

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ФРАЙБЕРГА – КЕЛЕРА: ОСТЕОХОНДРОПЛАСТИКА ИЛИ ОСТЕОТОМИЯ?

Лучшев М.Д., Гуди С.М., Скуратова Л.К., Крикунова В.В., Пахомов И.А.

*ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Я.Л. Цивьяна» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск,
e-mail: mat.luchshev@gmail.com*

Подходы к хирургическому лечению пациентов с болезнью Фрайберга – Келера многогранны. Основными требованиями к проводимому хирургическому лечению служат: полноценное восстановление функции переднего отдела стопы, благоприятный косметический результат, минимизация сроков нетрудоспособности. «Золотым стандартом» лечения считается корригирующая остеотомия Gauthier, применение которой сопряжено с рядом неблагоприятных явлений. Таким образом, при лечении пациентов с болезнью Фрайберга – Келера необходим выбор способа хирургического лечения, позволяющего достичь оптимальных результатов. Цель исследования – провести сравнительный анализ оригинального метода остеохондропластики головки плюсневой кости с корригирующей остеотомией головки плюсневой кости по Gauthier при лечении пациентов с болезнью Фрайберга – Келера. Работа выполнена как рандомизированное проспективное исследование. Пациенты, в количестве 41 чел., методом простой рандомизации были разделены на две группы в соответствии с методом хирургического лечения. Период наблюдения составил 12 месяцев. Проводили оценку клинических, рентгенологических и функциональных результатов лечения пациентов. Проведен анализ динамики клинических, рентгенологических и функциональных результатов лечения пациентов обеих групп. При сравнительном анализе отметили, что в группе исследования на 32 % больше благоприятных исходов лечения ($p < 0,05$) и на 10 % меньше количество осложнений. Применение метода корригирующей остеотомии головки плюсневой кости сопряжено с риском неблагоприятных исходов при лечении пациентов с болезнью Фрайберга – Келера. В то же время метод остеохондропластики головки плюсневой кости трансплантатом из ненагружаемой зоны мыщелка бедренной кости может приводить к послеоперационным проблемам донорского участка. Предлагаемый авторами метод свободен от недостатков существующих методов и сочетает в себе достаточную коррекцию деформации с благоприятными клиническими результатами. Разработанный в клинике оригинальный метод остеохондропластики головки плюсневой кости позволяет достичь хороших результатов лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера, а также снизить риск осложнений и неблагоприятных исходов.

Ключевые слова: болезнь Фрайберга, болезнь Келера II, аваскулярный некроз головки плюсневой кости, остеотомия головки плюсневой кости, остеохондропластика

SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH FREIBERG-KOHLER DISEASE: OSTEOCHONDROPLASTY OR OSTEOTOMY?

Luchshev M.D., Gudi S.M., Skuratova L.K., Krikunova V.V., Pakhomov I.A.

*Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics named after Ya.L. Tsivyan,
Novosibirsk, e-mail: mat.luchshev@gmail.com*

Approaches to surgical treatment of patients with Freiberg-Kohler disease are multifaceted. The main requirements for surgical treatment are: full restoration of the function of the forefoot, favorable cosmetic result, minimization of the period of disability. The "gold standard" of treatment is Gauthier – osteotomy, the use of which is associated with a number of adverse events. Thus, when treating patients with Freiberg-Kohler disease, it is necessary to choose a surgical treatment method that allows achieving optimal results. Objective: to conduct a comparative analysis of the proposed original method of osteochondroplasty of the metatarsal head with Gauthier corrective osteotomy of the metatarsal head in the treatment of patients with Freiberg-Kohler disease. The research work was performed as a randomized prospective study. Patients, 41 in number, were divided into 2 groups by simple randomization in accordance with the method of surgical treatment. The observation period was 12 months. The clinical, radiographic and functional results of the patients' treatment were assessed. The dynamics of the clinical, radiographic and functional results of the treatment of patients in both groups were analyzed. A comparative analysis of the treatment outcomes showed that the study group had 32 % more favorable treatment outcomes ($p < 0.05$) and 10 % fewer complications. The use of the method of corrective osteotomy of the metatarsal head is associated with the risk of unfavorable outcomes in the treatment of patients with Freiberg-

Kohler disease. At the same time, the method of osteochondroplasty of the metatarsal head with a graft from the non-load-bearing zone of the femoral condyle can lead to postoperative problems at the donor site. The method proposed by the authors is free from the disadvantages of existing methods and combines sufficient correction of the deformity with favorable clinical results. The original method of osteochondroplasty of the metatarsal head developed in the clinic allows achieving good results in the treatment of patients with Freiberg-Kohler disease, as well as reducing the risk of complications and adverse outcomes.

Keywords: Freiberg disease, Kohler disease II, avascular necrosis of the metatarsal head, osteotomy of the metatarsal head, osteochondroplasty.

Введение

Болезнь Фрайберга – Келера представляет собой аваскулярный некроз головки II–V (малых) плюсневых костей [1].

Актуальность проблемы хирургического лечения пациентов, страдающих болезнью Фрайберга – Келера, не вызывает сомнений. Первые упоминания заболевания в литературе датированы 1914 г., когда американский ортопед А. Freiberg опубликовал наблюдение за пациентами с патологией 2-й плюсневой кости [2, 3]. Более чем за вековую историю наблюдений и лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера исследователями было предложено большое количество методов хирургического лечения пациентов с данной патологией [4–6]. Однако не достигнут какой-либо консенсус в отношении выбора метода хирургического лечения пациентов [7], а также, несмотря на все их многообразие, систематический обзор, проведенный в 2020 г. М. Alhadhoud, показал отсутствие исследований, обладающих высоким уровнем доказательности [8].

Наиболее остро стоит вопрос о лечении пациентов с поздними стадиями болезни Фрайберга – Келера, когда в пораженном плюснефаланговом суставе сформированы необратимые дегенеративные изменения [9]. Хронический болевой синдром в области переднего отдела стопы, ограничение социальной и бытовой активности негативно сказываются на психоэмоциональном фоне пациентов [10]. Принимая во внимание, что с большей частотой от заболевания страдают молодые женщины трудоспособного возраста, проблема лечения таких пациентов имеет социальную и экономическую значимость. Восстановление функции пораженного плюснефалангового сустава, устранение деформации пальца, достижение положительного косметического эффекта и сокращение сроков нетрудоспособности – главные требования к лечению пациентов, страдающих болезнью Фрайберга – Келера.

В арсенале хирургов-ортопедов имеется большое количество методов хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера. Однако, основываясь на собственном опыте и анализе данных литературы, наиболее распространенными и в наибольшей степени отвечающими требованиям к проводимому лечению являются два основных метода – метод корригирующей остеотомии головки плюсневой кости и метод остеохондропластики головки плюсневой кости [1111].

Цель исследования – провести сравнительный анализ предложенного оригинального метода остеохондропластики головки плюсневой кости с корригирующей остеотомией головки плюсневой кости по Gauthier при лечении пациентов с болезнью Фрайберга – Келера.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужил анализ амбулаторных карт, историй болезни, а также клиническое наблюдение за 41 пациентом отделения патологии стопы и голеностопного сустава ФГБУ «ННИИТО им Я.Л. Цивьяна» в период с 2020 по 2023 г. Работа выполнена как рандомизированное проспективное сравнительное исследование двух методов хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера. Из наблюдаемых пациентов мужчин было 3 (7,31 %), женщин 38 (92,69 %). В соответствии с дизайном исследования все пациенты были разделены на две группы методом простой рандомизации. В группу исследования были включены 25 (61 %) пациентов (2 (8 %) мужчины и 23 (92 %) женщины, средний возраст составил $36,0 \pm 11,3$ лет), в группу сравнения было отобрано 16 (39 %) пациентов (1 (6,25 %) мужчина и 15 (93,75 %) женщин, средний возраст составил $39,5 \pm 13,6$ лет). При этом преимущественно отмечалось поражение головки 2-й плюсневой кости (35 пациентов (85,36 %)), поражение головки 3-й плюсневой кости встретилось у 6 пациентов (14,64 %). Также отмечено существенное превалирование правой стороны поражения – 32 пациента (78,0 %), левая стопа была поражена у 9 пациентов (22,0 %).

Многokrатно доказано, что наличие деформации первого луча (в частности, *hallux valgus*) неминуемо влечет за собой изменение биомеханики в переднем отделе стопы. Таким образом, с целью восстановления анатомии метатарзальной области и создания предпосылок для правильного распределения нагрузки в ней, первым этапом хирургической сессии у 14 пациентов (34,14 %) проводили коррекцию *hallux valgus*, из них 9 пациентов (64,28 %) были из группы сравнения и 5 пациентов (35,72 %) – из группы исследования. Однако основные различия в результатах лечения пациентов обеих групп оценивали именно по коррекции деформации малых лучей стопы, а именно: пациентам группы исследования проводили оригинальный метод остеохондропластики головки пораженной плюсневой кости, пациентам группы сравнения проводили корригирующую остеотомию головки пораженной плюсневой кости по типу «закрытый клин». Оригинальный метод остеохондропластики в лечении пациентов с болезнью Фрайберга – Келера разработан и внедрен в клиническую практику ФГБУ «ННИИТО им Я.Л. Цивьяна» коллективом авторов, а также защищен патентом РФ [12–14]. Суть метода заключается в том, что проводится дебридмент пораженного плюснефалангового сустава, радикальная некрэктомия головки плюсневой кости с одновременным формированием ложа для аутотрансплантата. В качестве донорского участка используется преахиллярная область пяточного бугра ипсилатеральной стопы. Осцилляторной пилой производится взятие

трансплантата, далее при помощи кусачек трансплантат моделируется под размер дефекта головки плюсневой кости. Подготовленный аутооттрансплантат имплантируется в подготовленное ложе методом пресс-фит, производится его внутренняя фиксация конструкциями. В свою очередь, пациентам группы сравнения проводили «классическую» остеотомию головки плюсневой кости, представленную G. Gauthier и R. Elbaz в 1979 г. [15].

Оценку результатов хирургического лечения пациентов проводили через 12 месяцев. Проводили оценку динамики клинических, рентгенологических и функциональных показателей у пациентов обеих групп, а также сравнительную оценку результатов и исходов лечения. Сравнительную оценку результатов лечения выполняли при помощи стандартных программ для статистической обработки данных Microsoft Office Excel 2010 и пакета прикладных программ «Statistica». Были использованы t-критерий Стьюдента и критерий Манна – Уитни. Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа клинических результатов лечения пациентов до и через 12 месяцев после операции определили следующие показатели: объем активных движений в пораженном плюснефаланговом суставе, объем активных движений в пораженном плюснефаланговом суставе, тест «бумажной полоски» на оценку адаптации пальца к поверхности опоры. Анализ динамики клинических показателей у пациентов группы сравнения показал, что объем активных движений в плюснефаланговом суставе увеличился с $7,27 \pm 2,83$ до $10,82 \pm 3,43$ ($p < 0,001$), объем пассивных движений увеличился с $12,62 \pm 3,72$ до $16,56 \pm 4,41$ ($p < 0,001$), 5 пациентам удалось восстановить адаптацию пальца к поверхности опоры, положительный тест «бумажной полоски» уменьшился с 13 (81,3 %) пациентов до 8 (50 %) пациентов ($p = 0,132$). Оценка динамики клинических показателей у пациентов группы исследования продемонстрировала статистически значимое увеличение объема активных движений в плюснефаланговом суставе с $7,87 \pm 3,21$ до $11,06 \pm 3,94$ ($p < 0,001$), увеличение объема пассивных движений с $13,12 \pm 5,16$ до $17,04 \pm 5,27$ ($p < 0,001$), а также статистически значимое уменьшение положительного теста «бумажной полоски» с 21 (84 %) пациента до 5 (20 %) пациентов ($p < 0,001$).

Оценка рентгенологических показателей включала в себе измерение высоты и ширины головки плюсневой кости, а также оценку наличия подвывиха пальца в пораженном плюснефаланговом суставе до и через 12 месяцев после операции. Анализ рентгенологических изменений у пациентов группы сравнения показал увеличение высоты головки плюсневой кости с $16,34 \pm 3$ до $17,57 \pm 3,08$ ($p < 0,001$), уменьшение ширины головки плюсневой кости с $15,02 \pm 1,37$ до $10,86 \pm 0,6$ ($p < 0,001$) и уменьшение количества подвывиха пальца в

плюснефаланговом суставе с 8 (50 %) пациентов до 4 (25 %) пациентов ($p = 0,057$). Динамика рентгенологических изменений у пациентов группы исследования так же показала статистически значимое увеличение высоты головки плюсневой кости с $17,56 \pm 1,99$ до $19,36 \pm 2,16$ ($p < 0,001$), уменьшение ширины головки плюсневой кости с $14,8 \pm 1,45$ до $10,77 \pm 0,73$ ($p < 0,001$) и уменьшение количества подвывиха пальца в плюснефаланговом суставе с 17 (68 % пациентов) до 1 (4 %) пациента ($p < 0,001$).

Оценку функциональных результатов исследования проводили согласно существующим опросникам и шкалам. Для оценки уровня болевого синдрома использовали шкалу VAS (Visual Analogue Scale), оценку функции переднего отдела стопы проводили согласно опроснику AOFAS (American Orthopaedic Foot and Ankle Society scale), оценку качества жизни проводили по опроснику MOXFQ (Manchester – Oxford Foot Questionnaire) [1616]. Анализ функциональных показателей у пациентов группы сравнения показал статистически значимое улучшение по всем критериям, где показатели VAS уменьшились с $59,38 \pm 11,38$ до $34,38 \pm 13,02$ ($p < 0,001$), показатели опросника AOFAS увеличились с $65,38 \pm 10,33$ до $75,5 \pm 12,7$ ($p = 0,003$), показатели опросника MOXFQ уменьшились с $51,0 \pm 7,75$ до $42,56 \pm 8,01$ ($p = 0,001$). Аналогичная тенденция прослеживается и у пациентов группы исследования через 12 месяцев после операции, где уровень болевого синдрома согласно шкале VAS уменьшился с $60,4 \pm 13,38$ до $30,4 \pm 10,1$ ($p < 0,001$), показатели функции переднего отдела стопы по опроснику AOFAS увеличились с $59,84 \pm 12,59$ до $76,64 \pm 9,31$ ($p < 0,001$), показатели опросника MOXFQ уменьшились с $51,32 \pm 9,59$ до $42,64 \pm 7,57$ ($p < 0,001$).

За период наблюдения в 12 месяцев у пациентов обеих групп отметили ряд осложнений хирургического вмешательства. В группе исследования у 1 (4 %) пациента в раннем послеоперационном периоде развилась инфекция области хирургического вмешательства, что потребовало санационных перевязок в течение 3 недель и проведения антибиотикотерапии, также у 1 (4 %) пациента была отмечена миграция фиксирующей металлоконструкции с ее плановым удалением. Среди пациентов группы сравнения отметили следующие осложнения: 1 (6 %) пациент предъявлял жалобы на остаточный болевой синдром, при дообследовании был констатирован протекция аваскулярного некроза головки плюсневой кости с частичным лизисом дистального фрагмента остеотомии; у 1 (6 %) пациента при клиническом и рентгенологическом обследовании отметили латеральную девиацию пальца в плюснефаланговом суставе, однако пациента деформация не беспокоила; у 1 (6 %) пациента в раннем послеоперационном периоде развилась инфекция области хирургического вмешательства, явления которой купированы консервативными методами.

Проводили сравнительную оценку результатов хирургического лечения пациентов обеих групп (табл. 1). Результаты клинического, рентгенологического и функционального

методов обследования были сгруппированы и интерпретированы в исходы хирургического лечения (табл. 2).

Таблица 1

Сравнительная оценка результатов хирургического лечения
пациентов обеих групп

Параметры	Группа исследования (n = 25)	Группа сравнения (n = 16)	Статистическая значимость (p)
Клинический метод обследования			
Объем активных движений, гр. СРЕД±СО	11,06 ± 3,94	10,82 ± 3,43	0,778
Объем пассивных движений, гр. СРЕД±СО	17,04 ± 5,27	16,56 ± 4,41	0,758
Положительный тест бумажной полоски, n (%)	5 (20 %)	8 (50 %)	0,084
Рентгенологический метод исследования			
Высота головки, мм СРЕД±СО	19,36 ± 2,16	17,57 ± 3,08	0,020
Ширина головки, мм СРЕД±СО	10,77 ± 0,73	10,86 ± 0,6	0,748
Подвывих пальца в боковой проекции, n (%)	1 (4 %)	4 (25 %)	0,022
Функциональный метод исследования			
VAS, баллы СРЕД±СО	30,4 ± 10,1	34,38 ± 13,02	0,326
AOFAS, баллы СРЕД±СО	76,64 ± 9,31	75,5 ± 12,7	0,904
MOXFQ, баллы СРЕД±СО	42,64 ± 7,57	42,86 ± 8,01	0,936

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Сравнительный анализ исходов хирургического лечения
пациентов обеих групп

Исход лечения	Группа исследования (n = 25)	Группа сравнения (n = 16)	Статистическая значимость (p)
Хороший, n (%)	22 (88 %)	9 (56 %)	0,03
Удовлетворительный, n (%)	3 (12 %)	6 (38 %)	0,035
Неудовлетворительный, n (%)	—	1 (6 %)	0,421

Источник: составлено авторами.

Таким образом, сравнительный анализ результатов и исходов лечения пациентов обеих групп по всем исследуемым параметрам демонстрирует лучшие результаты хирургического

лечения, а также статистически значимое превалирование хороших исходов лечения у пациентов группы исследования.

В современной литературе патологию рассматривают как заболевание группы остеохондропатий, при этом сообщается, что болезнь Фрайберга – Келера занимает 4-е место по распространенности среди всех заболеваний этой группы [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Утверждается, что в соотношении 5:1 заболеванием чаще страдают женщины [1, 17]. Кроме того, особенностью данной патологии является то, что заболевание манифестирует в подростковом возрасте, в то время как каскад дегенеративных процессов приводит к развернутой клинической картине в уже более зрелом возрасте [17**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Пациенты, страдающие болезнью Фрайберга – Келера, предъявляют жалобы на хронический болевой синдром в области переднего отдела стопы, трудности в подборе обуви, ограничения бытовой, спортивной и социальной активности [10, 19, 20].

Принципиально важным аспектом лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера является полноценное восстановление функции поврежденной стопы, купирование болевого синдрома, устранение деформации пальца стопы. В профессиональной травматолого-ортопедической литературе представлено огромное количество методов хирургического лечения пациентов, страдающих болезнью Фрайберга – Келера [8, 11, 21]. В свою очередь, наиболее распространенным из них считается дорзальная остеотомия головки плюсневой кости по типу «закрытый клин», предложенная французским ортопедом Gauthier в 1979 г. [15, 22, 23]. Однако считающийся «золотым стандартом» метод хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера не лишен недостатков, среди которых можно отметить: нерадикальность удаления очага некроза в головке плюсневой кости при большом его размере, неминуемое укорочение плюсневой кости вследствие резекции костной ткани, что создает условия для трансферной метатарзалгии, а также наличие остаточного подвывиха пальца в плюснефаланговом суставе [24]. По мнению авторов, созвучному с данными современной профессиональной литературы, оптимальным методом хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера является метод остеохондропластики головки плюсневой кости [6, 11]. Отличительной особенностью упомянутого способа хирургического лечения является возможность радикального удаления некротического очага, сохранение/восстановление длины плюсневой кости и восстановление анатомических взаимоотношений в плюснефаланговом суставе. Дискутабельным остается вопрос относительно локализации донорского участка [8, 21, 25]. Наиболее часто, согласно данным литературы, взятие трансплантата производят из ненагружаемой зоны мышечка бедренной кости [26–28]. Однако вмешательство в интактный коленный сустав сопряжено с возникновением послеоперационного синовита и формированием синдрома «болезненного

донорского места». Кроме того, артроскопическая техника забора трансплантата из мышелка бедренной кости обуславливает удорожание стоимости лечения пациента и требует навыков владения артроскопическим инструментарием у оперирующего хирурга, в то время как артротомия коленного сустава с целью взятия трансплантата многократно повышает уровень хирургической агрессии и не может быть целесообразна.

В доступной литературе представлены два исследования, посвященных сравнительному анализу результатов лечения пациентов, страдающих болезнью Фрайберга – Келера, методом остеохондропластики головки плюсневой кости и методом корригирующей остеотомии головки плюсневой кости. Так, в 2019 г. D. Georgiannos с соавт. представили результаты наблюдения за пациентами, получавшими хирургическое лечение по поводу болезни Фрайберга – Келера [25]. Сообщается, что в качестве донорского участка для взятия трансплантата авторы использовали шейку ипсилатеральной таранной кости. В свою очередь, в 2020 г. S. Kim с коллегами представили отчет о сравнительном анализе результатов хирургического лечения пациентов упомянутыми методами, где в качестве донорского участка для взятия остеохондрального трансплантата послужил мышелок ипсилатеральной бедренной кости [26**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Оба коллектива авторов приходят к выводу, что метод остеохондропластики показывает хорошие результаты лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера. Однако в исследовании S. Kim авторы сообщают об одном пациенте, который предъявлял жалобы на синдром «болезненного донорского места».

Учитывая упомянутые недостатки корригирующей остеотомии головки плюсневой кости по Gauthier и остеохондропластики с использованием классической методики взятия трансплантата, коллективом авторов был разработан и внедрен в практику оригинальный способ хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера, представляющий собой остеохондропластику головки плюсневой кости аутооттрансплантатом их преахиллярной зоны пяточного бугра [12–14].

Полученные результаты хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера соотносятся с данными современной профессиональной литературы. Применение обоих методов хирургического лечения сопряжено с улучшением функциональных результатов лечения [23, 26, 29]. Однако метод остеохондропластики в полной мере позволяет устранять все компоненты деформации, тогда как метод корригирующей остеотомии сопряжен с риском неблагоприятных исходов. Так, у пациентов группы сравнения отмечены клинические, рентгенологические и функциональные нарушения, связанные с проведенным хирургическим лечением методом корригирующей остеотомии. В частности, на контрольном осмотре не удалось восстановить адаптацию пальца к поверхности опоры (5 пациентов),

наблюдалась латеральная девиация пальца (1 пациент), на рентгенограмме в боковой проекции отмечался остаточный подвывих пальца (4 пациента). Можно утверждать, что данные нежелательные явления связаны с укорочением плюсневой кости при проведении остеотомии, тогда как метод остеохондропластики головки плюсневой кости позволяет восстановить утраченную высоту плюсневой кости и предупредить упомянутые явления. У одного пациента группы сравнения на контрольном осмотре была выявлена прогрессия заболевания с аваскулярным некрозом дистального фрагмента остеотомии. При анализе литературных данных было отмечено, что из-за особенностей кровоснабжения головки плюсневой кости есть риск повреждения подошвенных сосудов, питающих головку плюсневой кости, при проведении опилов остеотомии [30, 31]. В свою очередь, применение метода остеохондропластики позволяет сохранить питающие сосуды головки плюсневой кости интактными.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что предложенный в клинике метод хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга – Келера, основанный на остеохондропластике головки плюсневой кости аутотрансплантатом из преахиллярной зоны пяточной кости, обладает преимуществом над методом корригирующей остеотомии головки плюсневой кости по Gauthier и свободен от недостатков последнего. Применение оригинального метода позволяет улучшить клинические, рентгенологические и функциональные результаты лечения пациентов, восстановить анатомические взаимоотношения в области переднего отдела стопы, а также снизить количество остаточных деформаций.

Список литературы

1. Carter K.R., Chambers A.R., Dreyer M.A. Freiberg Infraction. 2023 Nov 22. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan. PMID: 30725993. Электронный ресурс. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30725993/> (дата обращения: 14.03.2025).
2. Freiberg A.H. Infraction of the second metatarsal bone – a typical injury // Trans South SurgGynecol Assoc. 1914. Vol. 26. P. 171. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4gjWDPL7/> (дата обращения: 14.03.2025).
3. Okutan A.E., Ayas M.S., Öner K., Turhan A.U. Metatarsal Head Restoration with Tendon Autograft in Freiberg's Disease: A Case Report // The Journal of Foot and Ankle Surgery. 2020. Vol. 59, Is. 5. P. 1109–1112. DOI: 10.1053/j.jfas.2019.06.010.

4. Cerrato R.A. Freiberg's disease // *Foot and ankle clinics*. 2011. Vol. 16, Is. 4. P. 647–658. DOI: 10.1016/j.fcl.2011.08.008.
5. Carmont M.R., Rees R.J., Blundell C.M. Current concepts review: Freiberg's disease // *Foot & ankle international*. 2009. Vol. 30, Is. 2. P. 167–176. DOI: 10.3113/FAI-2009-0167.
6. Trnka H.J., Lara J.S. Freiberg's Infraction: Surgical Options // *Foot and ankle clinics*. 2019. Vol. 24, Is. 4. P. 669–676. DOI: 10.1016/j.fcl.2019.08.004.
7. Çevik N., Akalın Y., Avcı Ö., Çınar A., Öztürk A., Özkan Y. Interpositional Arthroplasty with Extensor Digitorum Brevis Tendon in Freiberg Disease // *Foot & ankle international*. 2020. Vol. 41, Is. 11. P. 1398–1403. DOI: 10.1177/1071100720938769.
8. Alhadhoud M.A., Alsiri N.F., Daniels T.R., Glazebrook M.A. Surgical interventions of Freiberg's disease: A systematic review // *Foot and Ankle Surgery*. 2021. Vol. 27, Is. 6. P. 606–614. DOI: 10.1016/j.fas.2020.08.005.
9. Yoshimura I., Takao M., Wagner E., Stufkens S., Dahmen J., Kerkhoffs G.M.M.J., Glazebrook M. // Evidence-Based Treatment Algorithm for Freiberg Disease. *Cartilage*. 2024. Vol. 15, Is. 1. P. 58–64. DOI: 10.1177/19476035231205676.
10. Wax A., Leland R. Freiberg Disease and Avascular Necrosis of the Metatarsal Heads // *Foot and ankle clinics*. 2019. Vol. 24, Is. 1. P. 69–82. DOI: 10.1016/j.fcl.2018.11.003.
11. Гуди С., Лучшев М., Кузнецов В., Скуратова Л., Прокаев Ф., Пахомов И. Болезнь Фрайберга – Келера: клиника, диагностика, лечение (обзор литературы) // *Гений ортопедии*. 2022. № 28 (3). С. 431–443. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-431-443.
12. Кузнецов В.В., Пахомов И.А., Корочкин С.Б., Репин А.В., Гуди С.М. Способ забора остеохондрального аутотрансплантата из преахиллярной области пяточной кости // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 5.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27105> (дата обращения: 14.03.2025).
13. Кузнецов В.В., Пахомов И.А., Гуди С.М. Способ восстановления головки плюсневой кости стопы при болезни Келлера II – Фрайберга / Патент РФ № 2712005. Патентообладатель ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России. 2020. МПК А61В 17/56; заявлено 11.02.2019; опубликовано 23.01.2020.
14. Пахомов И.А., Кузнецов В.В., Садовой М.А. Способ забора остеохондрального аутотрансплантата / Патент РФ № 2562706. Патентообладатель ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России. 2015. МПК А61В 17/56 (2006.01); заявлено 17.10.2014; опубликовано 09.10.2015.
15. Gauthier G., Elbaz R. Freiberg's infraction: a subchondral bone fatigue fracture. A new surgical treatment // *Clinical orthopaedics and related research*. 1979. Vol. 142. P. 93–95.; URL:

https://journals.lww.com/clinorthop/citation/1979/07000/freiberg_s_infraction__a_subchondral_bone_fatigue.15.aspx journals.lww.com (дата обращения: 14.03.2025).

16. Мо Ц., Ригин Н.В., Бобров Д.С., Слиняков Л.Ю. Анкеты и шкалы для оценки состояния стопы и голеностопного сустава // Кафедра травматологии и ортопедии. 2016. № 4 (230). С. 5–11.; URL: https://jkto.ru/wp-content/uploads/2023/07/2016_4_1_____.pdf (дата обращения: 14.03.2025).
17. Цыганова Ю.В., Башкова И.Б., Козлов Д.О. Редкие заболевания детского возраста во взрослой практике // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 11–5. С. 124–128.
18. El-Amin H., Awad Ali A.M., Elmansour O.K.O., Abbas R., Mohamed E., Biraima W.H., Ahmed O.K., Mohamedali A.O., Arja A., Ahmed Babikir A.O. Freiberg's Disease Involving First Metatarsal Bone Bilaterally in an African Male Patient: A Case Report // Cureus. 2023. Vol. 15, Is. 11. P. e49093. DOI: 10.7759/cureus.49093.
19. Longworth R., Short L., Horwood A. Conservative treatment of Freiberg's infraction using foot orthoses: A tale of two prescriptions presented as a case study to open debate // Foot (Edinburgh, Scotland). 2019. Vol. 41. P. 59–62. DOI: 10.1016/j.foot.2019.07.002.
20. Oliveira D., Costa L., Vaz C. Freiberg disease: A rare cause of chronic foot pain // Reumatologia clinica. 2023. Vol. 19, Is. 6. P. 348. DOI: 10.1016/j.reumae.2022.11.006.
21. Schade V.L. Surgical Management of Freiberg's Infraction: A Systematic Review // Foot & ankle specialist. 2015. Vol. 8, Is. 6. P. 498–519. DOI: 10.1177/1938640015585966.
22. Helix-Giordanino M., Randier E., Frey S., Piclet B. French association of foot surgery (AFCP). Treatment of Freiberg's disease by Gauthier's dorsal cuneiform osteotomy: Retrospective study of 30 cases // Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR. 2015. Vol. 101, Is. 6. P. 221–S225. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.07.010.
23. Pereira B.S., Frada T., Freitas D., Varanda P., Vieira-Silva M., Oliva X.M., Duarte R.M. Long-term Follow-up of Dorsal Wedge Osteotomy for Pediatric Freiberg Disease // Foot & ankle international. 2016. Vol. 37, Is. 1. P. 90–95. DOI: 10.1177/1071100715598602.
24. Brandao B., Fox A., Pillai A. Comparing the efficacy of Cartiva synthetic cartilage implant hemiarthroplasty vs osteotomy for the treatment of conditions affecting the second metatarsal head // Foot (Edinburgh, Scotland). 2019. Vol. 41. P. 30–33. DOI: 10.1016/j.foot.2019.06.003.
25. Georgiannos D., Tsikopoulos K., Kitridis D., Givisis P., Bisbinas I. Osteochondral Autologous Transplantation Versus Dorsal Closing Wedge Metatarsal Osteotomy for the Treatment of Freiberg Infraction in Athletes: A Randomized Controlled Study with 3-Year Follow-up // The American journal of sports medicine. 2019. Vol. 47, Is. 10. P. 2367–2373. DOI: 10.1177/0363546519859549.

26. Kim S.J., Kim Y.W., Park J.H., Kim G.L. (2020). Comparison of Osteochondral Autologous Transplantation and Dorsiflexion Closing Wedge Metatarsal Osteotomy for Late-Stage Freiberg Disease in Adults // *Foot & ankle international*. 2020. Vol. 41, Is. 5. P. 529–535. DOI: 10.1177/1071100720904363.
27. Hayashi K., Ochi M., Uchio Y., Takao M., Kawasaki K., Yamagami N. A new surgical technique for treating bilateral Freiberg disease // *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2002. Vol. 18, Is. 6. P. 660–664. DOI: 10.1053/jars.2002.32865.
28. Miyamoto W., Takao M., Uchio Y., Kono T., Ochi M. Late-stage Freiberg disease treated by osteochondral plug transplantation: a case series // *Foot & ankle international*. 2008. Vol. 29, Is. 9. P. 950–955. DOI: 10.3113/FAI.2008.0950.
29. Lee H.S., Kim Y.C., Choi J.H., Chung J.W. Weil and Dorsal Closing Wedge Osteotomy for Freiberg's Disease // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2016. Vol. 106, Is. 2. P. 100–108. DOI: 10.7547/14-065.
30. Petersen W.J., Lankes J.M., Paulsen F., Hassenpflug J. The arterial supply of the lesser metatarsal heads: a vascular injection study in human cadavers // *Foot & ankle international*. 2002. Vol. 23, Is. 6. P. 491–495. DOI: 10.1177/107110070202300604.
31. Rath B., Notermans H.P., Franzen J., Knifka J., Walpert J., Frank D., Koebke J. The microvascular anatomy of the metatarsal bones: a plastination study // *Surgical and radiologic anatomy*. 2009. Vol. 31, Is. 4. P. 271–277. DOI: 10.1007/s00276-008-0441-3.