ППИ	
<i>S. hominis</i> (25 %)	<i>E. cloacae</i> (75 %)	Tsiskarashvili al (2022) [9]
<i>Streptococcus</i> sp. (50 %)	<i>M. morgani</i> (100 %)	
<i>Staphylococcus</i> sp. (60 %)	<i>S. marcescens</i> (33 %)	

Классификация и диагностика

Клиническое проявление перипротезных инфекций (ППИ) определяется вирулентностью возбудителя и временем их возникновения после операции. Согласно временной классификации Douglas R. Osmon и соавт. (2013), выделяют три группы ППИ:

Ранние инфекции (до <3 месяцев после операции), вызванные высоковирулентными микроорганизмами (*S. aureus*, стрептококки, энтерококки).

Отсроченные инфекции (от 3 до 24 месяцев после операции), чаще обусловленные низковирулентными патогенами, такими как коагулазонегативные стафилококки (*S. epidermidis*) и *Propionibacterium acnes*.

Поздние инфекции (после >24 месяцев после операции), возникающие в результате гематогенного распространения патогенов из удалённых инфекционных очагов [10]

Диагностика ППИ основывается на совокупности клинических, лабораторных и микробиологических данных [11]. Важную роль играют методы микробиологической верификации, включающие посеы тканей [12] и методы соникации для разрушения биоплёнок. Дополнительно используются современные методы, такие как определение биомаркеров (α -дефензин) и молекулярные подходы (ПЦР), которые значительно повышают точность диагностики [13]. В таблице 2 представлены критерии для постановки диагноза ППИ согласно данным американского сообщества MSIS и ICM.

Таблица 2

Критерии для постановки диагноза ППИ, согласно данным американского сообщества MSIS (Musculoskeletal Infection Society) [14] и ICM (International Consensus Meeting) 2018 г. [15]

Большие критерии:	Имеется свищевой тракт, сообщающийся с компонентами эндопротеза
	Два положительных результата микробиологического исследования с фенотипически идентичными микроорганизмами перипротезных тканей или синовиальной жидкости

Окончание Таблицы 2

Малые критерии:	Повышение скорости оседания эритроцитов (более 30 мм/ч для хронической инфекции)
	Концентрация С-реактивного белка в сыворотке крови (более 100 мг/л для острой инфекции и более 10 мг/л для хронической инфекции)
	Повышенное количество лейкоцитов в синовиальной жидкости (более 10000 кл/мл для острой инфекции и 3000 клеток для хронической инфекции)
	Увеличение процентного соотношения нейтрофилов (PMN%) в синовиальной жидкости (более 90% для острой инфекции и более 70% для хронической)
	Наличие гноя в пораженном суставе
	Выделение микроорганизмов в одной культуре перипротезной ткани или жидкости, или более пяти нейтрофилов в поле высокой мощности в пяти полях наблюдаемых при гистологическом анализе перипротезной ткани при увеличении 400

Основываясь на данных американского сообщества MSIS (Musculoskeletal Infection Society), для постановки диагноза ППИ необходимо наличие свищевых трактов, связанного с компонентами эндопротеза, или два положительных результата микробиологического исследования с фенотипически идентичными микроорганизмами перипротезных тканей или синовиальной жидкости. Кроме этого, наличие четырёх малых критериев (или более) из шести подтверждает диагноз ППИ [14].

Существуют еще несколько диагностических алгоритмов, среди которых ICM (International Consensus Meeting 2018), WAIOT (The World Association against Infection in Orthopedics and Trauma) [16], EBJIS (The European Bone and Joint Infection Society 2018) [17]. Согласно исследованиям, проведенным для оценки диагностических алгоритмов, наибольшее количество ложноотрицательных результатов наблюдается при использовании алгоритма WAIOT. Это связано с субклиническим течением ППИ, обусловленной слабовирулентным возбудителем. В то же время наибольшее количество ложноположительных результатов было получено согласно алгоритму EBJIS 2018. Такой результат был обусловлен критериями, согласно которым цитоз аспирата более 2000 кл/мкл и/или доля нейтрофилов более 70 %

является подтверждением диагноза ППИ [18]. В таблице 3 представлены пороговые значения, указывающие на наличие ППИ, согласно критериям ICM.

Таблица 3

Пороговые значения, указывающие на наличие ППИ, согласно критериям ICM (International Consensus Meeting) 2018 г. [15]

Критерий	Хроническая ППИ	Острая ППИ
Общее количество лейкоцитов	3000 клеток/мкл	10 000 клеток/мкл
Количество нейтрофилов	70 %	90 %
Тест на лейкоцитарную эстеразу	++	++

При анализе синовиальной жидкости наиболее информативным и высокочувствительным тестом является определение α -дефенсина [19, 20].

Микробиологическое исследование перипротезных тканей с разных участков является золотым стандартом в диагностике ППИ. Согласно исследованиям одних авторов во время хирургической обработки или удалении протеза следует сдать не менее 3, а в оптимальном случае 5 или 6 образцов перипротезной ткани, выделенной во время операции, на аэробный и анаэробный посев, чтобы максимально увеличить вероятность постановки микробиологического диагноза [21]. Эти значения были включены в критерии диагностики ICM [14].

Так как вокруг эндопротеза часто образуется биопленка, бактерии под которой трудно высеять в питательных средах для ее удаления используется метод соникации, заключающийся в использовании вибрации и ультразвука. Исследования показывают, что данный метод демонстрирует более высокую чувствительность по сравнению с микробиологией тканевых биоптатов [22].

Роль образования биопленки

Коагулазонегативные стафилококки (Coagulase-Negative Staphylococci, CoNS) являются одними из основных внутрибольничных патогенов, связанных с имплантассоциированной инфекцией [23]. Наиболее распространённым видом среди CoNS является *Staphylococcus epidermidis*, который часто вызывает инфекции, ассоциированные с биоплёнками [24]. Эти инфекции (FBRI — Foreign Body-Related Infections) связаны с высокой устойчивостью бактерий к антибактериальной терапии и значительными трудностями в лечении [25].

Образование биоплёнки является ключевым этапом патогенеза инфекций, вызванных CoNS. После установления медицинского имплантата его поверхность покрывается внеклеточным матриксом и белками плазмы, такими как фибриноген, фибронектин, тромбоспондин, коллаген, фактор фон Виллебранда и витронектин. Эти белки выполняют роль рецепторов для бактериальных адгезинов, что способствует их прикреплению к поверхности имплантата. Прикрепление микроорганизмов приводит к формированию многослойной биоплёнки, которая созревает и обеспечивает защиту бактерий от действия антибиотиков и иммунной системы [26,27].

Созревшая биоплёнка может стать источником вторичных инфекций. Отдельные бактерии или их скопления отделяются от поверхности имплантата и распространяются по кровотоку, что приводит к метастатическим инфекциям [23]. Дополнительно, *S. epidermidis* способен проникать в костные клетки, избегая иммунного ответа организма и снижая эффективность антибактериальной терапии [27]. В таблице 4 представлены основные этапы формирования биопленки.

Таблица 4

Этапы формирования биопленки

Этап патогенеза образования биопленки	Процессы, происходящие на этом этапе	Литературные источники
Установка медицинского имплантата	Поверхность имплантата покрывается внеклеточным матриксом и белками плазмы (фибриноген, фибронектин, тромбоспондин, коллаген, фактор фон Виллебранда, витронектин).	Gries et al. (2017) [27] Arciola et al. (2018) [26] França et al. (2021) [23]
Формирование многослойной биопленки, обеспечивающей защиту от антибиотиков и иммунной системы.	Прикрепление бактерий к этим молекулам с помощью специфических адгезинов.	
Образование очагов вторичной инфекции	Отдельные бактерии или их скопления отделяются от поверхности имплантата и распространяются по кровотоку.	

Лечение инфекций, вызванных CoNS, осложняется их устойчивостью к метициллину и ограниченным числом эффективных протоколов. Это подчёркивает необходимость разработки новых терапевтических подходов, направленных на разрушение биоплёнок и повышение чувствительности бактерий к антибиотикам [23].

Лечение

Общие принципы лечения

Терапия ППИ требует мультидисциплинарного подхода, включающего комбинацию антимикробной терапии и хирургических вмешательств [7, 28]. Консенсус по лечению инфекций костно-мышечной системы (International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection, 2018) не предлагает универсального алгоритма, однако выделяет ключевые стратегии, зависящие от стадии инфекции и состояния пациента [29].

Целью комбинированного подхода к лечению является снижение частоты рецидивов, восстановление функции конечности и купирование воспалительного процесса. При хирургическом лечении она достигается при удалении всех инфицированных тканей, санации перипротезной зоны и установке антибактериального спейсера.

Эффективность лечения варьируется в зависимости от стадии заболевания: на ранних этапах успешность достигает 74 %, при поздних острых инфекциях – 49 %, при хронических – 44 % [30].

"Хирургическое лечение"

- DAIR (дебридмент, антибиотики и удержание имплантата). При острых инфекциях со стабильным эндопротезом и достаточным объёмом мягких тканей рекомендуется стратегия DAIR. Она предполагает тщательную хирургическую обработку очага инфекции с сохранением имплантата, системное и локальное применение антибиотиков [21]. Эффективность данного метода варьируется от 26 до 95 %, в зависимости от времени обращения и антибиотикочувствительности [13, 31].

- Ревизионная хирургия с удалением импланта. Если пациент не подходит для DAIR (нестабильность имплантата, массивные дефекты тканей), применяется ревизионное лечение, которое может быть выполнено в один этап (при хорошем качестве тканей и известной чувствительности патогена) или в два этапа. При двухэтапной хирургии временно устанавливается спейсер с последующей реимплантацией эндопротеза [21]. Общая успешность метода достигает 83,3 %. Однако рецидивы после первого этапа отмечаются в 28,3 % случаев; после второго этапа частота снижается до 3,3 % [5].

- Альтернативные методы. У пациентов, которым хирургическое лечение противопоказано, используются паллиативные методы: резекционная артропластика, артродез

или ампутация. Эти подходы применяются редко и преимущественно при хронических ППИ [32].

"Роль спейсеров"

Одним из перспективных методов является применение полиметилметакрилатных (ПММА) спейсеров, пропитанных антибиотиками.

Спейсеры классифицируются на:

- Артикуляционные (динамические) – сохраняют функцию сустава, способствуя улучшению качества жизни пациента и эмоционального состояния [33].

- Неартикуляционные (статические) – обеспечивают более высокую концентрацию высвобождаемых антибиотиков, но ограничивают подвижность сустава [34].

На рисунке 1 представлена схема изготовления протеза при помощи методов компьютерного моделирования и низкотемпературной 3Д-печати. Использование спейсеров позволяет создать локально высокие концентрации антибиотиков в очаге инфекции. Однако этот метод имеет ограничения: пик высвобождения антибиотика приходится на первые 1–3 дня после установки, а затем уровень концентрации снижается. Показатели выше минимальной подавляющей концентрации (МПК) варьируются между исследованиями, что затрудняет стандартизацию подхода [35].

В таблице 5 представлены некоторые виды оптимизации спейсеров. Так, например, методика добавления керамики в состав ПММА способствует улучшению его механических свойств, обеспечивающих стабильность спейсера, а также помогает уменьшить износ поверхности при движении. Такой состав создает депо для антибиотиков, поддерживающих терапевтические концентрации препарата на местном уровне, что позволяет снизить системные побочные эффекты применения антибактериальных препаратов.

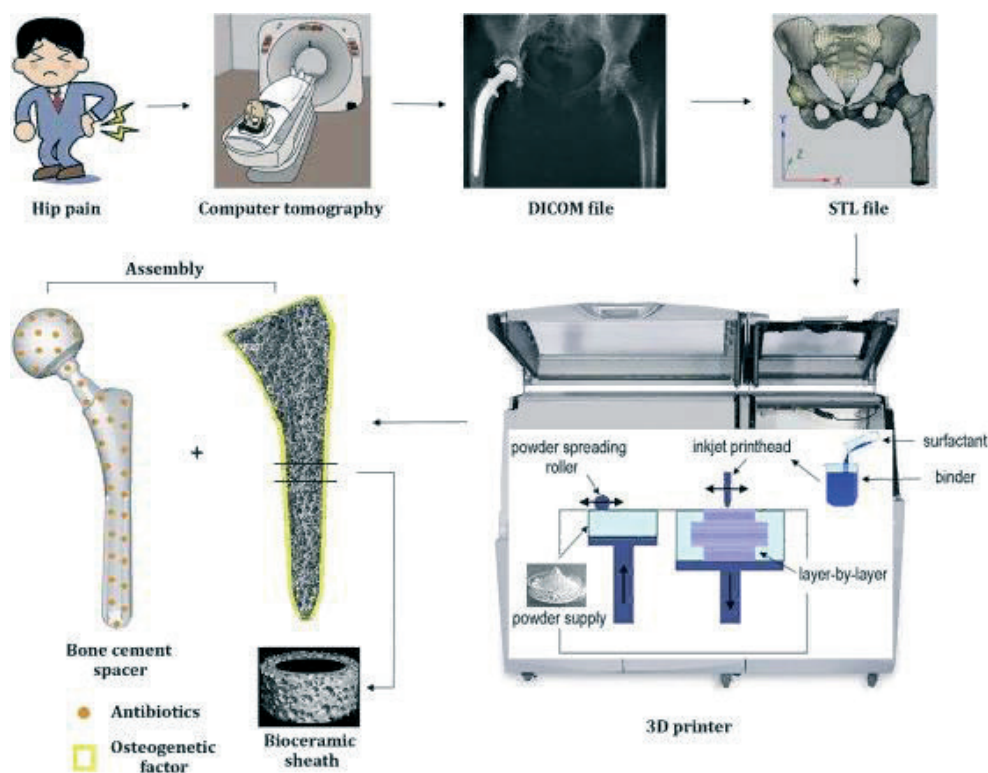


Рисунок 1. Схема изготовления протеза при помощи методов компьютерного проектирования и низкотемпературной 3Д-печати, и сборки с использованием костно-цементного стержня (ПММА) с биокерамической оболочкой [36]

Таблица 5

Варианты оптимизации различных видов спейсера]

Вариант модификации	Количество пациентов / протезов	Сроки наблюдения	Результаты	Литературные источники
Добавление в состав смеси с ПММА керамики	1) 667 пациентов 2) 56 тазобедренных суставов	1) 5 лет 2) 15–20 лет	1) У пациентов с тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава четвертого поколения выживаемость по Каплану-Мейеру без необходимости повторной операции по любой причине составила 98,6% 2) В ретроспективном исследовании керамической головки третьего поколения показатель выживаемости по Каплану-Мейеру составил 93,7% через 15 лет и 73,6 % через 20 лет. Данные исследования позволяют сделать вывод о том, что цемент с таким составом имеет высокую прочность на износ и достаточную биосовместимость.	1) Lim, S. J. et al. (2018) [37] 2) Shim, B. J. et al. (2022) [38]
Использование ферромагнита и помпового насоса для неинвазивной регуляции доставки препаратов	10 кроликов	Эксперимент проводили через 2 недели после заживления раны	Экспериментальные исследования были проведены для оценки функциональных возможностей макета и подтвердили возможность выделения лекарственного препарата под воздействием магнитного поля.	Varfolomeev, D. I. et al. (2020) [39]

Окончание Таблицы 2

Вариант модификации	Количество пациентов / протезов	Сроки наблюдения	Результаты	Литературные источники
Использование микродвигателя, управляемого радиопередатчиком через сигнал приемника	2 группы кроликов по 10 в каждой (основная и контрольная)		Нагноение в основной группе у 2 кроликов, в контрольной у 7. Заживление ран в основной группе было лучше, чем в контрольной.	Варфоломеев Д.И. (2023) [40]
Добавление в состав смеси с ПММА измельченной кофейной шелухи	На композитах ПММА коровьих костей с различной весовой долей кофейной шелухи (0, 2, 4, 6 и 8 масс. %).		Исследование прочности и износа имеет перспективу дальнейших исследований в клинике.	Fouly, A. et al. (2023) [41]
Полимерный композит полиметилметакрилата (ПММА) с нанокерамикой Zr и материалом HAp	3 вида смесей различной концентрации		Механические свойства трех видов смесей с различной концентрацией улучшались с увеличением концентрации нанокерамики в композитном материале по сравнению с чистым ПММА. Однако увеличение концентрации Zr привело к значительному снижению твердости и однородности с ПММА.	Rasheed, D. M. et al. (2020) [42]

Исследования показывают, что были предприняты многие попытки найти наиболее приемлемую комбинацию смеси для устранения дефекта костной ткани с помощью техники Маскле (Masquelet technique). Были использованы такие материалы, как: ПММА, силикон, полипропилен, титан, сульфат кальция, губки из ПВА (PVA, Polyvinyl alcohol sponge) [43].

В качестве еще одной модификации смеси ПММА было предложено добавление измельченной кофейной шелухи. Данный инновационный метод интересен тем, что смесь также как и в предыдущих методах имеет более высокую прочность и жесткость, но является более экологичной и биосовместимой [44]. Схема подготовки подобных образцов представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема подготовки образцов композита из ПММА и кофейной шелухи [42]

Модификации подвергаются не только материалы, из которых изготавливается спейсер, но и способы доставки антибактериальных веществ на его поверхность. Разработаны спейсеры тазобедренного сустава, внутри которых располагаются резервуары с антибиотиками. Выделение лекарственных средств в перипротезное пространство из спейсеров осуществляется хирургом неинвазивно посредством радиосвязи [41]. Устройство такого спейсера представлено на рисунке 3.

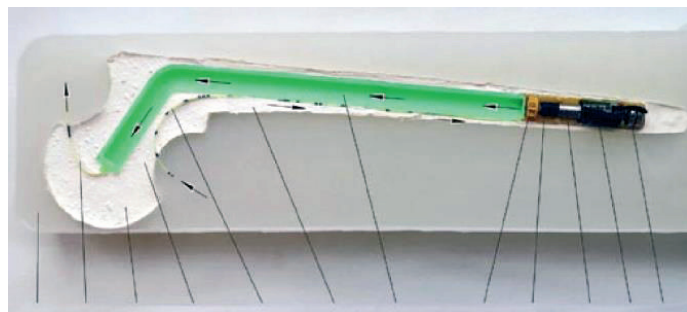


Рисунок 3. Модель спейсера в разрезе [41]

Также запатентован спейсер внутри ножки которого имеются четыре помповых насоса, расположенные в двух перпендикулярных плоскостях и выходящие на поверхность спейсера на нижнем конце ножки. Поперечный срез бедренной кости с установленным спейсером подобного вида представлен на рисунке 4. Поршни насосов изготавливаются из ферромагнита для возможности взаимодействия с магнитом, подносимым к поверхности тела. Такая модификация позволяет увеличить количество вещества, попадающего в парапротезную область при этом создавая возможность для неинвазивного контроля введения фиксированной концентрации препаратов в послеоперационном периоде [40]. В таблице 5 кратко представлены варианты оптимизации различных видов спейсера.

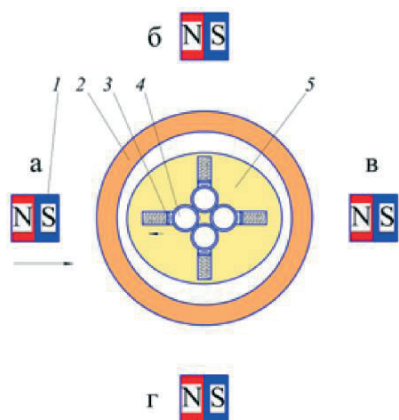


Рисунок 4. Поперечный срез бедренной кости с установленным спейсером. 1 - магнит, 2 - бедренная кость, 3 - поршень помпового насоса, 4 - помповый насос, 5 - костный цемент, а, б, в, г - варианты расположения магнита [40]

"Ограничения современных подходов".

Тем не менее, использование спейсеров связано с высоким риском механических осложнений, поэтому важно проводить тщательный отбор пациентов и проводить мониторинг послеоперационного состояния для минимизации рисков [43]. Также ограничением в использовании персонализированных и радиоуправляемых спейсеров является сложность их производства, основанная на требовании использования сложных технологий и оборудования, а также на необходимости проведения клинических испытаний для оценки долгосрочной эффективности и безопасности.

В борьбе с бактериальными инфекциями, приобретшими антибиотикорезистентность в настоящее время применяют естественные вирусы бактерий – бактериофаги. Данный метод представляет большой интерес, так как фаги также способны лизировать бактерии, находящиеся в биопленке. В клиническом исследовании, проведенном в течении 12 месяцев эффективность сочетания этиотропной антибиотикотерапии и локальной бактериофаготерапии, составила 95,5 %, а эффективность лечения без применения бактериофагов – 69 % [44].

Еще одним перспективным направлением в настоящий момент является применение изготовленных индивидуальных спейсеров, которые могут быть адаптированы под особенности пациента. Но на данном этапе развития технологии изготовления таких спейсеров все еще требуют доработки [46].

Ограничением настоящего обзора является отсутствие метаанализа и возможный языковой сдвиг, поскольку в статье преимущественно рассмотрены англоязычные и русскоязычные источники. Тем не менее статья охватывает широкий спектр актуальных подходов к лечению ППИ.

Заключение

Перипротезная инфекция представляет собой серьезное осложнение после эндопротезирования, требующее комплексного подхода к диагностике и лечению. В статье проанализированы современные методы диагностики ППИ и сравнительная оценка применяемых диагностических алгоритмов и критериев. Их использование позволяет вовремя определить наличие инфекции, что значительно влияет на выбор стратегии лечения и его результаты. Современные стратегии лечения перипротезной инфекции включают как хирургические методы, так и медикаментозную терапию. Наиболее эффективным методом при хронических инфекциях остаётся двухэтапное ревизионное эндопротезирование, тогда как при раннем выявлении инфекции возможны одноэтапные операции. Важно учитывать индивидуальные особенности каждого пациента и тип инфекции для достижения наилучших результатов. Также было отмечено, что растущая антибиотикорезистентность микроорганизмов требует пересмотра существующих схем антибактериальной терапии и внедрения новых методов, таких как использование бактериофагов. Это подчеркивает необходимость дальнейших

исследований в области диагностики и лечения перипротезной инфекции для улучшения клинических исходов и снижения частоты рецидивов. Таким образом, индивидуализированный подход, основанный на этиологии, сроках возникновения инфекции и состоянии пациента, остаётся ключевым фактором успешного лечения ППИ.

Список литературы / References:

1. Izakovicova P, Borens O, Trampuz A. Periprosthetic joint infection: current concepts and outlook. *EFORT Open Rev.* 2019; 4(7): 482–494. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.4.180092>
2. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А., Антипов А.П., Алиев А.Г., Вебер Е.В., Воронцова Т.Н., Божкова С.А., Шубняков И.И., Тихилов Р.М. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России.* 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93> [Sereda A.P., Kochish A.A., Chernyy A.A., Antipov A.P., Aliyev A.G., Weber E.V., Vorontsova T.N., Bozhkova S.A., Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M. Epidemiology of hip and knee arthroplasty and periprosthetic joint infection in the Russian Federation. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93>]
3. Schwartz A.M., Farley K.X., Guild G.N., Bradbury T.L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *J Arthroplasty.* 2020; 35(6 Suppl): S79–S85. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.02.030>
4. Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Денисов А.О., Ахмедиллов М.А., Черный А.Ж., Тотоев З.А., Джавадов А.А., Карпукхин А.С., Муравьева Ю.В. Что изменилось в структуре ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава в последние годы? *Травматология и ортопедия России.* 2019; 25(4): 9–27. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27> [Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Denisov A.O., Akhmedilov M.A., Chernyy A.Zh., Totoev Z.A., Javadov A.A., Karpukhin A.S., Muravyeva Yu.V. What has changed in the structure of revision hip arthroplasty in recent years? *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019; 25(4): 9–27. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27>]
5. A.M. Ermakov, N.M. Kliushin, Iu.V. Ababkov, A.S. Triapichnikov, A.N. Koiushkov. Efficiency of two-stage revision arthroplasty in management of periprosthetic knee and hip joint infection. *Genij Ortop.* 2018; 24(3): 321–326. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-3-321-326>
6. Bozic KJ, Kamath AF, Ong K, Lau E, Kurtz S, Chan V, Vail TP, Rubash H, Berry DJ. Comparative Epidemiology of Revision Arthroplasty: Failed THA Poses Greater Clinical and Economic Burdens Than Failed TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015; 473(6): 2131–2138. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-4078-8>
7. Винклер Т., Трампуз А., Ренц Н., Перка К., Божкова С.А. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016; 22 (1): 33–45. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45> [Winkler T., Trampuz A., Renz N., Perka C., Bozhkova S.A. Classification and algorithm for diagnosis and treatment of periprosthetic hip infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22 (1): 33–45. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45>]
8. Божкова С.А., Касимова А.Р., Тихилов Р.М., Полякова Е.М., Рукина А.Н., Шабанова В.В., Ливенцов В.Н. Неблагоприятные тенденции в этиологии ортопедической инфекции: результаты 6-летнего мониторинга структуры и резистентности ведущих возбудителей. *Травматология и ортопедия России.* 2018; 24(4): 20–31. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31> [Bozhkova S.A., Kasimova A.R., Tikhilov R.M., Polyakova E.M., Rukina A.N., Shabanova V.V., Liventsov V.N. Adverse trends in the etiology of orthopedic infection: results of a 6-year monitoring of the structure and resistance of major pathogens. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018; 24(4): 20–31. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31>]
9. Цискарашвили А.В., Меликова Р.Э., Новожилова Е.А. Анализ шестилетнего мониторинга основных возбудителей перипротезной инфекции крупных суставов и их тенденция к резистентности. *Гений ортопедии.* 2022; 28(2): 179–188. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188> [Tskharashvili A.V., Melikova R.E., Novozhilova E.A. Six-year monitoring of major pathogens of periprosthetic joint infection of large joints and their resistance trends. *Geniy Ortopedii.* 2022; 28(2): 179–188. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188>]
10. Pellegrini A., Suardi V, Legnani C. Classification and management options for prosthetic joint infection. *Annals of Joint.* 2022;7:3. <https://doi.org/10.21037/aoj-20-86>
11. Павлов В.В., Садовой М.А., Прохоренко В.М. Современные аспекты диагностики и хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией тазобедренного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2015; 21(1): 116–128. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128> [Pavlov V.V., Sadovoy M.A., Prokhorenko V.M. Modern aspects of diagnosis and surgical treatment of patients with periprosthetic hip infection (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2015; 21(1): 116–128. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128>]
12. Bemelman M., van Baal M., Yuan J.Z., Leenen L. The Role of Minimally Invasive Plate Osteosynthesis in Rib Fixation: A Review. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016; 49(1): 1–8. <https://doi.org/10.5090/kjtc.2016.49.1.1>
13. Дмитриев И.А., Загородний Н.В., Оболенский В.Н., Леваль П.Ш., Захарян Н.Г., Апресян В.С., Панин М.А., Самкович Д.А., Алиев Р.Н., Григорян А.А. Диагностика и лечение перипротезной инфекции после эндопротезирования тазобедренного сустава (обзор литературы). *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье.* 2022;12(6):86–102. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2022.6.clin.7> [Dmitrov I.A., Zagorodniy N.V., Obolenskiy V.N., et al. Diagnosis and treatment of periprosthetic infection after hip arthroplasty (review). *Bulletin of the Medical Institute «Reaviz»: Rehabilitation, Doctor and Health.* 2022;12(6):86–102. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2022.6.clin.7>]
14. Goswami K., Parvizi J., Courtney P.M. Current Recommendations for the Diagnosis of Acute and Chronic PJI for Hip and Knee — Cell Counts, Alpha-Defensin, Leukocyte Esterase, Next-generation Sequencing. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018; 11(3): 428–438. <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9513-0>
15. Sigmund I.K., Luger M., Windhager R., McNally M.A. Diagnosing periprosthetic joint infections: a comparison of infection definitions: EBJIS 2021, ICM 2018, and IDSA 2013. *Bone Joint Res.* 2022; 11(9): 608–618. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.119.BJR-2022-0078.R1>
16. Carlo Luca Romanò, Hazem Al Khawashki , Thami Benzakour , Svetlana Bozhkova, Hernán del Sel 7, Mahmoud Hafez, Ashok Johari, Guenter Lob, Hemant K Sharma, Hirouchi Tsuchiya 12 and Lorenzo Drago . The W.A.I.O.T. definition of high-grade and low-grade peri-prosthetic joint infection. *J Clin Med.* 2019; 8(5): 650. <https://doi.org/10.3390/jcm8050650>
17. Renz N., Yermak K., Perka C., Trampuz A. Alpha Defensin Lateral Flow Test for Diagnosis of Periprosthetic Joint Infection: Not a

Screening but a Confirmatory Test. *J Bone Joint Surg Am.* 2018; 100(9): 742–750. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01005>

18. Казанцев Д.И., Божкова С.А., Золовкина А.Г., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М. Диагностика поздней перипротезной инфекции крупных суставов. Какой диагностический алгоритм выбрать? *Травматология и ортопедия России.* 2020; 26(4): 9–20. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-4-9-20> [Kazantsev D.I., Bozhkova S.A., Zolovkina A.G., Peleganchuk V.A., Batrak Yu.M. Diagnosis of late periprosthetic infection of large joints: which diagnostic algorithm to choose? *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2020; 26(4): 9–20. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-4-9-20>]

19. Yong Seuk Lee, Kyung-Hoi Koo, Hyun Jung Kim, Shaoqi Tian, Tae-Young Kim, Mitchell G. Maltenfort, Antonia F. Chen. Synovial fluid biomarkers for the diagnosis of periprosthetic joint infection: A systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2017; 99(24): 2077–2084. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00123>

20. Balato G, Franceschini V, Ascione T, Lamberti A, D'Amato M, Ensini A, Baldini A. High performance of α -defensin lateral flow assay (Synovasure) in the diagnosis of chronic knee prosthetic infections. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26(6): 1717–1722. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4745-x>

21. Parvizi, J.; Tan, T. L.; Goswami, K.; Higuera, C.; Della Valle, C.; Chen, A. F.; Shohat, N. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty.* 2018; 33(5): 1309–1314.e2. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.078>

22. Mavrommati A. Application of the orthopedic implant sonication method to diagnosis of periprosthetic joint infections. *J Res Pract Musculoskelet Syst.* 2020; 4(3): 68–75. <https://doi.org/10.22540/JRPM-04-068>

23. França A., Gaio V., Lopes N., Melo L.D.R. Virulence factors in coagulase-negative staphylococci. *Pathogens.* 2021; 10(2): 170. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020170>

24. Oliveira F., Rohde H., Vilanova M., Cerca N. Fighting *Staphylococcus epidermidis* Biofilm-Associated Infections: Can Iron Be the Key to Success? *Front Cell Infect Microbiol.* 2021; 11: 798563. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.798563>

25. Heilmann C., Ziebuhr W., Becker K. Are coagulase-negative staphylococci virulent? *Clin Microbiol Infect.* 2019; 25(9): 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.11.012>

26. 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>

27. Gries C.M., Kielian T. Staphylococcal biofilms and immune polarization during prosthetic joint infection. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017; 25(Suppl 1): S20–S24. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00636>

28. Mian H.M., Lyons J.G., Perrin J., Froehle A.W., Krishnamurthy A.B. A review of current practices in periprosthetic joint infection debridement and revision arthroplasty. *Arthroplasty.* 2022; 4(1): 31. <https://doi.org/10.1186/s42836-022-00136-5>

29. Schwarz EM, Parvizi J, Gehrke T, Aiyer A, Battenberg A, Brown SA, Callaghan JJ, Citak M, Egol K, Garrigues GE, Ghert M, Goswami K, Green A, Hammound S, Kates SL, McLaren AC, Mont MA, Namdari S, Obrebsky WT, O'Toole R, Raikin S, Restrepo C, Ricciardi B, Saeed K, Sanchez-Sotelo J, Shohat N, Tan T, Thirukumaran CP, Winters B. 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. *J Orthop Res.* 2019; 37(5): 997–1006. <https://doi.org/10.1002/jor.24293>

30. Davis J.S., Metcalf S., Clark B., et al. Predictors of Treatment Success after Periprosthetic Joint Infection: 24-Month Follow up from a Multicenter Prospective Observational Cohort Study of 653 Patients. *Open Forum Infect Dis.* 2022; 9(3): ofac048. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofac048>

31. Рожков Никита Игоревич, Ермаков Артем Михайлович, Бурцев Александр Владимирович, Тряпичников Александр Сергеевич, Сазонова Наталья Владимировна, Малюченко Леонид Игоревич. Анализ экономической и клинической эффективности одно- и двухэтапных ревизий при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2022; 28(6): 842–851. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-6-842-851> [N.I. Rozhkov, A.M. Ermakov, A.V. Burtsev, A.S. Triapichnikov, N.V. Sazonova, L.I. Malyuchenko. Analysis of economic and clinical effectiveness of one- and two-stage revisions in the treatment of periprosthetic hip infection (review). *Geniy Ortopedii.* 2022; 28(6): 842–851. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-6-842-851>]

32. John Strony, Scot Brown, Peter Choong, Michelle Ghert, Lee Jeys, Richard J. O'Donnell. Musculoskeletal Infection in Orthopaedic Oncology: Assessment of the 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection. *J Bone Joint Surg Am.* 2019; 101(20): e107. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00182>

33. Anagnostakos K. Therapeutic Use of Antibiotic-loaded Bone Cement in the Treatment of Hip and Knee Joint Infections. *J Bone Jt Infect.* 2017; 2(1): 29–37. <https://doi.org/10.7150/jbji.16067>

34. Guo W, Gao X, Wang D, Wang T, Tang L, Wang Y, Liu B. Quality of life of patients with proximal humerus metastasis treated with cement spacer. *Cancer Manag Res.* 2019; 11: 8499–8506. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S219178>

35. Комаров Р.Н., Митрофанов В.Н., Новиков А.В., Королёв С.Б. Тактика лечения инфекционных осложнений после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016; 22(4): 25–34. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34> [Komarov R.N., Mitrofanov V.N., Novikov A.V., Korolev S.B. Management of infectious complications after hip arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22(4): 25–34. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34>]

36. Zhang Y., Zhu J., Wang Z., Zhou Y., Zhang X. Constructing a 3D-printable, bioceramic sheathed articular spacer assembly for infected hip arthroplasty. *Journal of Medical Hypotheses and Ideas.* 2015; 9(1): 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.jmhi.2014.11.001>

37. Lim S.J., Ryu H.G., Eun H.J., Park C.W., Kwon K.B., Park Y.S. Clinical Outcomes and Bearing-Specific Complications Following Fourth-Generation Alumina Ceramic-on-Ceramic Total Hip Arthroplasty: A Single-Surgeon Series of 749 Hips at a Minimum of 5-Year Follow-Up. *J Arthroplasty.* 2018; 33(7): 2182–2186.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.045>

38. Shim B.J., Park S.J., Park C.H. The Wear Rate and Survivorship in Total Hip Arthroplasty Using a Third-generation Ceramic Head on a Conventional Polyethylene Liner: A Minimum of 15-year Follow-up. *Hip Pelvis.* 2022; 34(2): 115–121. <https://doi.org/10.5371/hp.2022.34.2.115>

39. Варфоломеев Д.И. Новые спейсеры для лечения перипротезной инфекции. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2023; 18(2): 85–89. https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_85 [Varfolomeev D.I. New spacers for the treatment of periprosthetic infection. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov.* 2023; 18(2): 85–89 https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_85]

40. Варфоломеев Д.И., Самодай В.Г. Оценка эффективности использования спейсера тазобедренного сустава для лечения пациентов с паропротезной инфекцией. *Новости хирургии*. 2020; 28(5): 498–504. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2020.5.498> [Varfolomeev D.I., Samodai V.G. Evaluation of the effectiveness of hip spacers in the treatment of patients with periprosthetic infection. *Novosti Khirurgii*. 2020; 28(5): 498–504. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2020.5.498>]
41. Fouly A., Alnaser I.A., Assaifan A.K., Abdo H.S. Developing PMMA/Coffee Husk Green Composites to Meet the Individual Requirements of People with Disabilities: Hip Spacer Case Study. *J Funct Biomater*. 2023; 14(4): 200. <https://doi.org/10.3390/jfb14040200>
42. Rasheed D.M., Hamdi D.A. Enhancement the Osseo Integration Properties of Polymer for Human Body Implants. *Al-Nahrain J Eng Sci*. 2020; 23(4): 331–339. <https://doi.org/10.29194/njes.23040331>
43. Sambri A, Fiore M, Rondinella C, Morante L, Paolucci A, Giannini C, Alfonso C, De Paolis M. Mechanical complications of hip spacers: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023; 143(5): 2341–2353. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04427-z>
44. Lioudakis E., Giannoudis V.P., Sehmisch S., et al. Bone defect treatment: does the type and properties of the spacer affect the induction of Masquelet membrane? Evidence today. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022; 48(6): 4403–4424. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02005-x>
45. Фёдоров Е. А., Кретьен С. О., Самохин А. Г., Тикунова Н. В., Корыткин А. А., Павлов В. В. Ближайшие результаты лечения стафилококковой перипротезной инфекции тазобедренного сустава с использованием комбинированной терапии антибиотиками и бактериофагами. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(4): 50–63. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.4.5> [Fedorov E.A., Kretien S.O., Samokhin A.G., Tikunova N.V., Korytkin A.A., Pavlov V.V. Short-term outcomes of treatment of staphylococcal periprosthetic hip infection using combined antibiotic and bacteriophage therapy. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(4): 50–63. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.4.5>]
46. Минасов Б.Ш., Якупов Р.Р., Акбашев В.Н., Билялов А.Р., Минасов Т.Б., Валеев М.М., Мавлютов Т.Р., Каримов К.К., Бердин А.Р. Геней ортопедии. 2024; 30(5): 753–765. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765> [Minasov B.Sh., Yakupov R.R., Akbashev V.N., Bilyalov A.R., Minasov T.B., Valeev M.M., Mavlyutov T.R., Karimov K.K., Berdin A.R. Optimization of revision arthroplasty: the role of individually manufactured articulating spacers. *Geniy Ortopedii*. 2024; 30(5): 753–765. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765>]

Информация об авторах:

Суфиянова Алия Филусовна, лаборант-исследователь лаборатории «Аддитивных технологий» ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail afsufiyanova@bashgmu.ru

Билялов Азат Ринатович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail azat.bilyalov@gmail.com

Акбашев Владислав Николаевич, ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail Vlad-akb@mail.ru

Галаутдинов Марс Фларитович, заведующий лабораторией «Аддитивных технологий» ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail mfgalautdinov@bashgmu.ru

Автор, ответственный за переписку: Галаутдинов Марс Фларитович mfgalautdinov@bashgmu.ru

Information about authors:

Sufiyanova Aliya Filyusovna, Research Assistant at the Laboratory of Additive Technologies, Bashkir State Medical University, Ministry of Health of Russia,

e-mail afsufiyanova@bashgmu.ru

Bilyalov Azat Rinatovich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics

e-mail azat.bilyalov@gmail.com

Akbashev Vladislav Nikolaevich, Assistant, Department of Traumatology and Orthopedics

e-mail Vlad-akb@mail.ru

Galautdinov Mars Flaritovich, Head of the Laboratory of Additive Technologies, Bashkir State Medical University, Ministry of Health of Russia

e-mail mfgalautdinov@bashgmu.ru

Corresponding author: Galautdinov Mars Flaritovich mfgalautdinov@bashgmu.ru

УДК 617.3

© Филонов П. В., Богопольский О. Е., Тихилов Р. М., 2026

Обзор литературы / Literature review



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АРТРОСКОПИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ФЕМОРОАЦЕТАБУЛЯРНЫМ ИМПИНДЖМЕНТОМ

П. В. ФИЛОНОВ, О. Е. БОГОПОЛЬСКИЙ, Р. М. ТИХИЛОВ*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, 195427, Россия*

Аннотация

Введение: Фемороацетабулярный импинджмент (ФАИ) является механическим конфликтом, возникающим при взаимодействии края вертлужной впадины с головкой и шейкой бедренной кости, приводящим к повреждению структур тазобедренного сустава (ТБС) и сопровождается клиническими проявлениями. Современным и перспективным методом лечения пациентов с ФАИ является артроскопия ТБС, однако данный метод ортопедической хирургии до сих пор находится на этапе своего активного развития с большим количеством вариантов выполнения интраоперационных манипуляций.

Цель работы – на основании анализа отечественных и зарубежных публикаций описать современный подход к выполнению основных этапов артроскопической коррекции ФАИ, определить основные проблемы и пути развития данной технологии.

Материалы и методы. Проведён анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых вопросам эволюции артроскопического лечения пациентов с ФАИ. Поиск проведен в электронных базах данных PubMed, Google Scholar, e-LIBRARY по поисковым фразам: артроскопия тазобедренного сустава, фемороацетабулярный импинджмент, разрыв вертлужной губы тазобедренного сустава, коррекция САМ-деформации, артроскопическая капсулотомия тазобедренного сустава, hip arthroscopic surgery, femoroacetabular impingement syndrome, hip labral tears, SAM-deformity correction, arthroscopic hip capsulotomy, Глубина исследования — 60 лет. Тезисы конференций и отчеты о клинических случаях исключены.

Результаты и обсуждение. Основными проблемами при артроскопии тазобедренного сустава являются выбор типа капсулотомии на этапе оперативного доступа, метода коррекции повреждений вертлужной губы, а также предоперационное планирование и интраоперационная реализация коррекции САМ-деформации. Ряд исследований показал, что недостаточная или избыточная коррекция САМ-деформации, дебридмент вертлужной губы, несостоятельность шва вертлужной губы и дефекты капсулы являются наиболее частыми причинами неудовлетворительных клинических исходов и ревизионных артроскопических вмешательств.

Заключение. Эффективность оперативного лечения пациентов с фемороацетабулярным импинджментом (ФАИ) определяется множеством факторов, включая стратегию и технику выполнения различных этапов артроскопического вмешательства.

Ключевые слова: Артроскопия тазобедренного сустава, феморо-ацетабулярный импинджмент, разрыв вертлужной губы тазобедренного сустава, коррекция САМ-деформации, артроскопическая капсулотомия тазобедренного сустава.

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

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Филонов П. В., Богопольский О. Е., Тихилов Р. М. современное состояние и возможности технологии артроскопии тазобедренного сустава в лечении пациентов с фемороацетабулярным импинджментом. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1:71–79.

CURRENT STATUS AND POTENTIAL OF HIP ARTHROSCOPY IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH FEMOROACETABULAR IMPINGEMENT

PAVEL V. FILONOV, OLEG E. BOGOPOLSKY, RASHID M. TIKHILOV*Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, 195427, Russia*

Abstract

Introduction: Femoroacetabular impingement (FAI) is a mechanical conflict between the acetabular rim and the femoral head-neck junction, leading to damage of hip joint structures and associated clinical symptoms. Hip arthroscopy is a modern and promising treatment for FAI; however, this orthopedic surgical technique is still in active development, with numerous variations in intraoperative approaches.

Objective. Based on an analysis of domestic and international publications, this study aims to describe current approaches to key stages of arthroscopic FAI correction, identify major challenges, and outline future directions for this technology.

Materials and Methods. A review of Russian and international scientific publications on the evolution of arthroscopic FAI treatment was conducted. Searches were performed in PubMed, Google Scholar, and e-LIBRARY using the following keywords: hip arthroscopy, femoroacetabular impingement, hip labral tears, CAM deformity correction, arthroscopic hip capsulotomy, hip arthroscopic surgery, femoroacetabular impingement syndrome. The search depth was 60 years. Conference abstracts and case reports were excluded.

Results and Discussion. The main challenges in hip arthroscopy include selecting the type of capsulotomy for surgical access, choosing a method for labral repair, and preoperative planning with intraoperative execution of CAM deformity correction. Several studies have shown that insufficient or excessive CAM resection, labral debridement, failed labral repair, and capsular defects are the most common causes of poor clinical outcomes and revision arthroscopic procedures.

Conclusion. The effectiveness of surgical treatment for femoroacetabular impingement (FAI) depends on multiple factors, including the strategy and technique used at different stages of arthroscopic intervention.

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: Filonov P.V., Bogopolsky O.E., Tikhilov R.M. Current aspects of periprosthetic joint infection treatment: a literature review. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1:71–79.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.71-79

Введение

Современное представление о фемороацетабулярном импинджменте как самостоятельной нозологии было сформировано в ходе Ворвикского консенсуса в 2016 году и на данный момент определение данного синдрома звучит так: «ФАИ синдром – это связанная с движением патология тазобедренного сустава с триадой критериев, включающей симптомы, клинические проявления и рентгенологические признаки. Синдром представляет собой симптоматический преждевременный контакт между проксимальным отделом бедренной кости и вертлужной впадиной» [1].

Современным методом лечения пациентов с ФАИ является артроскопия тазобедренного сустава. Однако в отечественной литературе данная тема практически не освещена, артроскопия тазобедренного сустава в России мало распространена, а объем подобных вмешательств незначителен [2].

Ранняя концепция коррекции ФАИ заключалась в применении хирургического вывиха тазобедренного сустава, но в последние два десятилетия тенденция сместилась в сторону артроскопической коррекции, которая продемонстрировала отличную возможность восстановления внутрисуставных структур тазобедренного сустава с хорошим клиническим результатом [3].

Результат оперативного лечения пациентов с ФАИ зависит не только от пациент специфичных факторов, но и в том числе от техники выполнения различных этапов артроскопической коррекции. Наиболее важными условиями успешного артроскопического вмешательства у пациентов с ФАИ считают достижение нормальных анатомических взаимоотношений между краем вертлужной впадины и головкой-шейкой бедренной кости, восстановление функции вертлужной губы, а также обеспечение целостности

капсулы тазобедренного сустава после артроскопического вмешательства.

В литературе уже имеются данные о том, что нарушение целостности капсулы, дебридмент вертлужной губы, неадекватная коррекция САМ-деформации могут приводить к снижению клинко-функциональных результатов у пациентов и, в некоторых случаях, требовать ревизионной артроскопической хирургии. На данный момент не существует общепринятого единого способа капсулотомии, по-прежнему, несмотря на многочисленные исследования, стоит дилемма перед выбором метода лечения повреждений вертлужной губы, а также нет установленных критериев для формирования перехода головки в шейку бедренной кости при феморопластике с алгоритмом её выполнения.

Цель работы – на основании анализа отечественных и зарубежных публикаций описать современный подход к выполнению основных этапов артроскопической коррекции ФАИ, определить основные проблемы и пути развития данной технологии.

Материалы и методы

В представленном обзоре литературы проведён анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых вопросам техники артроскопического лечения пациентов с ФАИ. Поиск проведен в электронных базах данных PubMed, Google Scholar, e-LIBRARY по поисковым фразам: артроскопия тазобедренного сустава, фемороацетабулярный импинджмент, разрыв вертлужной губы тазобедренного сустава, коррекция САМ-деформации, артроскопическая капсулотомия тазобедренного сустава, hip arthroscopic surgery, femoroacetabular impingement syndrome, hip labral tears, CAM-deformity correction, arthroscopic hip capsulotomy,

Глубина исследования — 60 лет. Тезисы конференций и отчеты о клинических случаях исключены.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ данных медицинской литературы по артроскопии ТБС как основного метода лечения пациентов с фемороацетабулярным импинджментом показал, что с момента его внедрения и по настоящее время предложено множество вариантов и способов выполнения различных этапов оперативного вмешательства.

Этап хирургического доступа и манипуляции с капсулой тазобедренного сустава

Позиционирование портов

Вопрос позиционирования портов на коже был практически решен командой авторов под руководством W.J. Robertson в 2008 г., которая провела ревизию всех описанных в литературе ранних артроскопических портов, сократила список вариантов до 11 и оценила их положение, чтобы обеспечить единую номенклатуру и обновить современные представления об их безопасности [4]. Это исследование по своей сути определило «безопасную зону» для формирования артроскопических портов для доступа к центральному и периферическому отделам тазобедренного сустава.

Подходы к доступу в полость тазобедренного сустава

Выбор конкретных артроскопических портов зависит от первично визуализируемого отдела ТБС: центрального или периферического. Наиболее часто используемой хирургической техникой является помещение инструментов сразу в центральный отдел ТБС в условиях предварительно наложенной тракции. Инструменты позиционируются под контролем тактильных ощущений хирурга и под контролем рентгеноскопии для снижения вероятности повреждения вертлужной губы и суставного хряща, однако ятрогенное повреждение внутрисуставных структур всё ещё занимает значимую часть в структуре интраоперационных осложнений [5]. По данным метаанализа А.А. Minakara с соавт. в 2019 г. в большинстве клинических исследований, посвященных функциональным результатам, артроскопическая коррекция ФАИ проводилась с этим «традиционным» подходом с первичной визуализацией центрального отдела сустава [6]. Для потенциального снижения вероятности повреждения внутрисуставных структур и снижения длительности тракции был разработан подход с первичной визуализацией периферического отдела, когда инструменты первоначально позиционируются в периферическом отделе тазобедренного сустава над шейкой, а доступ в центральный отдел производится позднее под визуальным контролем. В клиническом исследовании, проведенном группой авторов под руководством M. Wagner [7], функциональные результаты лечения пациентов с использованием подхода с первичной

визуализацией периферического отдела были сопоставимы или превосходили клинко-функциональные исходы, представленные в исследовании А.А. Minakara с соавт. [6], а частота осложнений была ниже (0,28 % и 1,7 % соответственно). Также при использовании доступа с первичной визуализацией периферического отдела ТБС реже наблюдалась конверсия в тотальное эндопротезирование (26 из 704 (3,7%) и 128 из 1981 (6,5 %) тазобедренных суставов соответственно), хотя средний период наблюдения был значительно дольше ($6,2 \pm 2,1$ года против $29,5 \pm 13,9$ месяцев). Однако, кроме подхода к доступу в полость тазобедренного сустава, хирургическая техника в этих исследованиях отличалась и типом капсулотомии [6, 7].

Манипуляции на капсуле тазобедренного сустава

Варианты капсулотомии на этапе артроскопического доступа к тазобедренному суставу варьируют от минимально инвазивных, таких как перипортальная [8, 9] или пункционная капсулотомии [10], до более агрессивных, например, межпортальная и Т-образная капсулотомии [11]. Неадекватная тактика и хирургическая техника может привести к ятрогенной капсулярной недостаточности и вытекающей из нее нестабильности суставов (как истинной нестабильности, так и микронестабильности), избыточному раздражению тканей капсулы и к более низким функциональным результатам у пациентов [12–14]. Также недавние исследования выявили особую важность сохранения целостности капсулы у пациентов с пограничной дисплазией тазобедренного сустава или с гипермобильностью суставов на фоне нарушения строения соединительной ткани [15, 16].

Межпортальная и Т-образная капсулотомии

При классическом подходе с первоначальной визуализацией центрального отдела ТБС выполняется межпортальная капсулотомия, которая заключается в поперечном рассечении капсулы и соединении переднелатерального и переднего портов, установленных в начале оперативного вмешательства [11]. Важно отметить, что достаточное количество (~1 см) капсульной ткани должно оставаться на вертлужной стороне капсулотомии, чтобы по завершении процедуры можно было выполнить ушивание или пликацию капсулы. Межпортальная капсулотомия может быть преобразована в Т-образную при необходимости в дополнительной визуализации дистальных или заднелатеральных отделов тазобедренного сустава [17]. Это может быть достигнуто путем выполнения продольного разреза на капсуле, перпендикулярного межпортальной капсулотомии. На сегодняшний день имеются однозначные данные в пользу необходимости ушивания капсулы после выполнения межпортальной и Т-образной капсулотомий. Самостоятельное заживление межпортальной капсулотомии без ушивания на сроке 6 месяцев после операции было выявлено только

у 3 пациентов из 10 в работе Z.Y. Li с соавт. [18]. Однако даже выполнение шва капсулы не гарантирует полного её заживления после этих типов капсулотомий, поскольку при ушивании поперечного компонента капсулотомии швы локализируются вдоль хода волокон подвздошно-бедренной связки, которая при разгибании в ТБС натягивается, и в результате может происходить прорезывание швов капсулы с формированием диастаза.

Команда авторов под руководством F. Yang провела исследование послеоперационных МРТ с оценкой морфологии капсулы тазобедренного сустава на сроке не менее 2 лет после артроскопии ТБС с использованием межпортальной капсулотомии на этапе хирургического доступа и её ушивания на заключительном этапе хирургических вмешательств. У 42% пациентов были выявлены дефекты в области шва капсулы и более низкие функциональные результаты в сравнении с пациентами с сохранной капсулой тазобедренного сустава [19]. В аналогичном исследовании G. Gao с соавт. была выявлена значительно более низкая (8,8 %) частота несостоятельности шва капсулы, однако влияние на функциональный результат было таким же значительным. 91 % пациентов с отсутствием дефектов в капсуле достиг минимальной клинически значимой разницы (minimal clinical important difference - MCID) и 80,8 % достигли приемлемого для пациента симптоматического состояния (patient acceptable symptom state – PASS) по шкале modified Harris Hip Score (mHHS), но только 58,8 % пациентов с капсулярным дефектом превосходили MCID и 47,1 % достигли PASS [20].

Перипортальная и пункционные капсулотомии

При использовании подхода с первичной визуализацией периферического отдела чаще используется перипортальная либо пункционная капсулотомии. Перипортальная капсулотомия включает в себя использование двух стандартных артроскопических портов как при классической межпортальной капсулотомии, но без соединения этих портов на капсуле путём рассечения ткани между ними [9]. По данным команды C.C. Chambers с соавторами на сроке 2-х лет после операции с использованием перипортальной капсулотомии без её ушивания все пациенты показали клиническое улучшение без развития доказанной нестабильности ТБС [8]. В исследовании под руководством Z.Y. Li через полгода после операции МРТ выявила отсутствие дефектов капсулы у всех 23 пациентов перенесших перипортальную капсулотомию [18]. В аналогичном исследовании на сроке 1 год после операции не было обнаружено дефекта капсулы после перипортальной капсулотомии без её ушивания у 28 (100%) пациентов [21]. Тем не менее у пациентов с дисплазией соединительной ткани и гипермобильностью суставов следует рассмотреть возможность шва или даже пликаций капсулы после капсулотомии [22].

Пункционная капсулотомия была описана как опция для работы с внутрисуставными структурами с минимальным объёмом повреждения тканей капсулы [23]. Подобно перипортальному подходу, этот вариант предполагает выполнение процедуры через разнообразные по локализации проколы в капсуле сустава вместо рассечения капсулы, и обычно не требует последующего шва капсулы. Эта техника подразумевает использование четырёх артроскопических портов (передненаружный, передний, среднепередний и Dienst порт) с применением радиочастотного аблятора для минимального иссечения тканей вокруг места порта на капсуле и увеличения маневренности инструментов в полости сустава. Ретроспективный обзор Eberlin с соавт. демонстрирует значительное улучшение функциональных результатов у пациентов перенёвших артроскопию ТБС по поводу ФАИ на сроке 2-х лет после операции с минимальной частотой осложнений [10]. На данный момент нет исследований, оценивающих частоту заживления капсулы после пункционной капсулотомии, но следует ожидать аналогичных результатов с данными, полученными после перипортальной капсулотомии.

Выбор типа капсулотомии для каждого пациента основан как на предпочтениях хирурга, так и зависит от внутрисуставной патологии, которую необходимо устранить. Перипортальная и пункционная капсулотомии обеспечивают ограниченную визуализацию и значительно снижают маневренность инструментов в сравнении с межпортальной и Т-капсулотомией. Однако следует отметить, что вместе с визуализацией и степенью свободы инструментов растёт также и объём ятрогенных повреждений капсулы, а минимально инвазивные капсулотомии, несмотря на максимальное сохранение капсулы, ограничивают степень свободы инструментов в суставе.

Манипуляции на вертлужной губе

Дебридмент вертлужной губы

На ранних этапах истории артроскопии тазобедренного сустава большинству пациентов проводился только дебридмент вертлужной губы, который заключается в иссечении поврежденных участков для снижения болевого синдрома.

J.W. Byrd и K.S. Jones опубликовали 10-летние результаты дебридмента вертлужной губы у 26 пациентов, из которых у 7 (27 %) в последствии была выполнена конверсия в ТЭП ТБС. Однако в данном исследовании есть значимые недостатки в виде ограниченного размера выборки и значимой её гетерогенности (возраст пациентов варьировал от 17 до 83 лет, а у 8 пациентов имелись признаки артроза ТБС на момент до операции, из которых 7 пациентов как раз и подверглись конверсии в ТЭП ТБС) [24]. В мета-анализе, проведённом в 2020г. командой авторов под руковод-

ством Z.X. Wu [25], проанализированы результаты лечения 323 пациентов, из которых 171 пациенту был выполнен дебридмент, а 152 пациентам – рефиксация вертлужной губы. На сроках наблюдения от 26.4 до 58.3 месяцев пациенты, перенесшие рефиксацию вертлужной губы, статистически достоверно показали превосходящие результаты по шкалам mHNS и ВАШ.

Рефиксация вертлужной губы

Вертлужная губа играет важную роль в биомеханике тазобедренного сустава, в первую очередь за счёт её гидродинамической и стабилизирующей функции, поэтому сейчас большое внимание уделяется сохранению этих функций при коррекции её повреждений [26,27]. В современной концепции лечения пациентов с разрывом вертлужной губы артроскопический шов стал ведущим вариантом коррекции большинства повреждений. Техника шва вертлужной губы имеет различные вариации, мало отличимые друг от друга. Как правило край вертлужной впадины подготавливается с помощью бора, чтобы обнажить кровоточащее костное ложе для максимального увеличения вероятности сращения вертлужной губы и кости; также одномоментно может быть выполнена резекция избыточной костной ткани по краю вертлужной впадины, приводящей к Pincer-импинджменту. В литературе сейчас идёт активное обсуждение, имеет ли значение выполнение прошивного или обвивного шва. В 2014–2015 гг. в кадаверных исследованиях было продемонстрировано, что прошивной шов лучше восстанавливает присасывающую силу и сопротивление дистракции по сравнению с обвивным швом [28–30]. В свою очередь в клиническом исследовании T.J. Jackson с соавт. не выявили разницы в функциональных результатах у пациентов при использовании обвивного и прошивного шва вертлужной губы [31].

Реконструкция вертлужной губы

После формирования тренда на рефиксацию вертлужной губы вместо её дебридмента, перед артроскопическим сообществом стал вопрос восстановления тех повреждений, где невозможно выполнить рефиксацию из-за значительного дефицита лабральной ткани. Впервые описанная M.J. Philippon с соавт. в 2010 году, артроскопическая реконструкция вертлужной губы стала важным способом её восстановления [32]. После того как M.J. Philippon с соавт. описали использование аутооттрансплантата из подвздошно-большеберцового тракта, были предложены методы реконструкции с использованием различных аутооттрансплантатов и аллотрансплантатов [33–35]. Так же были описаны сегментарные и циркуферентные методы реконструкции с хорошими и отличными результатами, приближающимися к результатам первичной рефиксации [34,36–38]. Тем не менее, на кадаверных моделях тазобедренного сустава

было показано, что шов вертлужной губы более эффективно восстанавливает биомеханические свойства тазобедренного сустава по сравнению с реконструкцией [39]. Несмотря на большой успех в реконструкции вертлужной губы, показания к её выполнению в части случаев остаются предметом споров [37].

Различные типы фиксаторов для рефиксации и реконструкции вертлужной губы

Для выполнения рефиксации и реконструкции вертлужной губы можно использовать фиксаторы двух типов по строению: мягкотканые и твёрдотельные. Твёрдотельные анкера из полиэфирэфиркетона (ПЕЕК) хорошо себя рекомендовали, но они имеют относительно большую площадь основания и требуют большей потери костной массы в месте установки, а в некоторых местах создают угрозу перфорации суставной поверхности. Анкеры меньшего размера были разработаны в попытке уменьшить травматизацию костной ткани и уменьшить площадь пилотного отверстия в месте установки якоря. Одним из таких якорей является мягкотканый якорь. По сравнению со своими твёрдотельными аналогами, эти анкера требуют меньшего входного отверстия. Также существует опасение клинической неудачи, в виде вторичного образования кисты и последующего расширения туннеля с развитием нестабильности якоря [40,41]. Результаты исследований показывают, что с ацетабулопластикой или без нее, твёрдотельный анкер является более стабильным, чем мягкотканый фиксатор [42].

По типу фиксации нити существуют узловые и безузловые фиксаторы. Использование безузловых фиксаторов вертлужной губы имеет ряд преимуществ [43]. Поскольку даже опытные хирурги могут столкнуться с трудностями при завязывании узлов, так как это сложная техника, безузловые фиксаторы могут оптимизировать процесс и потенциально сократить время операции [44,45]. Кроме того, использование безузловых фиксаторов потенциально может устранить негативные реакции, связанные с наличием узлов в полости сустава, которые могут быть причиной послеоперационного синовита или капсулолабральных спаек [43]. Однако в своем исследовании Jackson с соавт. не обнаружили различий в клинических исходах после шва вертлужной губы с использованием узловых и безузловых шовных фиксаторов [31]. В аналогичном исследовании команды под руководством A.H. Celiksoz несмотря на то, что не было существенной разницы в большинстве послеоперационных исходов, о которых сообщали пациенты, группа с использованием безузловых фиксаторов имели значительно превосходящие послеоперационные показатели по шкале HOS и по ВАШ, а также продемонстрировали меньшую частоту послеоперационных синовитов в сравнении с группой с узловыми фиксаторами (0.02 % и 10 % соответственно) [46].

Подходы к феморопластике

Цели и задачи феморопластики

Сам-тип фемороацетабулярного импинджмента является результатом асферичной формы головки бедренной кости, из-за чего происходит увеличение контактного давления на хрящ вертлужной впадины и повреждение хондролабрального перехода во время нормальной амплитуды движений бедра [47]. Причиной развития Сам-деформации по предварительным данным является либо гипертрофия зоны роста между головкой и шейкой бедренной кости, либо субклинический эпифизиолиз головки бедренной кости в подростковом возрасте [48].

R. Agricola с соавт. в 2013 г. были одними из первых, кто предоставил убедительные доказательства того, что в отличие от деформации Pincer-типа, деформация Сам-типа приводит к повреждению хряща и вертлужной губы тазобедренного сустава и связана с более высокой частотой развития остеоартроза. Однако предстоит окончательно выяснить, приводит ли коррекция сам-деформации к замедлению или остановке дальнейшего развития остеоартроза [49, 50].

Тем не менее уже есть большое количество исследований, подтверждающих нормализацию биомеханики и снижение избыточного давления на хрящ вертлужной впадины при коррекции САМ-деформации, что, возможно, приводит к замедлению дальнейших повреждений структур тазобедренного сустава и прогрессирования дегенеративных изменений [51]. Поэтому одной из целей хирургического вмешательства является устранение дисконгруентности суставных поверхностей и, как следствие, снижение механического локального перенапряжения, которое происходит во время движений в тазобедренном суставе. Целью артроскопической феморопластики является восстановление сферической формы головки бедренной кости [52].

Критерии корректно выполненной феморопластики

В последнее время в литературе активно обсуждается тактика и техника артроскопической феморопластики с целью выявления возможных причин снижения эффективности оперативного лечения. Наиболее частым предметом дискуссии является избыточная или недостаточная коррекция Сам-деформации. Как избыточная, так и недостаточная резекция деформации потенциально может привести к негативным последствиям. Было показано, что чрезмерная резекция более 30% объёма шейки увеличивает риск переломов шейки бедренной кости [53]. Избыточная коррекция коррелирует с неблагоприятными исходами и увеличивает риск конверсии в тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава в 3.8 раза [54]. Недостаточная резекция является фактором риска для ревизионной артроскопии тазобедренного сустава, поскольку основная причина нарушения биомеханики не была устранена [55–59]. Выполнение адекватной феморопластики

является технически сложным процессом с длительной кривой обучения [60]. Однако на данный момент нет чётких критериев адекватно выполненной коррекции Сам-деформации. Большинство авторов считают необходимым достижение в результате коррекции определенных показателей α -угла и оффсета головки-шейки бедренной кости, однако даже в этих двух показателях в литературе нет единогласия. Так Н.Р. Nötzli с соавт. определили среднее нормальное значение угла в 42° , а С.В. Pfirrmann с соавт. и J. Zhou с соавт. — в 55° [61–63]. Некоторые авторы указывают, что цель коррекции – достижение сферичности, без конкретного алгоритма предоперационного планирования и интраоперационной реализации коррекции. Так А.С. Lall с соавт. описали свою хирургическую технику достижения сферичности, в которой представлен только порядок выполнения интраоперационных рентгенограмм для субъективной оценки коррекции Сам-деформации [64]. На сегодняшний день только Y. Mansor с соавт., на основании своего клинического материала, предложили критерии для избыточной и недостаточной коррекции в виде 5 % разброса от диаметра окружности головки бедренной кости в сторону как избыточной, так и недостаточной коррекции [54]. Сам этап феморопластики является крайне творческим процессом без определённых, описанных в современной литературе, алгоритмов расчета в предоперационном периоде и интраоперационной реализации.

Заключение

Проведенный анализ литературы показал, что за последние два десятилетия произошло значимое совершенствование тактических подходов и технических приёмов артроскопической коррекции фемороацетабулярного импинджмента. В современной литературе имеется чёткое представление о позиционировании артроскопических портов, которые должны располагаться в безопасной зоне. Имеются однозначные данные о необходимости ушивания поперечной и Т-образной капсулотомий, однако сохранение дефектов капсулы сустава после её шва требует дальнейшего совершенствования техники доступа. При повреждениях вертлужной губы необходимо выполнение шва или реконструкции, при выполнении которых стоит отдать предпочтение применению твёрдотельных фиксаторов. Учитывая противоречивые данные использования узловых и безузловых фиксаторов, требуется дальнейшее изучение их влияния на исходы лечения пациентов с ФАИ. Остаётся нерешённым вопрос рационального предоперационного планирования и интраоперационной реализации моделирующей резекции головки и шейки бедренной кости. Глубокое понимание различных хирургических методик, показаний к ним, техники выполнения и возможных недостатков способствует оптимизации результатов лечения пациентов.

Список литературы/References:

1. Griffin D.R., Dickenson E.J., O'Donnell J., et al. The Warwick Agreement on femoroacetabular impingement syndrome (FAI syndrome): an international consensus statement. *Br J Sports Med.* 2016;50:1169-1176. DOI:10.1136/bjsports-2016-096743.
2. Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А. Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей. *Травматология и Ортопедия России.* 2023;29:73-83. DOI:10.17816/2311-2905-2022 [Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A. The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors Traumatology and Orthopedics of Russia. 2023;29:73-83. DOI:10.17816/2311-2905-2022].
3. Bedi A., Zaltz I., De La Torre K., Kelly B.T. Radiographic comparison of surgical hip dislocation and hip arthroscopy for treatment of cam deformity in femoroacetabular impingement. *Am J Sports Med.* 2011;39 Suppl:20S-28S. DOI:10.1177/0363546511412734.
4. Robertson W.J., Kelly B.T. The Safe Zone for Hip Arthroscopy: A Cadaveric Assessment of Central, Peripheral, and Lateral Compartment Portal Placement. *Arthroscopy.* 2008;24:1019-1026. DOI:10.1016/j.arthro.2008.05.008.
5. Haefeli P.C., Albers C.E., Steppacher S.D., et al. What Are the Risk Factors for Revision Surgery After Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement at 7-year Followup? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475:1169-1177. DOI:10.1007/s11999-016-5115-6.
6. Minkara A.A., Westermann R.W., Rosneck J., Lynch T.S. Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes After Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement. *Am J Sports Med.* 2019;47:488-500. DOI:10.1177/0363546517749475.
7. Wagner M., Lindtner R.A., Schaller L., et al. Hip arthroscopy with initial access to the peripheral compartment for femoroacetabular impingement: midterm results from a large-scale patient cohort. *J Orthop Traumatol.* 2024;25:29. DOI:10.1186/s10195-024-00770-6.
8. Chambers C.C., Monroe E.J., Flores S.E., et al. Periportal Capsulotomy: Technique and Outcomes for a Limited Capsulotomy During Hip Arthroscopy. *Arthroscopy.* 2019;35:1120-1127. DOI:10.1016/j.arthro.2018.10.142.
9. Monroe E.J., Chambers C.C., Zhang A.L. Periportal Capsulotomy: A Technique for Limited Violation of the Hip Capsule During Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement. *Arthrosc Tech.* 2019;8:e205-e208. DOI:10.1016/j.eats.2018.10.015.
10. Eberlin C.T., Kucharik M.P., Abraham P.F., et al. Puncture Capsulotomy Technique for Hip Arthroscopy: Midterm Functional Outcomes. *Orthop J Sports Med.* 2023;11:232596712211440. DOI:10.1177/23259671221144056.
11. Nho S.J., Beck E.C., Kunze K.N., et al. Contemporary Management of the Hip Capsule During Arthroscopic Hip Preservation Surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2019;12:260-270. DOI:10.1007/s12178-019-09564-4.
12. Cancienne J.M., Beck E.C., Kunze K.N., et al. Two-Year Patient-Reported Outcomes for Patients Undergoing Revision Hip Arthroscopy with Capsular Incompetency. *Arthroscopy.* 2020;36:127-136. DOI:10.1016/j.arthro.2019.07.026.
13. O'Neill D.C., Mortensen A.J., Cannamela P.C., Aoki S.K. Clinical and Radiographic Presentation of Capsular Iatrogenic Hip Instability After Previous Hip Arthroscopy. *Am J Sports Med.* 2020;48:2927-2932. DOI:10.1177/0363546520949821.
14. Johannsen A.M., Ejnisman L., Behn A.W., et al. Contributions of the Capsule and Labrum to Hip Mechanics in the Context of Hip Microinstability. *Orthop J Sports Med.* 2019;7:232596711989084. DOI:10.1177/2325967119890846.
15. Jimenez A.E., Owens J.S., Shapira J., et al. Hip Capsular Management in Patients With Femoroacetabular Impingement or Microinstability: A Systematic Review of Biomechanical Studies. *Arthroscopy.* 2021;37:2642-2654. DOI:10.1016/j.arthro.2021.04.004.
16. Safran M.R. Microinstability of the Hip-Gaining Acceptance. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27:12-22. DOI:10.5435/JAAOS-D-17-00664.
17. Cvetanovich G.L., Levy D.M., Beck E.C., et al. A T-capsulotomy provides increased hip joint visualization compared with an extended interportal capsulotomy. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6:157-163. DOI:10.1093/jhps/hnz021.
18. Li Z.Y., Hu G.F., Jin Z.G., et al. Capsular Healing in Interportal and Periportal Capsulotomy Methods of Hip Arthroscopy. *Orthop Surg.* 2021;13:1863-1869. DOI:10.1111/os.13132.
19. Yang F., Zhang X., Xu Y., et al. Patients With Unhealed or Partially Healed Anterior Capsules After Hip Arthroscopy for Borderline Developmental Dysplasia of the Hips Have Inferior Patient-Reported Outcome Measures. *Arthroscopy.* 2023;39:1454-1461. DOI:10.1016/j.arthro.2023.01.024.
20. Gao G., Jiao C., Liu J., et al. Healing of joint capsule after hip arthroscopy using interportal capsulotomy and capsular closure influences clinical outcomes. *J Orthop Surg Res.* 2022;17:365. DOI:10.1186/s13018-022-03208-z.
21. Alrabaa R.G., Kannan A., Zhang A.L. Capsule Closure of Periportal Capsulotomy for Hip Arthroscopy. *Arthrosc Tech.* 2022;11:e1117-e1122. DOI:10.1016/j.eats.2022.02.018.
22. Soriano K.K.J., Hartwell M.J., Nguyen T.Q., et al. Hypermobile Patients With Femoroacetabular Impingement Syndrome Can Be Effectively Treated Utilizing Hip Arthroscopy With Periportal Capsulotomy Closure: A Matched Cohort Analysis Compared to Patients Without Joint Hypermobility. *Arthroscopy.* 2023;39:2026-2034. DOI:10.1016/j.arthro.2023.03.008.
23. Conaway W.K., Martin S.D. Puncture Capsulotomy During Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement: Preserving Anatomy and Biomechanics. *Arthrosc Tech.* 2017;6:e2265-e2269. DOI:10.1016/j.eats.2017.08.036.
24. Byrd J.W.T., Jones K.S. Hip Arthroscopy for Labral Pathology: Prospective Analysis With 10-Year Follow-up. *Arthroscopy.* 2009;25:365-368. DOI:10.1016/j.arthro.2009.02.001.
25. Wu Z.X., Ren W.X., Ren Y.M., Tian M.Q. Arthroscopic labral debridement versus labral repair for patients with femoroacetabular impingement: A meta-analysis. *Medicine.* 2020;99:e20141. DOI:10.1097/MD.00000000000020141.
26. Bsat S., Frei H., Beaulé P.E. The acetabular labrum: a review of its function. *Bone Joint J.* 2016;98-B:730-735. DOI:10.1302/0301-620X.98B6.37099.
27. Hoffer A.J., Beel W., Ng K.C.G., Degen R.M. The Contribution of Soft Tissue and Bony Stabilizers to the Hip Suction Seal: A Systematic Review of Biomechanical Studies. *Am J Sports Med.* 2024;52:2657-2668. DOI:10.1177/03635465231208193.
28. Philippon M.J., Nepple J.J., Campbell K.J., et al. The hip fluid seal-Part I: the effect of an acetabular labral tear, repair, resection, and reconstruction on hip fluid pressurization. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:722-729. DOI:10.1007/s00167-014-2874-z.

29. Nepple J.J., Philippon M.J., Campbell K.J., et al. The hip fluid seal-Part II: The effect of an acetabular labral tear, repair, resection, and reconstruction on hip stability to distraction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:730-736. DOI:10.1007/s00167-014-2875-y.
30. Sawyer G.A., Briggs K.K., Dornan G.J., et al. Clinical Outcomes After Arthroscopic Hip Labral Repair Using Looped Versus Pierced Suture Techniques. *Am J Sports Med.* 2015;43:1683-1688. DOI:10.1177/0363546515581469.
31. Jackson T.J., Hammarstedt J.E., Vemula S.P., Domb B.G. Acetabular Labral Base Repair Versus Circumferential Suture Repair: A Matched-Paired Comparison of Clinical Outcomes. *Arthroscopy.* 2015;31:1716-1721. DOI:10.1016/j.arthro.2015.03.004.
32. Philippon M.J., Briggs K.K., Hay C.J., et al. Arthroscopic labral reconstruction in the hip using iliotibial band autograft: technique and early outcomes. *Arthroscopy.* 2010;26:750-756. DOI:10.1016/j.arthro.2009.10.016.
33. Rath R., Mazek J. Arthroscopic acetabular labral reconstruction with rectus femoris tendon autograft: Our experiences and early results. *J Orthop.* 2018;15:783-786. DOI:10.1016/j.jor.2018.05.048.
34. Matsuda D.K., Burchette R.J. Arthroscopic hip labral reconstruction with a gracilis autograft versus labral refixation: 2-year minimum outcomes. *Am J Sports Med.* 2013;41:980-987. DOI:10.1177/0363546513482884.
35. Redmond J.M., Cregar W.M., Martin T.J., et al. Arthroscopic Labral Reconstruction of the Hip Using Semitendinosus Allograft. *Arthrosc Tech.* 2015;4:e323-e329. DOI:10.1016/j.jeats.2015.03.002.
36. Chandrasekaran S., Darwish N., Close M.R., et al. Arthroscopic Reconstruction of Segmental Defects of the Hip Labrum: Results in 22 Patients With Mean 2-Year Follow-Up. *Arthroscopy.* 2017;33:1685-1693. DOI:10.1016/j.arthro.2017.03.015.
37. Scanaliato J.P., Christensen D.L., Salfiti C., et al. Primary Circumferential Acetabular Labral Reconstruction: Achieving Outcomes Similar to Primary Labral Repair Despite More Challenging Patient Characteristics. *Am J Sports Med.* 2018;46:2079-2088. DOI:10.1177/0363546518775425.
38. White B.J., Stapleford A.B., Hawkes T.K., et al. Allograft Use in Arthroscopic Labral Reconstruction of the Hip With Front-to-Back Fixation Technique: Minimum 2-Year Follow-up. *Arthroscopy.* 2016;32:26-32. DOI:10.1016/j.arthro.2015.07.016.
39. Cadet E.R., Chan A.K., Vorys G.C., et al. Investigation of the preservation of the fluid seal effect in the repaired, partially resected, and reconstructed acetabular labrum in a cadaveric hip model. *Am J Sports Med.* 2012;40:2218-2223. DOI:10.1177/0363546512457645.
40. Lee J.H., Park I., Hyun H.S., et al. Comparison of Clinical Outcomes and Computed Tomography Analysis for Tunnel Diameter After Arthroscopic Bankart Repair With the All-Suture Anchor and the Biodegradable Suture Anchor. *Arthroscopy.* 2019;35:1351-1358. DOI:10.1016/j.arthro.2018.12.011.
41. Ro K., Pancholi S., Son H.S., Rhee Y.G. Perianchor Cyst Formation After Arthroscopic Rotator Cuff Repair Using All-Suture-Type, Bioabsorbable-Type, and PEEK-Type Anchors. *Arthroscopy.* 2019;35:2284-2292. DOI:10.1016/j.arthro.2019.03.032.
42. Emblom B.A., Walters B.L., Mast L.E., et al. Fixation strength in arthroscopic labral repair of the hip: A head-to-head comparison of the biomechanical performance of a biocompatible vs. all-suture anchor in the setting of acetabuloplasty. *PLoS One.* 2023;18:e0293738. DOI:10.1371/journal.pone.0293738.
43. Barber F.A., Lee Evanson J.R. Editorial Commentary: Acetabular Labral Repair-Is A Knotless Anchor Better? *Arthroscopy.* 2019;35:77-79. DOI:10.1016/j.arthro.2018.09.003.
44. Safran M.R., Behn A.W., Botser I.B., Mardones R. Knotless Anchors in Acetabular Labral Repair: A Biomechanical Comparison. *Arthroscopy.* 2019;35:70-76.e1. DOI:10.1016/j.arthro.2018.07.035.
45. Rhee S.M., Kang S.Y., Jang E.C., et al. Clinical outcomes after arthroscopic acetabular labral repair using knot-tying or knotless suture technique. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136:1411-1416. DOI:10.1007/s00402-016-2505-x.
46. Celiksoz A.H., Bayram B., Yozgatli T.K., et al. Comparison of Knotless Versus Knot-Tying Suture Anchors for Arthroscopic Repair of Hip Labral Tears. *Orthop J Sports Med.* 2024;12:23259671241265737. DOI:10.1177/23259671241265737.
47. Ganz R., Parvizi J., Beck M., et al. Femoroacetabular Impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;417:112-120. DOI:10.1097/01.blo.0000096804.78689.c2.
48. Барсуков Д.Б., Бортюлев П.И., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Мурашко Т.В., Баскаева Т.В. Тактика хирургического лечения эпифизеолиза головки бедренной кости, ассоциированного с легкой степенью хронического эпифизеолиза. *Травматология и Ортопедия России.* 2022;28:90-101. DOI:10.17816/2311-2905-1774 [Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnikin I.Y., Murashko T.V., Baskaeva T.V. Tactics of Surgical Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis Associated With Mild Chronic Epiphyseal Displacement. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2022;28:90-101. DOI:10.17816/2311-2905-1774].
49. Agricola R., Heijboer M.P., Bierma-Zeinstra S.M.A., et al. Cam impingement causes osteoarthritis of the hip: a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Ann Rheum Dis.* 2013;72:918-923. DOI:10.1136/annrheumdis-2012-201643.
50. Agricola R., Heijboer M.P., Roze R.H., et al. Pincer deformity does not lead to osteoarthritis of the hip whereas acetabular dysplasia does: acetabular coverage and development of osteoarthritis in a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Osteoarthritis Cartilage.* 2013;21:1514-1521. DOI:10.1016/j.joca.2013.07.004.
51. Van Houcke J., Khanduja V., Audenaert E.A. Accurate Arthroscopic Cam Resection Normalizes Contact Stresses in Patients With Femoroacetabular Impingement. *Am J Sports Med.* 2021;49:42-48. DOI:10.1177/0363546520974378.
52. Богопольский О.Е. Инструментальная диагностика и предоперационное планирование при артроскопии тазобедренного сустава у пациентов с синдромом фемороацетабулярного импинджмента: Лекция. *Травматология и Ортопедия России.* 2021;27:155-168. DOI:10.21823/2311-2905-1636 [Bogopolskiy O.E. Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021;27:155-168. DOI:10.21823/2311-2905-1636].
53. Merz M.K., Christoforetti J.J., Domb B.G. Femoral Neck Fracture After Arthroscopic Femoroplasty of the Hip. *Orthopedics.* 2015;38:e696-e700. DOI:10.3928/01477447-20150804-57.
54. Mansor Y., Perets I., Close M.R., et al. In Search of the Spherical Femoroplasty: Cam Overresection Leads to Inferior Functional Scores Before and After Revision Hip Arthroscopic Surgery. *Am J Sports Med.* 2018;46:2061-2071. DOI:10.1177/0363546518779064.
55. Cvetanovich G.L., Harris J.D., Erickson B.J., et al. Revision Hip Arthroscopy: A Systematic Review of Diagnoses, Operative

Findings, and Outcomes. *Arthroscopy*. 2015;31:1382-1390. DOI:10.1016/j.arthro.2014.12.027.

56. Sardana V., Philippon M.J., De Sa D., et al. Revision Hip Arthroscopy Indications and Outcomes: A Systematic Review. *Arthroscopy*. 2015;31:2047-2055. DOI:10.1016/j.arthro.2015.03.039.

57. Philippon M.J., Schenker M.L., Briggs K.K., et al. Revision hip arthroscopy. *Am J Sports Med*. 2007;35:1918-1921. DOI:10.1177/0363546507305097.

58. Gwathmey F.W., Jones K.S., Thomas Byrd J.W. Revision hip arthroscopy: findings and outcomes. *J Hip Preserv Surg*. 2017;4:318-323. DOI:10.1093/jhps/hnx014.

59. Heyworth B.E., Shindle M.K., Voos J.E., et al. Radiologic and intraoperative findings in revision hip arthroscopy. *Arthroscopy*. 2007;23:1295-1302. DOI:10.1016/j.arthro.2007.09.015.

60. Hoppe D.J., De Sa D., Simunovic N., et al. The learning curve for hip arthroscopy: a systematic review. *Arthroscopy*. 2014;30:389-397. DOI:10.1016/j.arthro.2013.11.012.

61. Nötzli H.P., Wyss T.F., Stoecklin C.H., et al. The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84:556-560. DOI:10.1302/0301-620X.84B4.12014.

62. Pfirrmann C.W.A., Mengiardi B., Dora C., et al. Cam and pincer femoroacetabular impingement: characteristic MR arthrographic findings in 50 patients. *Radiology*. 2006;240:778-785. DOI:10.1148/radiol.2403050767.

63. Zhou J., Melugin H.P., Hale R.F., et al. The Prevalence of Radiographic Findings of Structural Hip Deformities for Femoroacetabular Impingement in Patients With Hip Pain. *Am J Sports Med*. 2020;48:647-653. DOI:10.1177/0363546519896355.

64. Lall A.C., Annin S., Chen J.W., et al. Achieving a Perfectly Spherical Femoroplasty: Pearls, Pitfalls, and Optimal Surgical Technique. *Arthrosc Tech*. 2020;9:e303-e313. DOI:10.1016/j.eats.2019.10.011.

Информация об авторах:

Филонов Павел Владимирович - врач травматолог-ортопед, аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, ул. Академика Байкова, д. 8, г. Санкт-Петербург, 195427, Россия.

Email: drpavelfilonov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0001-7758-0128

Богопольский Олег Евгеньевич - врач травматолог-ортопед, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, ул. Академика Байкова, д. 8, г. Санкт-Петербург, 195427, Россия.

Email: 9202211@gmail.com

ORCID iD: 0000-0002-4883-0543

Тихилов Рашид Муртузалиевич - доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, ул. Академика Байкова, д. 8, г. Санкт-Петербург, 195427, Россия.

Email: rtikhilov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0003-0733-2414

Автор, ответственный за переписку:

Филонов Павел Владимирович - врач травматолог-ортопед, аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, ул. Академика Байкова, д. 8, г. Санкт-Петербург, 195427, Россия.

Email: drpavelfilonov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0001-7758-0128

Information about authors:

Filonov Pavel V. – Trauma and Orthopedic Surgeon, Postgraduate Student, R.R. Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of the Russian Federation, Akademika Baykova Str., 8, Saint Petersburg, 195427, Russia. Email: drpavelfilonov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0001-7758-0128

Bogopolsky Oleg E. – Trauma and Orthopedic Surgeon, R.R. Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of the Russian Federation, Akademika Baykova Str., 8, Saint Petersburg, 195427, Russia. Email: 9202211@gmail.com

ORCID iD: 0000-0002-4883-0543

Tikhilov Rashid M. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, R.R. Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of the Russian Federation, Akademika Baykova Str., 8, Saint Petersburg, 195427, Russia. Email: rtikhilov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0003-0733-2414

Corresponding Author:

Filonov Pavel V. – Trauma and Orthopedic Surgeon, Postgraduate Student, R.R. Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of the Russian Federation, Akademika Baykova Str., 8, Saint Petersburg, Russia. Email: drpavelfilonov@gmail.com

ORCID iD: 0000-0001-7758-0128

УДК 616.728.48-089

© Ширинов А.А., Загородний Н.В., Бурков Д.В., Миронов А.Н., Алиев Р.Н., 2026

Обзор литературы / Literature review



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АРТРОДЕЗА, ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ И КОРРИГИРУЮЩИХ НАДЛОДЫЖЕЧНЫХ ОСТЕОТОМИЙ ПРИ ОСТЕОАРТРОЗЕ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И МЕТААНАЛИЗ

А.А. ШИРИНОВ¹, Н.В. ЗАГОРОДНИЙ^{1,2}, Д.В. БУРКОВ³, А.Н. МИРОНОВ³, Р.Н. АЛИЕВ^{1,3}¹ Кафедра травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО «РУДН им. Патриса Лумумбы», Москва, 117198, Российская Федерация² Клиника эндопротезирования суставов, ФГБУ «НМИЦ травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, 127299, Россия³ Травматологическое отделение, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31 имени академика Г.М. Савельевой» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, 119415, Россия

Аннотация

Обоснование. Остеоартроз голеностопного сустава остается сложной проблемой, при этом консервативная терапия не обеспечивает восстановления функции и не предотвращает прогрессирование дегенеративных изменений. Отсутствует консенсус о том, какая хирургическая стратегия — артродез, тотальное эндопротезирование или супрамаллеолярные (надлодыжечные) остеотомии — обеспечивает оптимальное сочетание функциональных результатов и частоты осложнений.

Цель. Провести сравнительный метаанализ функциональных исходов и частоты осложнений при различных хирургических подходах к лечению остеоартроза голеностопного сустава.

Материалы и методы. Поиск литературы проведен в базах PubMed, Scopus, eLibrary и «КиберЛенинка» за 2000–2025 гг. Включено 9 сравнительных исследований (2014–2024 гг.), оценивающих функциональные результаты по шкалам AOFAS, FAAM, MOXFQ и частоту осложнений. Статистический анализ выполнен в R с моделью случайных эффектов (DerSimonian–Laird) и поправкой Hartung–Knapp.

Результаты. Средние различия между методами не достигли статистической значимости ($p > 0,05$). Наблюдалась тенденция к более высоким показателям после супрамаллеолярных остеотомий ($MD = +3,43$; 95 % ДИ $[-9,16; 16,02]$) и более низким после эндопротезирования ($MD = -13,05$; 95 % ДИ $[-28,52; 2,43]$). Риск инфекций выше после эндопротезирования ($RR = 2,32$; 95 % ДИ $[1,06–5,09]$), частота ревизий — почти вдвое выше ($RR = 1,92$; 95 % ДИ $[0,90–4,10]$). Несращение после артродеза составляет 10–12 %.

Заключение. Все три метода обеспечивают сопоставимые функциональные результаты. Артродез надежен, но сопряжен с риском несращения. Эндопротезирование характеризуется большей частотой инфекций и ревизий. Супрамаллеолярные остеотомии демонстрируют наименьшее число осложнений и могут рассматриваться как органосохраняющий вариант.

Ключевые слова: остеоартроз голеностопного сустава; артродез; тотальное эндопротезирование; супрамаллеолярная остеотомия; метаанализ.

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

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Ширинов А.А., Загородний Н.В., Бурков Д.В., Миронов А.Н., Алиев Р.Н. Сравнительная эффективность артродеза, тотального эндопротезирования и корригирующих надлодыжечных остеотомий при остеоартрозе голеностопного сустава: систематический обзор и метаанализ. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1:80–89.

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF ARTHRODESIS, TOTAL ANKLE REPLACEMENT, AND SUPRAMALLEOLAR OSTEOTOMY IN ANKLE OSTEOARTHRITIS: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

AINULLOKH A. SHIRINOV¹, NIKOLAY V. ZAGORODNIY^{1,2}, DMITRIY V. BURKOV³, ANDREY N. MIRONOV³, RASUL N. ALIEV^{1,3}¹ Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, 117198, Russian Federation² Joint Replacement Clinic, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of Russia, Moscow, 127299, Russia³ Trauma Department, City Clinical Hospital No. 31 named after Academician G.M. Savelyeva, Moscow Healthcare Department, Moscow, 119415, Russia

Abstract

Background. Ankle osteoarthritis remains a challenging problem, but conservative therapy fails to restore function and does not prevent the progression of degenerative changes. There is no consensus on which surgical strategy—arthrodesis, total ankle arthroplasty, or supramalleolar osteotomy – provides the optimal balance between functional outcomes and complication rates.

Objective. To conduct a comparative meta-analysis of functional outcomes and complication rates associated with different surgical approaches to the treatment of ankle osteoarthritis.

Materials and Methods. A literature search was performed in PubMed, Scopus, eLibrary, and CyberLeninka databases for the period 2000–2025. Nine comparative studies (2014–2024) evaluating functional outcomes using AOFAS, FAAM, and MOXFQ scales and complication rates were included. Statistical analysis was performed in R using a random-effects model (DerSimonian–Laird) with Hartung–Knapp adjustment.

Results. Mean differences between methods did not reach statistical significance ($p > 0.05$). A trend toward higher functional scores was observed following supramalleolar osteotomy (MD = +3.43; 95% CI [–9.16, 16.02]) and lower scores following arthroplasty (MD = –13.05; 95% CI [–28.52, 2.43]). Infection risk was higher after total ankle arthroplasty (RR = 2.32; 95% CI [1.06–5.09]), with revision rates nearly twice as high (RR = 1.92; 95% CI [0.90–4.10]). Nonunion following arthrodesis occurred in 10–12% of cases.

Conclusion. All three methods provide comparable functional outcomes. Arthrodesis is reliable but carries nonunion risk. Arthroplasty is associated with higher infection and revision rates. Supramalleolar osteotomy demonstrates the lowest complication rates and may be considered a joint-preserving option.

Key words: ankle osteoarthritis; arthrodesis; total ankle replacement; supramalleolar osteotomy; meta-analysis.

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: Shirinov A.A., Zagorodniy N.V., Burkov D.V., Mironov A.N., Aliev R.N. Comparative effectiveness of arthrodesis, total ankle replacement, and supramalleolar osteotomy in ankle osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 80–89.

DOI: 10.17238/issn2226-2016.2026.1.80-89

Введение

Терапия остеоартроза голеностопного сустава является дискуссионной темой в настоящее время. Консервативные методы позволяют временно купировать болевой синдром и замедлить прогрессирование дегенеративного процесса, но не обеспечивают восстановление функции сустава [1; 2; 3]. Более того, отсутствуют унифицированные клинические рекомендации, регламентирующие выбор оптимальной тактики ведения пациентов с данной патологией [1].

Среди хирургических подходов выделяются три метода: артродез голеностопного сустава (тибиоталарный артродез), тотальное эндопротезирование голеностопного сустава (ТЭГС) и корригирующие супрамаллеоларные (надлодыжечные) остеотомии (СМО). Несмотря на клинический опыт применения каждой из методик, данные о том, какой из подходов обеспечивает лучший баланс между функциональным результатом и риском осложнений, неоднозначны.

Цель исследования – сравнить функциональные исходы и частоту осложнений при хирургических стратегиях лечения остеоартроза голеностопного сустава, среди которых артродез, тотальное эндопротезирование и супрамаллеоларные остеотомии.

Материалы и методы

Для проведения метаанализа использован международный протокол систематического обзора и метаанализа

за PRISMA 2020 [4]. Поиск публикаций осуществлялся в международных и национальных библиографических базах данных PubMed, Scopus, eLibrary и «КиберЛенинка» за период с 2000 по 2025 гг., с использованием комбинаций контролируемых терминов (MeSH) и ключевых слов, соответствующих тематике исследования.

Ключевые слова

На английском языке: ankle osteoarthritis, ankle arthrodesis, supramalleolar osteotomy, total ankle arthroplasty, ankle joint replacement, ankle fusion, complications, revision rate, gait analysis, biomechanics, functional outcomes, VAS, AOFAS, FAAM, SF-36.

На русском языке: остеоартроз голеностопного сустава; артродез; эндопротезирование голеностопного сустава; тотальное эндопротезирование; остеотомия; надлодыжечная остеотомия; корригирующая остеотомия; фиксация; ревизионные операции; осложнения; функциональные результаты; биомеханика; анализ походки; качество жизни; AOFAS; VAS; FAAM; SF-36.

Критерии соответствия

С целью сравнения эффективности указанных видов оперативных вмешательств определены критерии соответствия литературных источников.

Критерии включения:

– Исследования, включающие данные пациентов старше 18 лет с остеоартрозом голеностопного сустава, получивших артродез, эндопротезирование или супрамаллеолярную остеотомию.

– Публикации на английском и русском языках, 2000–2025 гг.

– Наличие четко описанных исходов лечения и срока наблюдения ≥ 12 мес.

Критерии исключения:

– Исследования, включающие пациентов моложе 18 лет.
– Исследования пациентов с ревматоидным артритом без отдельного анализа.

– Серии случаев < 10 пациентов, обзоры, письма и экспертные мнения без первичных данных.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных выполнялась в программной среде R (пакет Metafor) с использованием моделей случайных эффектов (DerSimonian–Laird) и уточненной поправки Hartung–Knapp для малых выборок. Для количественной оценки различий между хирургическими вмешательствами рассчитывались: разности средних (Mean Difference, MD) для непрерывных показателей (AOFAS, FAAM, MOXFQ); отношение рисков (RR) для категориальных переменных (осложнения, ревизии, несращения).

Гетерогенность между исследованиями определялась с помощью показателя I^2 и статистики Q Кохрана, а межисследовательская дисперсия — через τ^2 . Значения $I^2 < 30\%$ расценивались как низкая, 30–60% — умеренная, $> 60\%$ — высокая гетерогенность.

Для анализа осложнений дополнительно оценивались инфекционные события, несращения и ревизионные вмешательства. Риск публикационного смещения оценивался с помощью воронкообразного графика (funnel plot) и регрессионного теста Эггера.

Статистическая значимость различий принималась при $p < 0,05$.

Результаты

В результате идентифицировано 684 публикации, из них — 302 в базе PubMed, 262 в eLibrary, 72 в «КиберЛенинке» и 48 в Scopus. Все найденные работы были импортированы в программу EndNote X9 для удаления дублирующихся записей; в ходе дубликат-контроля исключено 145 совпадений, после чего осталось 539 уникальных публикаций. После анализа заголовков и аннотаций, с применением критериев включения и исключения, исключено 512 нерелевантных источников. Так, для метаанализа были отобраны 27 публикаций, полностью соответствующих теме и структуре исследования. После чтения полных текстов исключено еще 18 работ — в основном описательных исследований, не содержащих всех необходимых для анализа количественных данных.

В итоге в метаанализ включено 9 публикаций за 2014–2024 гг., посвященных сравнительной оценке функциональных результатов артродеза, ТЭГС и СМО при остеоартрозе голеностопного сустава (Табл. 1).

Таблица 1 / Tab. 1

**Исследования, отобранные для метаанализа /
Studies included in the meta-analysis**

Исследование	Описание анализа	Описание выборки	Результаты	Ограничения
Goldberg et al., 2023 (Великобритания) [5]	Рандомизированное контролируемое исследование (17 центров); наблюдение 12 месяцев; $n = 303$; возраст 69 ± 7 лет	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	Шкала MOXFQ: разница = 5,6 (95% доверительный интервал 1,4; $p = 0,12$); функциональный результат тотального эндопротезирования голеностопного сустава лучше ($< 11,1 \pm$ стандартное отклонение, $p = 0,008$); инфекция 13,4% и 3,7%; ревизии 0,7% и 0	Низкий риск смещения (рандомизированное контролируемое исследование); экономическая модель NICE: тотальное эндопротезирование голеностопного сустава = 69% вероятность cost-effectiveness
Norvell et al., 2019 (США) [6]	Проспективное многоцентровое исследование когорты (мультицентровое II); наблюдение; $n \approx 517$	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	Функциональная активность по шкале FAAM: разница = +9 (95% доверительный интервал: 15; $p < 0,01$); стандартное отклонение: 36–63 > 4 (1–7); различий по ревизиям нет	Низкий риск; коррекция по возрасту и индексу массы тела; 2-летний период наблюдения

Окончание Таблицы 1

Исследование	Описание анализа	Описание выборки	Результаты	Ограничения
Daniels et al., 2014 (Канада) [7]	Проспективное исследование; n = 388; наблюдение 5,5 года	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	Шкала COFAS: улучшение в обеих группах; различия незначимы; ревизии 17% и 7%	Низкий риск; долгосрочное наблюдение; не результаты по возрасту и коморбидности
Loewy et al., 2022 (США) [8]	Ретроспективное исследование когорты (1 хирург); наблюдение 11 лет; n = 335	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	Индекс функции стопы: лучше при тотальном эндопротезировании голеностопного сустава (p = 0,011); ревизии 15% и 6% (p < 0,05)	Умеренный риск (ROBINS-I); различная длительность наблюдения
Kostuj et al., 2024 (Германия) [9]	Ретроспективное исследование серийных данных (2001–2020); наблюдение 5–10 лет; n = 2000	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	10 лет: выживаемость 19% (артродез и тотальное эндопротезирование голеностопного сустава); улучшение результатов тотального эндопротезирования голеностопного сустава в поздней когорте	Низкий риск; крупная выборка; различные клинические подтипы
Wąsik et al., 2019 (Польша) [10]	Ретроспективное исследование когорты (1 центр); наблюдение 55 месяцев; n = 56	Тотальное эндопротезирование голеностопного сустава и артродез	Шкала AOFAS: 68,2 и 61,3; коэффициент 68,0 и 60,3; стандартное отклонение: 12; улучшение в обеих группах	Умеренный риск; малый объем выборки
Yang XQ et al., 2022 (Китай) [11]	Ретроспективное исследование когорты (на базе локальной больницы III уровня); n = 58	Супрамаллеолярная остеотомия и артродез	Шкала AOFAS и визуально-аналоговая шкала улучшены в обеих группах	Умеренный риск
Yang WQ et al., 2023 (Китай) [12]	Ретроспективная когорта; наблюдение 29 месяцев	Супрамаллеолярная остеотомия и артродез голеностопного сустава; n = 41	Супрамаллеолярная остеотомия превосходит артродез голеностопного сустава по шкалам AOFAS и SF-36 (p < 0,05); артродез голеностопного сустава превосходит по обезболиванию и удовлетворенности; реоперации чаще при супрамаллеолярной остеотомии (p = 0,038)	Умеренный риск систематической ошибки; малый размер выборки
Veljkovic et al., 2019 (Канада) [13]	Ретроспективная когорта (COFAS); наблюдение 43 месяца	Эндопротезирование голеностопного сустава изолированное и комбинированный артродез; n = 238	Шкала AOS лучше при эндопротезировании голеностопного сустава и комбинированном артродезе (p < 0,05); реоперации чаще при эндопротезировании голеностопного сустава (p < 0,001)	Умеренный риск систематической ошибки; гетерогенность по типу артродеза

Примечание: AOFAS — шкала Американского ортопедического общества стопы и голеностопного сустава; FAAM — шкала функциональной активности стопы и голеностопного сустава; MOXFQ — Манчестерский-Оксфордский опросник стопы; COFAS — Канадское ортопедическое общество стопы и голеностопного сустава; ROBINS-I — инструмент оценки риска смещения в нерандомизированных исследованиях; AOS — Ankle Osteoarthritis Scale, шкала остеоартроза голеностопного сустава: боль, ограничение функции.

Функциональные исходы

Выявлены средние различия (Mean Difference, MD) функциональных исходов между основными хирургическими тактиками: супрамаллеолярной остеотомией, артродезом и тотальным эндопротезированием. Показатели рассчитаны по объединенным данным сравнительных исследований, включенных в метаанализ (n = 9).

Для каждой пары сравнений приведены значения MD с 95% доверительными интервалами (ДИ). Положительные значения MD указывают на преимущество первой процедуры в паре.

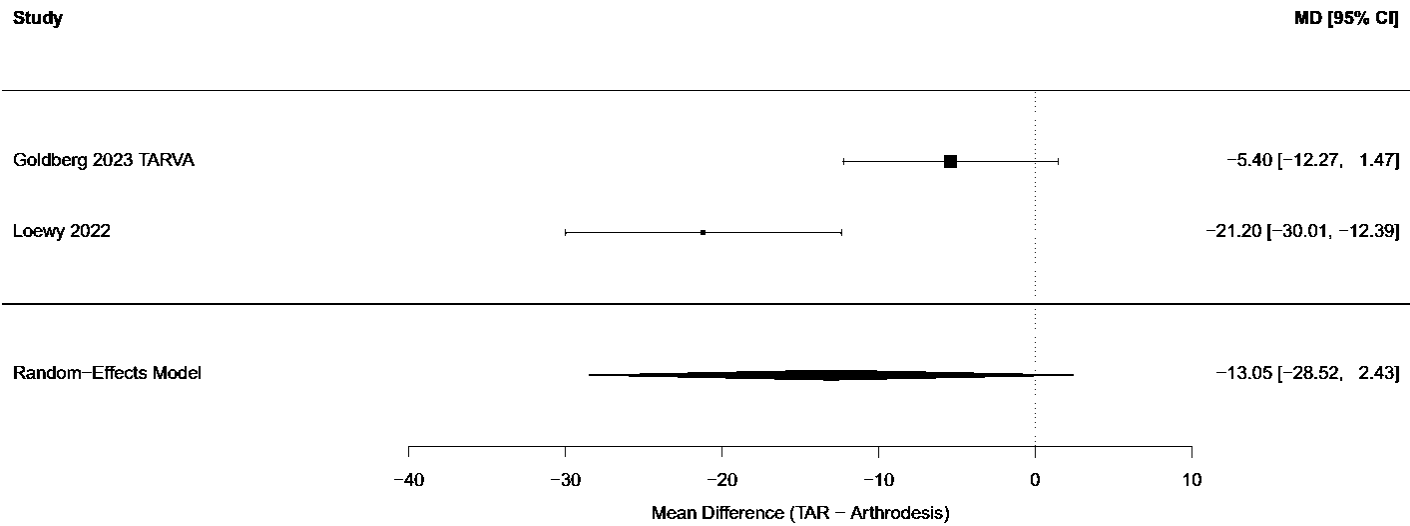


Рисунок 1. Лесной график (forest plot) сравнительных функциональных исходов при эндопротезировании и артродезе
Fig. 1. Forest plot of comparative functional outcomes following total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis

Объединенная оценка по модели случайных эффектов показала, что различия также не достигли статистической значимости: MD = -13.05 [-28.52; 2.43], $p > 0.05$. При этом в исследовании Loewy 2022 функциональные баллы после ТЭГС были ниже, чем после артродеза (-21.2 [-30.0; -12.4]) [8], тогда как в исследовании TARVA RCT (Total Ankle Replacement Versus Arthrodesis) — различия минимальны (-5.4 [-12.3; 1.5]) [5]. Полученные данные указывают на умеренную гетерогенность ($I^2 \approx 30\%$) и тенденцию к снижению функциональных показателей после эндопротезирования в среднесрочной перспективе (5–7 лет наблюдения).

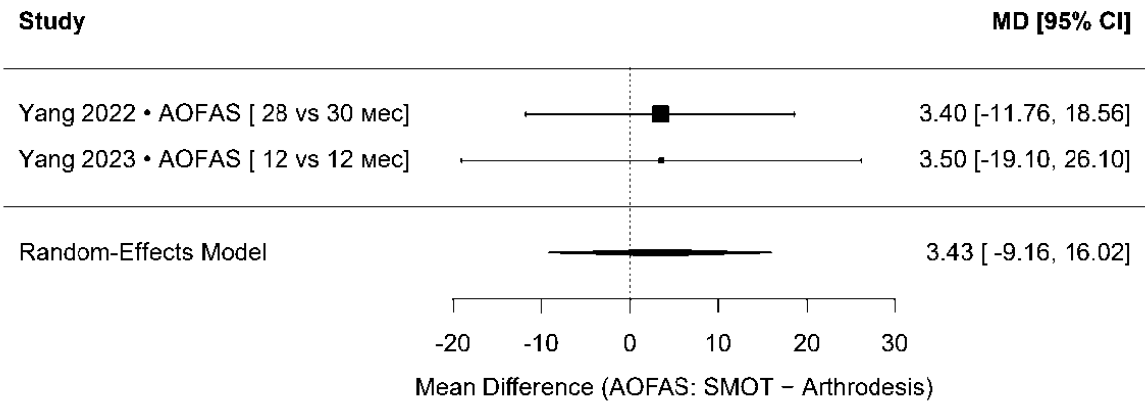


Рисунок 2. Лесной график (forest plot) сравнительных функциональных исходов при супрамаллеолярной остеотомии и артродезе
Fig. 2. Forest plot of comparative functional outcomes following supramalleolar osteotomy and ankle arthrodesis

По результатам метаанализа, различия между группами были статистически незначимы: MD = 3.43 [-9.16; 16.02], $p > 0.05$. В обоих исследованиях наблюдалась тенденция к более высоким значениям AOFAS после СМО, что отражает лучшее сохранение опороспособности и биомеханики сустава при сохраненной конгруэнтности суставных поверхностей. Гетерогенность оказалась минимальной ($I^2 \approx 0\%$), что указывает на согласованность результатов между исследованиями.

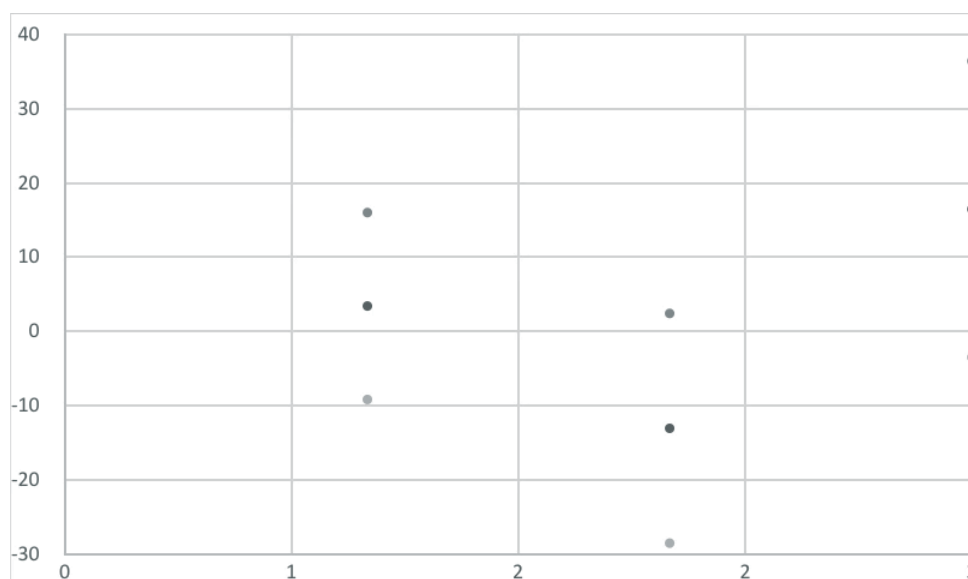


Рисунок 3. Лесной график (forest plot) сравнительных функциональных исходов при трех методах хирургического лечения

Fig. 3. Forest plot of comparative functional outcomes across three surgical treatment methods

При сравнении СМО и артродеза средняя разница составила +3,43 (95% ДИ [-9,16; 16,02]), что отражает небольшую, статистически незначимую тенденцию к более высоким функциональным баллам после СМО. Сравнение ТЭГС и артродеза показало среднюю разницу -13,05 (95% ДИ [-28,52; 2,43]), что свидетельствует о тенденции к более низким функциональным результатам после эндопротезирования по сравнению с артродезом, однако различие не достигает статистической значимости. СМО и ТЭГС: средняя разница +16,48 (95% ДИ [-3,47; 36,43]) указывает на потенциальное преимущество СМО по функциональным исходам, хотя доверительный интервал пересекает ноль, что свидетельствует о статистической незначимости эффекта.

Частота осложнений

Анализ частоты осложнений был выполнен с применением рандом-эффект модели (DerSimonian-Laird) и уточненной поправки Hartung-Knapp для малых выборок. Для каждого показателя определялись относительные риски (RR) с 95 % доверительными интервалами (ДИ), а также уровень гетерогенности (I^2) и межисследовательская дисперсия (τ^2).

Инфекционные осложнения

Сравнение частоты инфекций между ТЭГС и артродезом, по данным TARVA RCT, Goldberg et al., 2023, показало достоверное повышение риска инфекций в группе ТЭГС: RR = 2,32; 95% ДИ 1,06–5,09. Полученные данные указывают на более чем двукратное увеличение вероятности инфекционных осложнений при использовании эндопротеза по сравнению

с артродезом, что, вероятно, связано с наличием инородного материала, большей инвазивностью вмешательства и повышенными требованиями к мягкотканому покрытию.

Ревизионные и повторные вмешательства

Объединенный анализ трех исследований (Loewy et al., 2022 [8]; Daniels et al., 2014 [7]; Kostuj et al., 2024 [9]) показал, что риск ревизий и повторных операций достоверно выше после ТЭГС: RR = 1,92; 95% ДИ 0,90–4,10; $I^2 = 82\%$; $\tau^2 = 0,36$. Несмотря на то что доверительный интервал пересекает единицу, направление эффекта было согласованным во всех исследованиях. Высокое значение I^2 отражает существенную гетерогенность выборок, что может быть обусловлено различиями в поколениях имплантов, длительности наблюдения и критериях ревизии. В целом тенденция указывает на более высокий риск повторных вмешательств после ТЭГС по сравнению с артродезом, особенно на горизонте более 5 лет.

Несращение (nonunion, псевдоартроз) после артродеза

По данным TARVA RCT, частота симптоматического несращения после артродеза составила 7,1% (95% ДИ 3,9–12,6%), а рентгенологического — 12,1% [5]. При мета-анализе одноармовых серий, включающих аналогичные наблюдения, средняя частота несращений находилась в пределах 8–10%, что соответствует данным других ортопедических регистров. Этот показатель остается главным ограничением артродеза как метода, особенно у пациентов с нарушениями метаболизма костной ткани, курением или сопутствующим диабетом.

Обсуждение

Результаты проведенного метаанализа согласуются с большинством современных систематических обзоров и метаанализов, посвященных хирургическому лечению остеоартроза голеностопного сустава. Так, в систематическом обзоре Lawton и соавт. (2020), включившем 35 исследований (4312 случаев ТЭГС и 1091 артродез), не выявлено различий по совокупным PROMs, однако отмечена достоверно большая частота ревизий после ТЭГС, что коррелирует с направлением эффекта нашего анализа ($RR \approx 1,9$) [14].

Повышенный риск инфекционных осложнений, выявленный в нашем исследовании ($RR \approx 2,3$), также подтвержден в независимых метаанализах. Zunarelli и соавт. (2023) показали, что частота перипротезных инфекций после ТЭГС составляет в среднем 3,8 %, с выраженной вариабельностью показателей и преобладанием поздних форм, требующих ревизии или удаления импланта [15]. Данные подчеркивают клиническую значимость выявленного нами тренда и подтверждают роль мягкотканого покрытия, хирургической техники и строгого соблюдения принципов асептики при выборе пациентов для ТЭГС.

Вопрос долговечности ТЭГС тесно связан с определением понятия «отказ» и критериями ревизии. По данным систематического обзора Lee и соавт. (2024), включившего 21 исследование, 10-летняя выживаемость современных имплантов варьирует от 66% до 94,4%, что объясняется разнородностью конструкций, хирургической техники и критериев исхода [16]. Эти различия объясняют статистическую гетерогенность и пересечение доверительных интервалов, наблюдавшееся и в нашем метаанализе. Согласно отчетам Шведского регистра, предоперационный варусный наклон большеберцовой кости ассоциирован с двукратным увеличением частоты ревизий, тогда как оптимизация осевой коррекции и усовершенствование покрытий имплантов увеличивают 5-летнюю выживаемость протезов нового поколения.

Полученная в нашем метаанализе тенденция к более высоким функциональным результатам после СМО на среднесрочных сроках наблюдения подтверждается систематическим обзором Butler и соавт. (2023), где отмечено значительное клиническое улучшение при умеренном остеоартрозе и сохраненной оси конечности, а также низкая частота несращений (~6,8%) и умеренная частота повторных вмешательств (~28%) [17]. Эти результаты позволяют рассматривать СМО как эффективную органосохраняющую альтернативу артродезу у тщательно отобранных пациентов, однако объясняют отсутствие статистически значимого превосходства при объединенном анализе, учитывающем разнородные показания и методики.

Отсутствие значимых различий по агрегированным шкалам не исключает клинически значимой разницы в

биомеханике. Новейший метаанализ (2025) показал, что ТЭГС в большей степени восстанавливает сагиттальную подвижность и нормализует параметры походки, тогда как артродез обеспечивает стабильность ценой ограничения движений в голеностопном сегменте [18]. Различия могут объяснять неоднородность субъективных оценок качества жизни и разнонаправленные результаты отдельных исследований.

Заключение

Проведенный метаанализ показал, что три хирургические стратегии — артродез, тотальное эндопротезирование и супрамаллеолярные остеотомии — обеспечивают сопоставимые функциональные результаты при лечении остеоартроза голеностопного сустава по шкалам AOFAS, FAAM и MOXFQ. При этом прослеживается тенденция к более высоким функциональным показателям после СМО по сравнению с тотальным эндопротезированием, а также к несколько лучшим результатам после артродеза относительно эндопротезирования.

ТЭГС характеризуется более высоким риском инфекционных осложнений ($RR \approx 2,3$) и ревизионных вмешательств ($RR \approx 1,9$) по сравнению с артродезом, что подчеркивает необходимость тщательного отбора пациентов, совершенствования имплантных конструкций и строгого соблюдения принципов асептики и антисептики. Артродез сохраняет статус надежного и предсказуемого метода хирургического лечения, однако сопряжен с риском несращения до 10–12%, что требует оптимизации методов фиксации и рационального построения послеоперационного реабилитационного протокола. СМО демонстрирует наименьшую частоту ранних осложнений и может рассматриваться как органосохраняющий, промежуточный вариант хирургического вмешательства у пациентов с сохраненной осью конечности и умеренными дегенеративными изменениями суставных поверхностей.

Следует отметить, что для большинства анализируемых показателей доверительные интервалы пересекали нулевую отметку, что указывает на отсутствие статистически достоверного превосходства одной методики над другими. Этот факт подчеркивает необходимость проведения дальнейших рандомизированных контролируемых исследований с унифицированными критериями включения и стандартизированными шкалами оценки исходов, что позволит более точно определить показания и оптимальные группы пациентов для каждого из подходов.

Список литературы:

1. Herrera-Pérez M., Valderrabano V., Godoy-Santos A.L., de César Netto C., González-Martín D., Tejero S. Ankle osteoarthritis: comprehensive review and treatment algorithm proposal. *EFORT Open Rev.* 2022;7(7):448–459. <https://doi.org/10.1530/EOR-21-0117>

2. Айрапетов Г.А., Воротников А.А. Современные методы лечения артроза первого плюснефалангового сустава. *Клиническая практика*. 2021;12(2):103–109. <https://doi.org/10.17816/clinpract65062>

Airapetov G.A., Vorotnikov A.A. Modern approaches to the treatment of hallux rigidus. *Journal of Clinical Practice*. 2021;12(2):103–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/clinpract65062>

3. Bloch B., Srinivasan S., Mangwani J. Current concepts in the management of ankle osteoarthritis: a systematic review. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(5):932–939. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2014.12.042>

4. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M., Akl E.A., Brennan S.E., Chou R., Glanville J., Grimshaw J.M., Hróbjartsson A., Lalu M.M., Li T., Loder E.W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L.A., Stewart L.A., Thomas J., Tricco A.C., Welch V.A., Whiting P., Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Int J Surg*. 2021;88:105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>. PMID: 33789826

5. Goldberg A.J., Chowdhury K., Bordea E., Blackstone J., Brookings D., Deane E.L., Hauptmannova I., Cooke P., Cumbers M., Skene S.S., Doré C.J. Total ankle replacement versus ankle arthrodesis for patients aged 50–85 years with end-stage ankle osteoarthritis: the TARVA RCT. *Health Technol Assess*. 2023;27(5):1–80. <https://doi.org/10.3310/PTYJ1146>

6. Norvell D.C., Ledoux W.R., Shofer J.B., Hansen S.T., Davitt J., Anderson J.G., Bohay D., Coetzee J.C., Maskill J., Brage M., Houghton M., Sangeorzan B.J. Effectiveness and safety of ankle arthrodesis versus arthroplasty: a prospective multicenter study. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(16):1485–1494. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01257>

7. Daniels T.R., Younger A.S.E., Penner M., Wing K., Dryden P.J., Wong H., Glazebrook M. Intermediate-term results of total ankle replacement and ankle arthrodesis: a COFAS multicenter study. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(2):135–142. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01597>

8. Loewy E.M., Goodson K.M., Huang K., Perkins A., Walling A.K. 2021 Roger A. Mann Award Winner: Long-term revision rates and functional outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. *Foot Ankle Orthop*. 2022;7(1):2473011421S00044. <https://doi.org/10.1177/2473011421S00044>

9. Kostuj T., Hönning A., Mittelmeier W., Malzahn J., Baums M.H., Osmanski-Zenk K. Outcome after total ankle replacement or ankle arthrodesis in end-stage ankle osteoarthritis on the basis of German-wide data: a retrospective comparative study over 10 years. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25:492. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07612-w>

10. Wąsik J., Stoltny T., Pasek J., Szyluk K., Pyda M., Ostalowska A., Kasperczyk S., Koczy B. Effect of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis for ankle osteoarthritis: a comparative study. *Med Sci Monit*. 2019;25:6797–6804. <https://doi.org/10.12659/MSM.915574>

11. Yang X.-Q., Zhang Y., Wang Q., Liang J.-Q., Liu L., Liang X.-J., Zhao H.-M. Supramalleolar osteotomy and arthrodesis for the treatment of Takakura 3B ankle osteoarthritis. *Foot Ankle Int*. 2022;43(9):1185–1193. <https://doi.org/10.1177/10711007221099183>

12. Yang W., Fu B., Zhang Y., Zhu X., Liu Y., Sun G. Effectiveness comparison of supramalleolar osteotomy and ankle arthrodesis in treatment of inverted ankle osteoarthritis in Takakura 3A stage with talus tilt. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2023;37(12):1482–1488. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.202309039>

13. Veljkovic A.N., Daniels T.R., Glazebrook M.A., Dryden P.J., Penner M.J., Wing K.J., Younger A.S.E. Outcomes of total ankle replacement, arthroscopic ankle arthrodesis, and open ankle arthrodesis for isolated non-deformed end-stage ankle arthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(17):1523–1529. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01012>

14. Lawton C.D., Prescott A., Butler B.A., Awender J.F., Selley R.S., Dekker R.G. II, Balderama E.S., Kadakia A.R. Modern total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. *Orthop Rev (Pavia)*. 2020;12(3):8279. <https://doi.org/10.4081/or.2020.8279>. PMID: 33312482

15. Zunarelli R., Fiore M., Lonardo G., Pace A., Persiani V., De Paolis M., Sambri A. Total ankle replacement infections: a systematic review of the literature. *J Clin Med*. 2023;12(24):7711. <https://doi.org/10.3390/jcm12247711>. PMID: 38137779

16. Lee M.S., Mathson L., Andrews C., Wiese D., Fritz J.M., Jimenez A.E., Law B. Long-term outcomes after total ankle arthroplasty: a systematic review. *Foot Ankle Orthop*. 2024;9(4):24730114241294073. <https://doi.org/10.1177/24730114241294073>. PMID: 39525891

17. Butler J.J., Azam M.T., Weiss M.B., Kennedy J.G., Walls R.J. Supramalleolar osteotomy for the treatment of ankle osteoarthritis leads to favourable outcomes and low complication rates at mid-term follow-up: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(2):701–715. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07144-7>. PMID: 36151410

18. Mahamid A., Laver L., Maman D., Abu Elhija A., Haj Yahya M., Haverkamp D., Berkovich Y., Behrbalk E. Comparing early outcomes and complications between total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis in patients with ankle osteoarthritis: big data analysis. *J Clin Med*. 2025;14(9):2909. <https://doi.org/10.3390/jcm14092909>.

References:

1. Herrera-Pérez M., Valderrabano V., Godoy-Santos A.L., de César Netto C., González-Martín D., Tejero S. Ankle osteoarthritis: comprehensive review and treatment algorithm proposal. *EFORT Open Rev*. 2022;7(7):448–459. <https://doi.org/10.1530/EOR-21-0117>

2. Airapetov G.A., Vorotnikov A.A. Modern approaches to the treatment of hallux rigidus. *Journal of Clinical Practice*. 2021;12(2):103–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/clinpract65062>

3. Bloch B., Srinivasan S., Mangwani J. Current concepts in the management of ankle osteoarthritis: a systematic review. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(5):932–939. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2014.12.042>

4. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M., Akl E.A., Brennan S.E., Chou R., Glanville J., Grimshaw J.M., Hróbjartsson A., Lalu M.M., Li T., Loder E.W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L.A., Stewart L.A., Thomas J., Tricco A.C., Welch V.A., Whiting P., Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Int J Surg*. 2021;88:105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>. PMID: 33789826

5. Goldberg A.J., Chowdhury K., Bordea E., Blackstone J., Brookings D., Deane E.L., Hauptmannova I., Cooke P., Cumbers M., Skene S.S., Doré C.J. Total ankle replacement versus ankle arthrodesis for patients aged 50–85 years with end-stage ankle osteoarthritis: the TARVA RCT. *Health Technol Assess*. 2023;27(5):1–80. <https://doi.org/10.3310/PTYJ1146>

6. Norvell D.C., Ledoux W.R., Shofer J.B., Hansen S.T., Davitt J.,

Anderson J.G., Bohay D., Coetzee J.C., Maskill J., Brage M., Houghton M., Sangeorzan B.J. Effectiveness and safety of ankle arthrodesis versus arthroplasty: a prospective multicenter study. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(16):1485–1494. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01257>

7. Daniels T.R., Younger A.S.E., Penner M., Wing K., Dryden P.J., Wong H., Glazebrook M. Intermediate-term results of total ankle replacement and ankle arthrodesis: a COFAS multicenter study. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(2):135–142. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01597>

8. Loewy E.M., Goodson K.M., Huang K., Perkins A., Walling A.K. 2021 Roger A. Mann Award Winner: Long-term revision rates and functional outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. *Foot Ankle Orthop.* 2022;7(1):2473011421S00044. <https://doi.org/10.1177/2473011421S00044>

9. Kostuj T., Hönning A., Mittelmeier W., Malzahn J., Baums M.H., Osmanski-Zenk K. Outcome after total ankle replacement or ankle arthrodesis in end-stage ankle osteoarthritis on the basis of German-wide data: a retrospective comparative study over 10 years. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25:492. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07612-w>

10. Wąsik J., Stołtny T., Pasek J., Szyłuk K., Pyda M., Ostalowska A., Kasperczyk S., Koczy B. Effect of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis for ankle osteoarthritis: a comparative study. *Med Sci Monit.* 2019;25:6797–6804. <https://doi.org/10.12659/MSM.915574>

11. Yang X.-Q., Zhang Y., Wang Q., Liang J.-Q., Liu L., Liang X.-J., Zhao H.-M. Supramalleolar osteotomy and arthrodesis for the treatment of Takakura 3B ankle osteoarthritis. *Foot Ankle Int.* 2022;43(9):1185–1193. <https://doi.org/10.1177/10711007221099183>

12. Yang W., Fu B., Zhang Y., Zhu X., Liu Y., Sun G. Effectiveness comparison of supramalleolar osteotomy and ankle arthrodesis in treatment of inverted ankle osteoarthritis in Takakura 3A stage with talus tilt. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2023;37(12):1482–1488. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.202309039>

13. Veljkovic A.N., Daniels T.R., Glazebrook M.A., Dryden P.J., Penner M.J., Wing K.J., Younger A.S.E. Outcomes of total ankle replacement, arthroscopic ankle arthrodesis, and open ankle arthrodesis for isolated non-deformed end-stage ankle arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(17):1523–1529. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01012>

14. Lawton C.D., Prescott A., Butler B.A., Awender J.F., Selley R.S., Dekker R.G. II, Balderama E.S., Kadakia A.R. Modern total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. *Orthop Rev (Pavia).* 2020;12(3):8279. <https://doi.org/10.4081/or.2020.8279>. PMID: 33312482

15. Zunarelli R., Fiore M., Lonardo G., Pace A., Persiani V., De Paolis M., Sambri A. Total ankle replacement infections: a systematic review of the literature. *J Clin Med.* 2023;12(24):7711. <https://doi.org/10.3390/jcm12247711>. PMID: 38137779

16. Lee M.S., Mathson L., Andrews C., Wiese D., Fritz J.M., Jimenez A.E., Law B. Long-term outcomes after total ankle arthroplasty: a systematic review. *Foot Ankle Orthop.* 2024;9(4):24730114241294073. <https://doi.org/10.1177/24730114241294073>. PMID: 39525891

17. Butler J.J., Azam M.T., Weiss M.B., Kennedy J.G., Walls R.J. Supramalleolar osteotomy for the treatment of ankle osteoarthritis leads to favourable outcomes and low complication rates at mid-term follow-up: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(2):701–715. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07144-7>. PMID: 36151410

18. Mahamid A., Laver L., Maman D., Abu Elhija A., Haj Yahya

M., Haverkamp D., Berkovich Y., Behrbalk E. Comparing early outcomes and complications between total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis in patients with ankle osteoarthritis: big data analysis. *J Clin Med.* 2025;14(9):2909. <https://doi.org/10.3390/jcm14092909>

Информация об авторах:

Ширинов Айнуллох Абдурахмонович, аспирант кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия

e-mail: Shirinov_0101@mail.ru; тел.: +7-917-812-58-51; почтовый адрес: 117335, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная 48к4, кв 21.

Загородний Николай Васильевич, доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, руководитель клиники эндопротезирования суставов ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии Медицинского института ФГАОУ ВО «РУДН им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия

e-mail: zagorodniy51@mail.ru, тел.: +7-917-549-41-61.

Бурков Дмитрий Владимирович, кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31 имени академика Г.М. Савельевой» Департамента здравоохранения г. Москвы, ул. Лобачевского, д. 42, Москва, 119415, Россия

e-mail: arthrodv@mail.ru

Миронов Андрей Николаевич, врач-травматолог-ортопед, заведующий травматологическим отделением ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31 имени академика Г.М. Савельевой» Департамента здравоохранения г. Москвы, ул. Лобачевского, д. 42, Москва, 119415, Россия

e-mail: dr.mironov.andrey@gmail.com

Алиев Расул Николаевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГАОУ ВО «РУДН им. Патриса Лумумбы», врач травматолог-ортопед ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31 имени академика Г.М. Савельевой» Департамента здравоохранения г. Москвы, ул. Лобачевского, д. 42, Москва, 119415, Россия

e-mail: rasulmed@yandex.ru; почтовый адрес: 119517, Россия, Москва, Аминьевское шоссе, 4Д корп. 3, кв. 224В.

Автор, ответственный за переписку:

Ширинов Айнуллох Абдурахмонович, аспирант кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия; e-mail: Shirinov_0101@mail.ru; тел.: +7-917-812-58-51; почтовый адрес: 117335, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная 48к4, кв 21.

Information about authors:

Ainullokh A. Shirinov, Postgraduate Student, Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation

e-mail: Shirinov_0101@mail.ru; tel.: +7-917-812-58-51; postal address: 117335, Russia, Moscow, Profsoyuznaya Street 48, Bldg. 4, Apt. 21.

Nikolay V. Zagorodniy, Doctor of Medical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Joint Replacement Clinic, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russia

e-mail: zagorodniy51@mail.ru; tel.: +7-917-549-41-61.

Dmitriy V. Burkov, Candidate of Medical Sciences, Traumatologist-Orthopedist, City Clinical Hospital No. 31 named after Academician G.M. Savelyeva, Moscow Healthcare Department, 42 Lobachevskogo Street, Moscow, 119415, Russia

e-mail: arthrodv@mail.ru

Andrey N. Mironov, Traumatologist-Orthopedist, Head of the Trauma Department, City Clinical Hospital No. 31 named after Academician G.M. Savelyeva, Moscow Healthcare Department, 42 Lobachevskogo Street, Moscow, 119415, Russia

e-mail: dr.mironov.andrey@gmail.com.

Rasul N. Aliev, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Traumatologist-Orthopedist, City Clinical Hospital No. 31 named after Academician G.M. Savelyeva, Moscow Healthcare Department, 42 Lobachevskogo Street, Moscow, 119415, Russian Federation

e-mail: rasulmed@yandex.ru; postal address: 119517, Russia, Moscow, Aminyevskoye Highway, 4D, Bldg. 3, Apt. 224V.

Corresponding author:

Shirinov Ainullokh Abdurahmonovich, Postgraduate Student, Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: Shirinov_0101@mail.ru; tel.: +7-917-812-58-51; postal address: 117335, Russia, Moscow, Profsoyuznaya Street 48, Bldg. 4, Apt. 21.