



НАШ ОПЫТ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНИ ФРАЙБЕРГА – КЁЛЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЛОГРАФТА ИЗ КОЛЛАГЕНОВОЙ МЕМБРАНЫ

А.Б. Шахул Хамид¹, В.А. Мальчевский², Н.И. Карпович¹, А.П. Призов¹,
Д.Г. Агафонов³, В.С. Апресян¹, А.А. Григорян¹

¹Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия

²Тюменский Государственный медицинский университет, ул. Одесская, д. 54, г. Тюмень, 625023, Россия

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физиопульмонологии, Лиговский пр., д. 2-4, г. Санкт-Петербург, 191036, Россия

Резюме. *Введение.* Болезнь Фрайберга – Кёлера представляет собой редкую форму остеохондропатии головки второй плюсневой кости, характеризующуюся аваскулярным некрозом, разрушением суставной поверхности и развитием вторичного артроза. Заболевание преимущественно поражает женщин в подростковом и молодом взрослом возрасте, сопровождаясь выраженным болевым синдромом, ограничением подвижности и деформацией стопы. Однако даже при ранней диагностике консервативное лечение часто оказывается недостаточным для предотвращения прогрессирования патологического процесса, что приводит к необходимости хирургического вмешательства. *Цель работы:* оценить эффективность применения коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold при хирургическом лечении болезни Фрайберга – Кёлера. *Объект и методы.* На основании ретроспективного анализа клинических данных 28 пациентов проведена оценка эффективности методики, включающей укороченную остеотомию и имплантацию коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold с использованием функциональных (AOFAS и VAS) и рентгенологических показателей. Послеоперационное наблюдение проводилось через 3, 6 и 12 месяцев. *Результаты.* Использование коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold приводит к значительному улучшению функциональных параметров стопы, что подтверждается увеличением балла по шкале AOFAS с 46,2 до 89,5 и уменьшением болевого синдрома с 7,6 до 1,5 по шкале VAS. *Заключение.* Применение коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold является перспективным направлением в хирургическом лечении болезни Фрайберга – Кёлера, позволяющим улучшить клинико-функциональные показатели и повысить качество жизни пациентов. Для оценки долгосрочной эффективности необходимы дальнейшие исследования.

Ключевые слова / Keywords [MeSH]: болезнь Фрайберга – Кёлера / freiberg disease [D010007 (Osteochondritis)]; аваскулярный некроз / avascular necrosis [D010020 (Osteonecrosis)]; коллагеновая мембрана / collagen membrane [D024043 (Biocompatible Materials)]; регенерация хрящевой ткани / cartilage regeneration [D012038 (Regeneration)]; хирургическое лечение / surgical treatment [D013514 (Surgical Procedure, Operative)]; остеохондропатия / osteochondropathy [D010007 (Osteochondritis)]; плюсневая кость / metatarsal bone [D008682 (Metatarsal Bones)]; биоматериалы / biomaterials [D024043 (Biocompatible Materials)]; остеотомия / osteotomy [D010027]; регенеративная медицина / regenerative medicine [D044968].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно требовалось.

Благодарности. Авторы благодарят кафедру травматологии и ортопедии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы за предоставленные инструменты.

Для цитирования: Шахул Хамид А.Б., Мальчевский В.А., Карпович Н.И., Призов А.П., Агафонов Д.Г., Апресян В.С., Григорян А.А. Наш опыт хирургического лечения болезни Фрайберга – Кёлера с применением аллогraftа из коллагеновой мембраны. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(6):90-96. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.CLIN.9>



OUR EXPERIENCE WITH SURGICAL TREATMENT OF FREIBERG - KÖHLER DISEASE USING A COLLAGEN MEMBRANE ALLOGRAFT

Abdul B. Shakhul Khamid¹, Vladimir A. Mal'chevskiy², Nikolay I. Karpovich¹, Aleksey P. Prizov¹, Daniil G. Agafonov³, Vladislav S. Apresyan¹, Artsrun A. Grigoryan¹

¹Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Miklukho-Maklaya st., 6, Moscow, 117198, Russia

²Tyumen State Medical University, Odesskaya St., 54, Tyumen, 625023, Russia

³St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Ligovsky Prospekt, 2-4, St. Petersburg, 191036, Russia

Abstract. *Introduction.* Freiberg-Köhler disease is a rare form of osteochondropathy of the second metatarsal head characterized by avascular necrosis, destruction of the articular surface, and secondary osteoarthritis. The disease predominantly affects adolescent and young adult females and is accompanied by severe pain, limited mobility, and foot deformity. Even with early diagnosis, conservative treatment is often insufficient to prevent disease progression, making surgical intervention necessary. *Aim:* To evaluate the effectiveness of the collagen membrane Chondro-Scaffold in the surgical treatment of Freiberg-Köhler disease. *Object and methods.* A retrospective analysis of clinical data from 28 patients was performed to assess the effectiveness of a technique combining shortening osteotomy and implantation of the Chondro-Scaffold collagen membrane using functional (AOFAS and VAS) and radiographic parameters. Postoperative follow-up was carried out at 3, 6, and 12 months. *Results.* The use of the Chondro-Scaffold collagen membrane resulted in a significant improvement in foot function, as demonstrated by an increase in the AOFAS score from 46.2 to 89.5 and a decrease in pain intensity from 7.6 to 1.5 according to the VAS scale. *Conclusion.* The use of the Chondro-Scaffold collagen membrane is a promising approach in the surgical treatment of Freiberg-Köhler disease, leading to improved clinical and functional outcomes and enhanced patient quality of life. Further studies are required to evaluate long-term effectiveness.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was carried out without sponsorship.

Compliance with ethical standards. The authors confirm that the rights of the subjects participating in the study were respected, including obtaining informed consent where required.

Acknowledgments. The authors thank the Department of Traumatology and Orthopedics at the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia for providing the instruments.

Cite as: Shakhul Khamid A.B., Mal'chevskiy V.A., Karpovich N.I., Prizov A.P., Agafonov D.G., Apresyan V.S., Grigoryan A.A. Our experience with surgical treatment of Freiberg - Köhler disease using a collagen membrane allograft. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(6):90-96. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.CLIN.9>

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Фрайберга - Кёлера, впервые описанная в начале XX века, остаётся одной из наиболее сложных патологий стопы [1]. За более чем столетнюю историю изучения болезни Фрайберга - Кёлера были предложены различные теоретические модели патогенеза, начиная с гипотезы о нарушении кровоснабжения и заканчивая современными представлениями о влиянии хронических микротравм и перегрузок на структуру кости. При этом в литературе нет единого мнения о преимуществах того или иного способа хирургического лечения [2]. I.S. Smillie описал следующие стадии развития заболевания: патологический процесс начинается с ишемии области эпифиза, далее происходит разрушение губчатой кости, коллапс и разрушение суставного хряща, на последней стадии развивается артроз сустава [3]. Дополнительные факторы, такие как генетическая предрасположенность и индивидуальные анатомические особенности, также играют значительную роль. Поражение головки второй плюсневой кости, сопровождаемое аваскулярным некрозом, приводит к разрушению суставной поверхности и развитию вторичного артроза [4]. Несмотря на свою редкость, заболевание имеет значительный социальный аспект, так как чаще всего затрагивает молодых людей, особенно женщин, что

существенно влияет на их качество жизни и работоспособность.

Наряду с клиническими проявлениями, болезнь характеризуется сложностью диагностики на ранних стадиях, когда рентгенологические изменения минимальны. Современные методы инструментальной диагностики, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ) и компьютерная томография (КТ), позволяют обнаружить субхондральные изменения задолго до явного разрушения сустава. Использование МРТ позволяет выявить незначительные субхондральные изменения, что открывает возможность для раннего хирургического вмешательства до того, как патологические изменения станут необратимыми [5].

Консервативное лечение, включающее применение НПВС, физиотерапию и коррекцию обуви, применяется на ранних стадиях заболевания. Однако многочисленные исследования показывают, что эти меры лишь временно облегчают симптомы, не способствуя восстановлению разрушенной суставной поверхности. Консервативное лечение может замедлить прогрессирование патологии, но не способно обеспечить полноценную регенерацию ткани, что обуславливает необходимость хирургического вмешательства при переходе заболевания в стадию III [6].

При переходе болезни в более поздние стадии применяются хирургические методики, такие как

остеотомия, декомпрессия и резекционная артропластика [7]. Эти методы позволяют устранить симптомы, однако они нередко сопровождаются длительным реабилитационным периодом и риском осложнений, включая инфекционные процессы и повторное разрушение суставной поверхности. Традиционные хирургические методы не всегда обеспечивают долгосрочную стабильность результата, что стимулирует поиск новых, более щадящих методов лечения [8]. Несмотря на разнообразие хирургических методов, единого мнения о том какой из этих способов приводит к лучшим результатам на сегодняшний день нет [9].

Современная медицина активно внедряет биоматериалы в клиническую практику, особенно в области регенеративной медицины [10]. Коллагеновые мембраны, являющиеся частью естественного внеклеточного матрикса, демонстрируют высокую биосовместимость и способность стимулировать регенерацию тканей. Они активно применяются для лечения остеохондральных дефектов в различных суставах, включая суставы стопы [11]. В исследовании Айрапетов Г.А. (2022) показано, что применение коллагеновых матриц приводит к значительному улучшению структурных и функциональных показателей суставов, что делает их перспективной альтернативой традиционным хирургическим методам [12].

Коллагеновая мембрана Chondro-Scaffold разработана для обеспечения оптимальных условий для регенерации хрящевой ткани [13]. Её микропористая структура способствует не только миграции хондроцитов, но и улучшению обмена веществ, что критически важно для формирования нового гиалиноподобного хряща. Применение Chondro-Scaffold ведёт к ускоренной интеграции материала в ткани сустава и значительно улучшает восстановление функций по сравнению с традиционными методами [14].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ - оценить эффективность применения коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold при хирургическом лечении болезни Фрайберга - Кёлера.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

В рамках данного исследования проведён ретроспективный анализ клинических данных 28 пациентов, которым был поставлен диагноз болезни Фрайберга - Кёлера выше III стадии (по классификации Smillie) [15]. Исследование проводилось в специализированном ортопедическом центре в период с января 2024 года по январь 2025 года. Включение пациентов осуществлялось на основании строгих критериев, что позволило сформировать однород-

ную группу для оценки эффективности применения коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold.

Критерии включения в исследование:

- подтверждённый диагноз болезни Фрайберга - Кёлера выше III стадии;
- возраст от 18 до 50 лет, наличие выраженного болевого синдрома;
- ограничение подвижности в плюснефаланговом суставе (ПФС) и деформация стопы;
- согласие пациента на оперативное вмешательство с использованием коллагеновой мембраны.

Критерии исключения:

- наличие выраженного вторичного остеоартроза;
- сопутствующие патологии (например сахарный диабет, иммунодефицит, тяжёлые системные заболевания), которые могут негативно повлиять на процессы регенерации;
- острые воспалительные процессы в стопе;
- индивидуальная непереносимость компонентов мембраны.

Подготовка и проведение операции

Перед операцией пациенты проходили комплексное обследование, включающее клинический осмотр, рентгенографию и лабораторные анализы. Особое внимание уделялось оценке состояния суставной поверхности, измерению уровней воспаления и выявлению признаков сопутствующих заболеваний. Подготовка включала информирование пациентов о всех этапах операции, рисках и возможных осложнениях, а также получение подписанного информированного согласия.

Хирургическая методика

Операции проводили под спинальной анестезией с соблюдением стерильных условий и обязательной антибактериальной профилактики. Жгут накладывали на нижнюю треть голени. Последовательность оперативного вмешательства включала следующие этапы.

Экспозиция поражённой области. Выполнялся дорсальный разрез в зависимости от локализации очага некроза. Мягкие ткани аккуратно отслаивались для обеспечения полного доступа к головке второй плюсневой кости. Этот этап позволяет подчеркнуть точную локализацию патологического процесса для последующей коррекции.

Иссечение некротизированных тканей. На этом этапе проводится удаление поражённого хряща и костных фрагментов, чтобы создать идеальную поверхность для укорачивающей остеотомии и имплантации мембраны. Полное удаление патологически изменённых тканей критически важно для предотвращения повторного разрушения и создания оптимальных условий для регенерации.

Декомпрессия. Для улучшения микроциркуляции в области поражения была проведена декомпресс-

сия очага некроза. Снижение внутрикостного давления способствует восстановлению кровотока и обеспечивает поступление питательных веществ в область дефекта.

Коррекция биомеханики сустава. При наличии выраженных деформаций или неравномерном распределении нагрузки выполнялась укороченная остеотомия для перераспределения механических сил в стопе. Эта коррекция способствует оптимизации условий для заживления и предотвращению дальнейшей дегенерации суставной поверхности.

Имплантация коллагеновой мембраны. Мембрана Chondro-Scaffold подгонялась под контур образовавшегося дефекта. Фиксация осуществлялась с помощью рассасывающихся швов для обеспечения стабильного позиционирования материала и его интеграции с окружающими тканями. Особое внимание уделялось тому, чтобы мембрана максимально точно прилегала к поверхности кости и была равномерно распределена по всей площади дефекта.

Закрытие раны. Последний этап операции заключался в послойном ушивании мягких тканей. Особое внимание уделялось эстетике раны и предотвращению образования рубцовой ткани, что влияет на процесс реабилитации и общий исход лечения.

Послеоперационное ведение и реабилитация

У всех пациентов, участвующих в исследовании, применяли следующий протокол реабилитации: с первого дня после операции разрешали ходьбу в обуви Барука с нагрузкой на конечность; ходьба в обуви Барука продолжалась в течение 6 недель после операции; швы снимали через 14 дней после оперативного вмешательства; разработку пассивных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с первых суток после операции; разработку активных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с пятых суток после операции (пациентам было рекомендовано выполнять упражнения ежедневно, 2 раза в день, по 15-30 минут, до максимально возможного восстановления объёма активных движений в суставе); через 6 недель после операции пациентам разрешали снять обувь Барука и приступать к ходьбе в обычной обуви с индивидуальными ортопедическими стельками; первую контрольную рентгенограмму стопы после выписки из стационара пациенты выполняли через 6 недель после операции.

Дальнейшее амбулаторное наблюдение, выполнение рентгенограмм стопы, заполнение опросников осуществляли по прошествии 3 месяцев, 6 месяцев и 1 года после оперативного лечения. Пациенты проходили контрольные обследования через 3, 6 и 12 месяцев для оценки стабильности резуль-

тата, интеграции мембраны и предотвращения повторных артритных изменений.

Методы оценки эффективности лечения

Оценка результатов проводилась комплексно с использованием как клинических, так и инструментальных методов.

Клиническая оценка. Болевой синдром измеряли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), а функциональное состояние – по шкале AOFAS. Эти методы позволяют объективно оценить степень улучшения после вмешательства.

Инструментальные исследования. Рентгенографические исследования проводили для оценки состояния костной ткани, выявления изменений в субхондральном слое и контроля стабильности сустава.

Статистическая обработка данных. Все количественные данные анализировались с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics. Для определения статистической значимости применялись критерии t-теста, при этом значения $p < 0,05$ считались значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика пациентов

В исследуемой группе 28 пациентов (22 женщины и 6 мужчин) средний возраст составил $31,8 \pm 6,2$ года.

Дооперационные показатели были следующими:

Средний балл по шкале ВАШ – $7,6 \pm 1,3$ (интервал: 6-9 баллов), что свидетельствовало о выраженной боли.

Средний балл по шкале AOFAS – $46,2 \pm 4,8$, указывающий на значительное нарушение функции стопы.

Клинические результаты после операции

Через 3 месяца после операции наблюдалось значительное снижение болевого синдрома.

Средний балл ВАШ снизился до $3,2 \pm 0,9$, что являлось статистически значимым улучшением ($p < 0,01$).

Через 12 месяцев средний показатель ВАШ составил $1,5 \pm 0,5$, что указывало на практически полное устранение болевых ощущений.

Функциональные показатели также значительно улучшились.

Через 6 месяцев средний балл по шкале AOFAS достиг $82,7 \pm 5,3$, а через 12 месяцев – $89,5 \pm 4,1$ ($p < 0,01$). Эти изменения свидетельствуют о значительном восстановлении подвижности и улучшении качества жизни пациентов.

Инструментальные данные

Рентгенологические исследования до операции выявляли следующие изменения:

- изменение контура головки второй плюсневой кости;

- утолщение субхондрального слоя и признаки аваскулярного некроза.

Через 6 месяцев после вмешательства у 86% пациентов наблюдалась стабилизация структуры сустава без дальнейшего прогрессирования дегенеративных изменений, полная интеграция мембраны Chondro-Scaffold у 78,6% пациентов. У оставшихся пациентов выявлялись незначительные субхондральные изменения, не влияющие на общую функциональность сустава.

Осложнения и побочные эффекты

В ходе исследования отмечались следующие осложнения:

- Частичное отторжение мембраны зарегистрировано у 2 пациентов (7,1%), что потребовало повторного хирургического вмешательства.
- Лёгкое воспаление в области операционного ранения наблюдалось у 1 пациента (3,6%) и было успешно купировано консервативной терапией.
- Незначительный фиброз в зоне имплантации выявлялся у 3 пациентов (10,7%), но не оказывал значительного влияния на функциональные результаты.

Долгосрочные исходы

Через 12 месяцев после операции 85,7% пациентов демонстрировали устойчивое улучшение функциональных показателей.

Пациенты сообщали об отсутствии или минимальной боли, а также о возвращении к нормальной физической активности уже в течение 3–4 месяцев после вмешательства.

Контрольные рентгенологические исследования не выявляли признаков прогрессирования артрозных изменений, что свидетельствует о стабильности достигнутых результатов и эффективности методики.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для лучшего понимания результатов исследования был проведён сравнительный анализ с данными других публикаций. Результаты нашего исследования, продемонстрировавшие увеличение оценки по шкале AOFAS более чем на 40 баллов и значительное уменьшение болевых симптомов, согласуются с исследованиями, где было отмечено, что использование коллагеновых мембран способствовало ускоренному восстановлению функции сустава [16]. Кроме того, анализ данных показал, что пациенты, которые следовали протоколу реабилитации, восстанавливались быстрее, что подчёркивает важность комплексного подхода к лечению.

Сравнительный анализ с традиционными методами хирургического лечения показал, что использование Chondro-Scaffold сопровождается меньшей частотой осложнений и более коротким периодом восстановления [17]. Этот аспект особенно важен

для молодых пациентов, для которых быстрое возвращение к нормальной активности является важным критерием успешности лечения.

Дальнейший анализ клинических и инструментальных данных свидетельствует о том, что применение коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold при хирургическом лечении болезни Фрайберга – Кёлера оказывает положительное влияние на регенерацию суставной поверхности и улучшение функциональных показателей стопы [18]. Наше исследование показало значительное уменьшение болевого синдрома (снижение болевого синдрома по шкале ВАШ с 7,6 до 1,5 баллов) и улучшение функциональных результатов (увеличение оценки по шкале AOFAS с 46,2 до 89,5 баллов) через 12 месяцев после операции. Эти результаты сопоставимы с данными зарубежных исследований, что подтверждает эффективность методики.

Коллагеновая мембрана Chondro-Scaffold функционирует как биоинженерный матрикс, обеспечивая оптимальные условия для миграции хондроцитов и синтеза внеклеточного матрикса. Её микропористая структура улучшает метаболизм и кровоснабжение в области имплантации, что способствует формированию гиалиноподобного хряща [19]. Исследования показывают, что благодаря этим биологическим свойствам мембрана не только способствует структурной регенерации, но и улучшает функциональное состояние сустава, что подтверждается нашими инструментальными [20].

Преимущества методики

Основные преимущества применения Chondro-Scaffold заключаются в следующем:

- Биосовместимость. Мембрана практически не вызывает иммунных реакций, что минимизирует риск осложнений.
- Стимуляция регенерации. Быстрый рост новых хондроцитов и формирование гиалиноподобного хряща приводят к восстановлению целостности суставной поверхности.
- Сокращение периода реабилитации. Пациенты быстрее возвращаются к нормальной физической активности, что особенно важно для молодых и активных людей.
- Минимизация осложнений. Низкий процент послеоперационных осложнений по сравнению с традиционными методами (например резекционной артропластикой).

Ограничения исследования

Несмотря на положительные результаты, следует отметить несколько ограничений:

- Размер выборки: группа из 28 пациентов является сравнительно небольшой, что снижает статистическую мощность исследования. Для подтвер-

ждения результатов необходимы многоцентровые исследования с расширенной выборкой.

- Период наблюдения. Наблюдение проводилось в течение 12 месяцев, что недостаточно для оценки долгосрочной эффективности и стабильности результатов. Исследования с периодом наблюдения не менее 2-3 лет позволят получить более точные данные.

- Гетерогенность пациентов. Различия в тяжести заболевания и сопутствующих факторах могли оказать влияние на индивидуальные исходы лечения, что требует более тщательной стратификации в будущих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold приводит к значительному улучшению функциональных параметров стопы, что подтверждается увеличением балла по шкале AOFAS (с 46,2 до 89,5) и уменьшением болевого синдрома (с 7,6 до 1,5 по ВАШ). Мембрана демонстрирует высокую биосовместимость и стабильную интеграцию с тканями сустава, что подтверждено инструмен-

тальными исследованиями. Применение данной методики позволяет значительно сократить сроки реабилитации и вернуть пациентов к нормальной физической активности в течение 2,5-3 месяцев. Осложнения, связанные с применением Chondro-Scaffold, регистрируются редко и, как правило, носят лёгкий характер, что свидетельствует о безопасности методики. Несмотря на положительные результаты, для окончательной оценки долгосрочной эффективности и оптимизации схем лечения необходимы дополнительные исследования с большей выборкой и более длительным периодом наблюдения.

Таким образом, использование коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold является перспективным направлением в хирургическом лечении болезни Фрайберга - Кёлера, которое позволяет не только улучшить клинико-функциональные показатели, но и повысить качество жизни пациентов. Внедрение данной методики в клиническую практику может стать важным шагом в развитии регенеративной медицины в области ортопедии, особенно в хирургии стопы.

Литература [References]

- 1 Гуди С.М., Лучшев М.Д., Кузнецов В.В. и др. Болезнь Фрайберга-Келера: клиника, диагностика, лечение (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2022;28(3):431-443. Gudi S.M., Luchshev M.D., Kuznetsov V.V., et al. Freiberg-Köhler disease: clinical manifestations, diagnostics, and treatment (literature review). *Genij Ortopedii*. 2022;28(3):431-443. (In Russ.) <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-431-443>
- 2 Oliveira D, Costa L, Vaz C. Freiberg disease: A rare cause of chronic foot Reumatol Clin (Engl Ed). 2023;19(6):348-356.
- 3 Smillie IS. Treatment of Freiberg's infraction. *Proc R Soc Med*. 1967;60(1):29-31. <https://doi.org/10.1177/003591576706000117>
- 4 Freiberg AH. Infraction of second metatarsal bone. *Atypical injury. Surg Gynecol Obstet*. 1914;19:191.
- 5 Schade VL. Surgical management of Freiberg's infraction: a systematic review. *Foot Ankle Spec*. 2015;8(6):498-519.
- 6 Seybold JD, Zide JR. Treatment of Freiberg Disease. *Foot Ankle Clin*. 2018;23(1):157-169. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2017.09.011>
- 7 Trnka HJ, Lara JS. Freiberg's Infraction: Surgical Options. *Foot Ankle Clin*. 2019;24(4):669-676. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.08.004>
- 8 Alhadhoud MA, Alsiri NF, Daniels TR, et al. Surgical interventions of Freiberg's disease: A systematic review. *Foot Ankle Surg*. 2021;27(6):606-614. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.08.005>
- 9 Liu Y, Ma N, Zhao Z. Mid- to Long-Term Clinical Outcomes of Cartilage Restoration of Knee Joint with Allogenic Next-Generation Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation (MACI). *Orthop Surg*. 2023;15(2):549-562.
- 10 Ajis A, Seybold JD, Myerson MS. Osteochondral distal metatarsal allograft reconstruction: a case series and surgical technique. *Foot Ankle Int*. 2013;34:1158-67
- 11 Richter M, Zech S, Meissner SA, et al. Autologous matrix induced chondrogenesis plus peripheral blood concentrate (AMIC+PBC) in chondral defects of the first metatarsophalangeal joint - 5-year follow-up. *Foot Ankle Surg*. 2022;28(8):1366-1371. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2022.07.002>
- 12 Айрапетов Г.А., Воротников А.А. Замещение костно-хрящевых дефектов крупных суставов. *Инновационная медицина Кубани*. 2019;14(2):58-67. Airapetov G.A., Vorotnikov A.A. Replacement of osteochondral defects of large joints. *Innovative Medicine of Kuban*. 2019;14(2):58-67.
- 13 Айрапетов Г.А., Воротников А.А., Васюков В.А. и др. Регенераторные потенциалы плазмы, обогащенной тромбоцитами в лечении очаговых костно-хрящевых дефектов коленного сустава после микрофрактуринга в эксперименте. *Практическая медицина*. 2022;4(20):133-140. Airapetov G.A., Vorotnikov A.A., Vasyukov V.A. et al. Regenerative potentials of platelet-rich plasma in the treatment of focal osteochondral defects of the knee joint after microfracturing in an experiment. *Practical Medicine*. 2022;4(20):133-140.
- 14 Нурмухаметов М.Р., Макаров М.А., Бялик Е.И. и др. Использование хондропластики I плюснефалангового сустава по технике аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза для лечения пациентов с hallux rigidus: ближайшие результаты. *Научно-практическая ревматология*. 2020;58(1):97-101. Nurmukhametov M.R., Makarov M.A., Byalik E.I., et al. Use of chondroplasty of the first metatarsophalangeal joint using the technique of autologous matrix-induced chondrogenesis for the treatment of patients with hallux rigidus: immediate results. *Scientific and practical rheumatology*. 2020;58(1):97-101.
- 15 Okutan AE, Ayas MS, Öner K, et al. Metatarsal Head Restoration With Tendon Autograft in Freiberg's Disease: A Case Report. *J Foot Ankle Surg*. 2020;59(5):1109-1112. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.06.010>
- 16 Васюков В.А., Воротников А.А., Айрапетов Г.А., Чекрыгин С.Ю. Эффективность микрофрактурирования с введением плазмы, обогащенной тромбоцитами при лечении остеохондральных дефектов в эксперименте. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2022;3(21):18-26. Vasyukov V.A., Vorotnikov A.A., Airapetov G.A., Chekrygin S.Yu. Efficiency of microfracturing with the introduction of platelet-rich plasma in the treatment of osteochondral defects in an experiment. *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2022;3(21):18-26.

- 17 Peras M, Peras M, Bilichtin E, et al. Results of the AMIC® method in patients operated on for an osteochondral lesion of the talar dome (OLTD) at a mean follow-up of 34 months. A retrospective multicenter study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2024;14:104-120.
- 18 Kim SJ, Park JH, Kim GL. Comparison of osteochondral autologous transplantation and dorsiflexion closing wedge metatarsal osteotomy for late stage Freiberg disease in adults. *Foot Ankle Int.* 2020;41(5):529-535.
- 19 Abdul W, Hickey B, Perera A. Functional outcomes of local pedicle graft interpositional arthroplasty in adults with severe Freiberg disease. *Foot Ankle Int.* 2018;39(11):1290-300.
- 20 Ikoma K, Maki M, Kido M, et al. Extra-articular dorsal closing-wedge osteotomy to treat late-stage Freiberg disease using polyblend sutures: technical tips and clinical results. *Int Orthop.* 2014;38(7):1401-5. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2381-3>

Авторская справка**Шахул Хамид Абдул Баситх**

Врач травматолог ортопед, Ставропольский краевой клинический многопрофильный центр г. Ставрополя; соискатель кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0001-9948-2596; dr.basitkh@gmail.com

Вклад автора: проведении экспериментов, статистический анализ, визуализация данных, написание текста статьи.

Мальчевский Владимир Алексеевич

Д-р мед. наук, профессор РАН, профессор кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф, Тюменский государственный медицинский университет.

ORCID 0000-0002-1308-2899; malchevski@mail.ru

Вклад автора: разработка концепции исследования, постановка задач исследования, работа с источниками, анализ и обобщение полученных результатов.

Карпович Николай Иванович

Канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0002-5656-1005; karpovich_ni@pfur.ru

Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка текста работы.

Призов Алексей Петрович

Д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0003-3092-9753; aprizov@yandex.ru

Вклад автора: финальное редактирование текста статьи.

Агафонов Даниил Германович

Врач травматолог-ортопед, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии.

ORCID 0009-0002-5957-1548; ortho_spot@bk.ru

Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка текста работы.

Апресян Владислав Сергеевич

Аспирант кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0003-3477-172X; apresyanvlad@mail.ru

Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка текста работы.

Григорян Арцрун Андраникович

Аспирант кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

ORCID 0000-0003-0677-2960; Artsrun3204@mail.ru

Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка текста работы.

Author's reference**Abdul B. Shahul Hameed**

Traumatologist and orthopedist, Stavropol Regional Clinical Multidisciplinary Center; postgraduate student in the Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0001-9948-2596; dr.basitkh@gmail.com

Author contribution: conducting experiments, statistical analysis, data visualization, writing the article.

Vladimir A. Mal'chevskiy

Dr. Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Mobilization Preparation of Healthcare and Disaster Medicine, Tyumen State Medical University.

ORCID 0000-0002-1308-2899; malchevski@mail.ru

Author's contributions: development of the study concept, formulation of the study objectives, review of sources, analysis and synthesis of the obtained results.

Nikolay I. Karpovich

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0002-5656-1005; karpovich_ni@pfur.ru

Author's contributions: review of sources, analysis and synthesis of the obtained results, preparation of the manuscript.

Aleksey P. Prizov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0003-3092-9753; aprizov@yandex.ru

Author contribution: final editing of the article text.

Daniil G. Agafonov

Traumatologist-orthopedist, Junior Researcher, St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology.

ORCID 0009-0002-5957-1548; ortho_spot@bk.ru

Author's contributions: review of sources, analysis and synthesis of the obtained results, preparation of the manuscript.

Vladislav S. Apresyan

Postgraduate Student, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0003-3477-172X; apresyanvlad@mail.ru

Author's contributions: review of sources, analysis and synthesis of the obtained results, preparation of the manuscript.

Artsrun A. Grigoryan

Postgraduate Student, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia

ORCID 0000-0003-0677-2960; Artsrun3204@mail.ru

Author's contributions: review of sources, analysis and synthesis of the obtained results, preparation of the manuscript.