

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
имени ПАТРИСА ЛУМУМЫ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ШАХУЛ ХАМИД АБДУЛ БАСИТХ

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ БОЛЕЗНИ ФРАЙБЕРГА-КЁЛЕРА С
ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛЛАГЕНОВОЙ МЕМБРАНЫ CHONDRO-
SCAFFOLD**

3.1.8. Травматология и ортопедия

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук,
Айрапетов Георгий Александрович

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
1.1 Историческая справка.....	15
1.2 Этиология болезни Фрайберга-Кёлера	16
1.2.1 Травматическое воздействие и нарушение биомеханики	16
1.2.2 Нарушение артериального кровоснабжения	17
1.3 Клиническая и рентгенологическая картина	17
1.4 Лечение заболевания Фрайберга-Кёлера.....	20
1.4.1 Консервативное лечение заболевания Фрайберга-Кёлера	20
1.4.2 Хирургическое лечение заболевания Фрайберга-Кёлера	20
1.4.2.1 Дебридмент и микрофрактурирование	21
1.4.2.2 Декомпрессия зоны некроза головки плюсневой кости	22
1.4.2.3 Остеотомии плюсневой кости	22
1.4.2.4 Интерпозиционная артропластика	26
1.4.2.5 Операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей.....	29
1.5 Методы лечения дефектов хрящевой ткани	32
1.6 Применение коллагеновых мембран в хирургии стопы	35
Резюме	38
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	39
2.1 Дизайн исследования.....	40
2.2 Методы обследования	42

2.2.1 Клиническое обследование	42
2.2.2 Рентгенологическое исследование.....	42
2.2.3 Функциональная оценка	44
2.2.4 Измерение объема движений в плюснефаланговом суставе	47
2.2.5 Статистический анализ данных	48
2.3 Характеристика групп исследования.....	50
Резюме	54
ГЛАВА 3. ТЕХНИКА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНИ ФРАЙБЕРГА-КЁЛЕРА.....	
3.1 Техника укорачивающей остеотомии второй плюсневой кости	55
3.2 Техника имплантации мембраны Chondro-Scaffold.....	58
3.3 Послеоперационная реабилитация	61
Резюме	63
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ФРАЙБЕРГА-КЁЛЕРА	
4.1 Результаты лечения пациентов основной группы (укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold)	65
4.1.1 Динамика клинико-функциональных показателей	66
4.1.2 Отдаленные результаты и оценка пациентами.....	67
4.2 Сравнительный анализ результатов лечения двух групп пациентов .	68
4.2.1 Сравнительный анализ динамика показателей шкалы AOFAS в обеих группах.	68
4.2.2 Сравнение динамики показателей ВАШ в двух группах	69

4.2.3 Сравнительный анализ динамики величины угла дорсифлексии двух групп исследования	70
4.2.4 Сравнительный анализ динамики величины угла плантарной флексии двух групп исследования.....	72
4.2.5 Сравнительный анализ динамики показателей качества жизни по шкале SF-36.....	73
4.2.6 Сравнительный анализ переносимость обуви	75
4.2.7 Сравнительный анализ ограничение физической активности	76
4.3 Осложнения, выявленные в основной и контрольной группах исследования	77
4.3.1 Общая частота осложнений.....	77
4.3.2 Характер и структура осложнений	77
Резюме	80
4.4 КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ.....	82
4.4.1 Клинический пример № 1	82
4.4.2 Клинический пример № 2	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	88
ВЫВОДЫ	98
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	100
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	101
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	102

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Заболевание Фрайберга-Кёлера чаще встречается у женщин, чем у мужчин, соотношение между полами составляет 5:1. Первые признаки болезни могут появляться в возрасте от 11 до 17 лет, в 10% случаев в патологический процесс вовлечены обе стопы [6, 19, 33]. Наиболее часто поражается вторая плюсневая кость – 68% случаев, далее следует третья плюсневая кость – 27% случаев, четвертая плюсневая кость вовлекается в заболевания только в 3% случаев, для пятой плюсневой кости развитие болезни Фрайберга-Кёлера не характерно [28].

На данный момент времени используются как хирургические, так и консервативные методы лечения. Основные компоненты консервативного лечения: разгрузка патологического участка с помощью специальных ортопедических стелек и обувью с жёсткой подошвой, а тяжелых случаях - временная гипсовая иммобилизация; медикаментозная терапия, которая включает прием НПВС в период сильных болей; физиотерапия; ЛФК и реабилитация. Однако подобные лечебные мероприятия не могут обеспечить полноценное достижение ремиссии патологии и как следствие у большинства пациентов жалобы либо сохраняются, либо наоборот усиливаются. Поэтому все большее количество ортопедов вынужденно смотреть в сторону хирургического лечения.

Описано много способов хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера. Среди них выделяют две группы операций: суставосберегающие и операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей. К суставосберегающим операциям относятся остеотомии плюсневой кости, дебридмент, декомпрессия очага некроза и микрофрактурирование [6, 43, 47, 56]. Операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей, это интерпозиционная артропластика,

артропластика с использованием аутографтов и аллогравтов, а также эндопротезирование плюснефалангового сустава. При этом в литературе нет единого мнения о преимуществах того или иного способа хирургического лечения [45, 54, 58].

Наиболее распространенным методом хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера является дорсальная клиновидная остеотомия. Оригинальная методика со временем подвергалась некоторым модификациям, например, часть авторов стали выполнять ее экстраартикулярно. Модифицированная остеотомия Weil и Helal также является улучшенной версией оригинальной техники [22, 71].

Результаты операций, сопровождающихся резекцией суставных поверхностей менее благоприятные, по сравнению с суставосберегающими техниками. Полное исчезновение болевого синдрома и возврат к прежней активности отмечается в 70% случаев после вмешательств с резекцией сустава, и в 90% случаев при суставосберегающих операциях [82, 86, 98].

Поэтому усовершенствование методов суставосберегающих операций при поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера является актуальным направлением для исследований. Перспективным выглядит использование современных материалов для замещения и регенерации хрящевой ткани в комбинации с суставосберегающими операциями.

К таким материалам относятся мембраны из коллагена I/III типа для индукции аутохондрогенеза. Комбинация микрофрактурирования хрящевого дефекта и фиксации кровяного сгустка коллагеновой мембраной способствует проникновению мезенхимальных стволовых клеток в толщу мембраны и их дифференциации. Таким образом в области дефекта формируется гиалиноподобная ткань [3, 52].

Аутохондрогенез на коллагеновой мембране это многообещающая техника для восстановления дефектов хрящевой ткани. В исследованиях

продемонстрированы хорошие результаты метода при замещении дефектов коленного, голеностопного и первого плюснефалангового суставов с использованием мембраны Chondro-Gide (Geistlich Biomaterials, Wolhausen, Switzerland) [1, 3, 15, 95]. В России также была разработана мембрана Chondro-Scaffold (Cardioplant) на основе коллагена I/III типа, обладающая аналогичными свойствами. Исследований, посвященных применению этой мембраны в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера, в настоящий момент не проводилось.

Указанные обстоятельства обусловили актуальность исследования, посвященного применению коллагеновой мембраны для аутохондрогенеза Chondro-Scaffold в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера.

Степень разработанности темы

В современной медицинской литературе существует лишь небольшое количество исследований, посвященных изучению результатов применения коллагеновых мембран для аутохондрогенеза в хирургии стопы.

Большой вклад в развитие этого направления внес немецкий исследователь М. Richter. Его работы посвящены исследованию свойств коллагеновых мембран в комбинации с органосохраняющими операциями при hallux rigidus. Автор перешел к изучению этой темы после того, как получил отличные результаты у пациентов с дефектами таранной кости, которым была выполнена комбинация микрофрактурирования дефекта и его замещения коллагеновой мембраной [95-97]. Единственной работой, посвященной использованию коллагеновых мембран в лечении болезни Фрайберга-Кёлера является исследование А. Rajeev и соавт. Авторы заключили, что применение коллагеновой мембраны Chondro-Gide для аутохондрогенеза позволяет достичь значительного улучшения результатов хирургического лечения [94].

В России было выполнено одно исследование результатов применения мембраны Chondro-Gide в хирургическом лечении halluxrigidus. Авторы отметили значительное улучшение клинических показателей у пациентов и подчеркнули, что наибольшая эффективность применения мембраны достигается у пациентов с 3 и 4 степенью артроза первого плюснефалангового сустава [15].

Исследований, посвященных применению мембраны Chondro-Scaffold в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера, не проводилось.

Цель исследования

Улучшить результаты хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера с помощью использования коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold.

Задачи исследования

1. Проанализировать преимущества и недостатки существующих современных методов лечения пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера.
2. Выработать показания и противопоказания к применению коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold при выполнении суставосберегающих операций при болезни Фрайберга-Кёлера.
3. Оценить среднесрочные результаты укорачивающих остеотомий малых плюсневых костей, предполагаемые методы (сочетание с использованием коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold).
4. Провести сравнительную оценку результатов хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера при применении традиционных методов и предлагаемых методов лечения.
5. Проанализировать послеоперационные осложнения в основной и контрольной группах.

Научная новизна

1. Разработана технология установки коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold в малые плюсне-фаланговые суставы стопы при болезни Фрайберга-Кёлера (патент на изобретение RU2849937 от 31.10.2025).
2. Впервые проведена сравнительная оценка среднесрочных результатов лечения пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера с применением мембраны Chondro-Scaffold и без нее, продемонстрировавшее статистически значимые преимущества по показателям AOFAS, ВАШ и SF-36 в основной группе.

Теоретическая значимость

1. Впервые в хирургии стопы теоретически обоснована и практически реализована концепция комбинированного биомеханического и биологического подхода к лечению болезни Фрайберга-Кёлера. Данный подход интегрирует принцип декомпрессии сустава (посредством укорачивающей остеотомии) с методом стимуляции регенерации хрящевой ткани (с помощью имплантации коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold), что представляет собой новый, более высокий уровень патогенетически ориентированного лечения.
2. Получены новые данные, углубляющие теоретические представления о процессах репаративной регенерации гиалинового хряща в условиях малых плюснефаланговых суставов при остеохондропатии. Результаты исследования вносят вклад в понимание потенциала аутохондрогенеза, инициированного биорезорбируемым коллагеновым матриксом, в специфической биомеханической среде переднего отдела стопы.

3. Разработана и внедрена в практику теоретическая модель («алгоритм») применения коллагеновых мембран при суставосберегающих операциях, которая включает четкие критерии (показания и противопоказания), описание хирургической техники и прогнозируемые результаты. Эта модель служит теоретической базой для дальнейших исследований в области регенеративной ортопедии стопы.
4. Доказана на клиническом материале теоретическая гипотеза о синергетическом эффекте от сочетания корригирующей остеотомии, устраняющей патологическую нагрузку, и имплантации остеохондрального каркаса, создающего оптимальные условия для заживления дефекта. Это расширяет теоретические основы биомеханики и тканевой инженерии в контексте лечения асептического некроза.

Практическая значимость

Впервые в клинической практике представлена стандартизированная методика имплантации коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold, объединяющая укорачивающую остеотомию, микрофрактурирование дефекта и биологическую стимуляцию аутохондрогенеза.

Внедрение данной техники в практическое здравоохранение позволяет:

- Повысить эффективность хирургического лечения при тяжелых стадиях болезни Фрайберга-Кёлера.
- Предотвратить прогрессирование дегенеративных изменений и потребность в повторных оперативных вмешательствах.

- Минимизировать длительные неврологические, биомеханические и ортопедические ограничения у пациентов.

Применение технологии Chondro-Scaffold открывает новые возможности для ортопедической хирургии стопы, предоставляя клиницистам универсальный и воспроизводимый инструмент для качественного восстановления суставной поверхности во II плюсневой кости, что существенно расширяет арсенал эффективных хирургических решений при остеохондропатиях переднего отдела стопы.

Методология и методы исследования

В ходе исследования применяли клинические, рентгенологические и статистические методы. Объектом изучения стали 25 пациентов, страдающих болезнью Фрайберга-Кёлера, которым была выполнена укорачивающая остеотомия плюсневой кости с применением коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold. В качестве группы контроля были прооперированы 40 пациентов, которым была выполнена укорачивающая остеотомия плюсневой кости без последующей установки мембраны. Всем участникам исследования выполняли рентгенологические исследования до и после операции, а также проводили оценку функциональных результатов и объема движений в плюснефаланговом суставе. Всех прооперированных пациентов наблюдали не менее одного года. В одинаковые контрольные периоды проводили сопоставление полученных клинических и рентгенологических результатов. Все вычисления проводили с применением методов статистической обработки данных.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработанный метод хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера увеличивает подвижности плюснефалангового сустава и снижает риск формирования клинически значимой тугоподвижности.
2. Применение разработанного метода в клинической практике, основанного на стимуляции хондрогенеза с использованием коллагеновой мембраны, снижает количество осложнений и уменьшает вероятность формирования артроза плюснефаланговых суставов стопы.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных результатов исследования подтверждается имеющейся медицинской документацией и проведенным статистическим анализом. При проведении научной работы использованы современные клинические и лучевые методы исследования, проведен анализ историй болезни пациентов, оценка функциональных показателей до и после операции, подготовлена электронная база данных пациентов и статистическая обработка полученных результатов.

Основные положения диссертации представлены в докладах и обсуждены на:

1. IV Конгрессе «ОРТОБИОЛОГИЯ» (Patient Cases – от теории к практике) 21-22 Апреля 2023, Москва)
2. XXXII научной конференции студентов СтГМУ 9-11 Апреля 2025 года.

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры травматологии и ортопедии г. Москва, 05.06.2025, протокол № 8.

Реализация результатов работы

Основные положения диссертации нашли практическое применение в работе ортопедического отделения ГБУЗ «ГКБ № 31 имени академика Г.М. Савельевой», г. Москва, ГБУЗ СК СККБ г. Ставрополя и ГБУЗ СК ГКБ г. Пятигорска.

Материалы диссертации используются в ходе учебного процесса на кафедре травматологии и ортопедии РУДН, на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии с курсом ДПО СтГМУ при подготовке студентов, ординаторов и аспирантов.

Личный вклад автора

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, определении цели и задач. Автор провел анализ русскоязычной и зарубежной литературы по данной тематике. Автор лично выполнял все хирургические вмешательства. Автором осуществлен сбор, статистическая и компьютерная обработка первичного материала, проведен анализ обобщенных данных, сформулированы выводы, оформлены результаты исследования и представлены в виде диссертационной работы.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликованы 3 печатные работы в изданиях из перечня ВАК.

Получены патенты на изобретение:

1. «Способ хирургического лечения болезни Фрейберга-Кёлера»
(патент на изобретение RU2849937 от 31.10.2025)

2. «Способ комбинированного лечения патологии переднего отдела стопы» (патент на изобретение RU2786827 от 26.12.2022).

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 117 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 121 источник (25 отечественных и 96 зарубежных). Приведено 10 таблиц и 29 рисунков.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Историческая справка

Доктор Albert H. Freiberg был первым, кто описал изменения, сходные с асептическим некрозом, в головке второй плюсневой кости в 1914 году [49]. В США заболевание было названо в честь исследователя. А. Н. Freiberg отметил у своих 6 пациентов подросткового и молодого возраста появление жалоб на боли в переднем отделе стопы, усиливающиеся при нагрузке. Рентгенологическую картину он описал как «раздавливание» головки второй плюсневой кости в комбинации с формированием свободных внутрисуставных тел. Четыре пациентки проходили консервативное лечение в жестком ортезе, двум пациенткам потребовалось оперативное лечение. А.Н. Freiberg полагал, что основной причиной заболевания является травма, которая приводит к развитию асептического некроза [49, 50].

В 1923 году A. Köhler опроверг эту теорию и внес значительный вклад в изучение причин заболевания, с его доводами впоследствии согласился Freiberg. Поэтому в Европе и России заболевание больше известно, как болезнь A. Köhler (Кёлер) [106].

Заболевание Фрайберга-Кёлера является остеохондропатией головки второй плюсневой кости. Это одна из наиболее частых форм первичных остеохондропатий, к нему предрасположены женщины молодого и среднего возраста, хотя, болезнь Фрайберга-Кёлера может встречаться среди всех возрастных групп [38, 41].

1.2 Этиология болезни Фрайберга-Кёлера

В настоящее время считается, что к развитию заболевания могут приводить такие факторы как травма, нарушения биомеханики стопы, недостаточность артериального кровоснабжения [60, 86]. Также идентифицированы такие системные факторы риска болезни Фрайберга-Кёлера как гиперкоагуляция, системная красная волчанка и сахарный диабет, но подтверждающих это исследований очень мало [38, 40]. Заболевание скорее всего имеет генетический компонент, поскольку были описаны случаи развития болезни Фрайберга-Кёлера у близнецов [36].

Основная этиологическая причина формирования остеохондропатии головки плюсневой кости до сих пор остается неизвестной.

1.2.1 Травматическое воздействие и нарушение биомеханики

Острая травма переднего отдела стопы вероятнее всего не приводит к формированию остеохондропатии. Тогда как повторяющаяся микротравматизация плюсневой кости, нарушение распределения нагрузки в стопе и перегрузка дорсального отдела сустава может вызывать повреждение трабекулярной структуры эпифиза [106]. Заболевание чаще всего поражает второй плюснефаланговый сустав, намного реже третий, и наиболее редко встречается в четвертом и пятом плюснефаланговых суставах [41]. Вторая и третья плюсневые кости – наиболее длинные кости стопы и поэтому подвержены перегрузке, особенно в условиях несостоятельности первого луча. Прочная стабилизация в суставе Лисфранка и присущая второй плюсневой кости стабильность также способствуют ее возможной перегрузке и травматизации. Поэтому такое нарушение, как врожденная контрактура икроножной мышцы, которое способствует перегрузке плюсневых костей, может являться причиной формирования остеохондропатии [41].

В качестве потенциального фактора риска развития заболевания указывают ношение неудобной обуви. Избыточная дорсифлексия в плюснефаланговых суставах при ношении обуви на высоком каблуке увеличивает нагрузку на дорсальную часть плюсневой кости, что может объяснить распространенность заболевания среди пациентов женского пола [28, 40, 78].

1.2.2 Нарушение артериального кровоснабжения

Кровоснабжение головок малых плюсневых костей обеспечивается дорсальными и плантарными плюсневыми артериями, берущими свое начало от задней большеберцовой артерии. При патологических вариантах их прохождения и строения, вторая плюсневая кость может быть предрасположена к ишемии. А. Viladot предложил следующие этапы формирования заболевания при нарушении кровоснабжения: механическая компрессия артерии, артериальный спазм, ишемия эпифиза, окклюзия сосудов, резорбция костной ткани, ее ремоделирование и коллапс с формированием остеоартроза сустава [38, 40, 109].

1.3 Клиническая и рентгенологическая картина

Чаще всего поражается вторая плюсневая кость (68% случаев), далее следует третья плюсневая кость (27% случаев), четвертая и пятая плюсневые кости вовлекаются в процесс в 3% и менее 2% случаев, соответственно [41]. Билатеральное поражение стоп отмечается менее, чем у 10% пациентов [40].

Пациенты чаще всего жалуются на боль, расположенную в области плантарной поверхности переднего отдела стопы в области второго плюснефалангового сустава, которая усиливается при ходьбе босиком или в обуви на каблуке. При осмотре определяется отек в области пораженного сустава, ограничение движений в нем и крепитация при

движениях. На поздних стадиях характерно формирование когтеобразной деформации пальца [32, 38].

На ранних стадиях заболевания Фрайберга-Кёлера изменений на рентгенологической картине не выявляется. При прогрессировании процесса, формируется дефект и коллапс головки плюсневой кости (рисунок 1).



Рисунок 1 - Остеохондропатия головки 2 плюсневой кости, (А) рентгенограмма в переднезадней проекции и (В) в косой проекции[32]

В связи с низкой информативностью рентгенографии на ранних стадиях болезни, МРТ является основным инструментальным методом в диагностике этого заболевания. На МРТ изображениях стопы, в головке плюсневой кости расположена зона высокоинтенсивного сигнала на T2-взвешенных изображениях, зона отека костной ткани [6, 40]. Также на МРТ определяют наличие свободных внутрисуставных фрагментов, целостность суставных структур (рисунок 2).

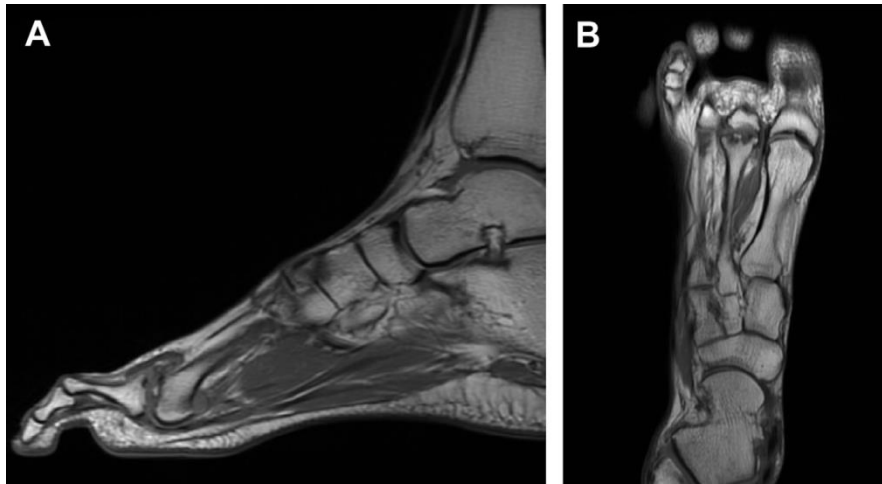


Рисунок 2 - Остеохондропатия головки 2 плюсневой кости, МРТ изображение в (А) сагиттальной и (В) аксиальной проекциях [40]

Наиболее распространенной классификацией болезни Фрайберга-Кёлера является классификация Smillie, которая базируется на хирургической картине, но также применима к рентгенологическим данным [101]. Историческую ценность имеют классификация Gauthier и Elbaz (1979 г.), основанная на патологических изменениях анатомических структур [113], и классификация Thompson и Hamilton (1987 г.) в которой выделено 4 стадии заболевания и предложены рекомендации для выбора способа лечения [114].

1.4 Лечение заболевания Фрайберга-Кёлера

1.4.1 Консервативное лечение заболевания Фрайберга-Кёлера

На ранних стадиях заболевания возможно проведение консервативной терапии. Основная цель консервативного лечения – это снижения уровня боли и минимизация прогрессирования деформации головки плюсневой кости. Для консервативной терапии используют обезболивающие препараты, модификацию физической активности, иммобилизацию сустава, модификацию обуви, стелек или ортезов. Возможно выполнение инъекций глюкокортикостероидов или использование препаратов регенеративной медицины [100]. Консервативное лечение не предотвращает развитие заболевания, хотя может улучшать клинические показатели пациентов на ранних стадиях.

Именно для ранних стадий заболевания эффективность консервативного лечения составляет 60% [40, 41, 100]. В. Helal и P. Gibb предоставили данные о том, что большинство пациентов с 1 и 2 стадией болезни Фрайберга-Кёлера по классификации Smillie отвечают на консервативную терапию и могут добиться долговременного улучшения симптомов. Поэтому, пациенты с 1 и 2 стадией заболевания являются идеальными кандидатами для этого вида лечения [58, 59].

1.4.2 Хирургическое лечение заболевания Фрайберга-Кёлера

Методы хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера можно разделить на две группы: суставосберегающие операции и операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей [65].

К суставосберегающим операциям относятся дебридменты хейлэктомия, костная декомпрессия, остеотомия плюсневой кости, трансплантация остеохондрального ауто-или аллогraftа.

Резекционная артропластика, интерпозиционная артропластика и эндопротезирование – сопровождаются резекцией суставных структур [68].

Несмотря на разнообразие хирургических методов, единого мнения о том какой из этих способов приводит к лучшим результатам на сегодняшний день нет [71, 74, 77].

На ранних стадиях заболевания основной задачей лечения является сохранение конгруэнтности суставной поверхности, тогда как на поздних стадиях в связи с выраженным разрушением головки плюсневой кости, это не представляется возможным. В таком случае, применяют эндопротезирование сустава, укорачивающая остеотомия плюсневой кости, интерпозиционную или резекционную артропластику [19, 88].

1.4.2.1 Дебридмент и микрофрактурирование

В период с 2007 только пять исследований были посвящены роли дебридмента и микрофрактурирования в лечении болезни Фрайберга-Кёлера [46, 47, 89, 109, 110]. Р. Pastides и соавт. выполнял дебридмент и микрофрактурирование головки плюсневой кости, а также рефиксировал отслоенный хрящ у 11 пациентов. Срок наблюдения составил всего 6 месяцев. Автор отметил существенное снижение выраженности болевого синдрома у пациентов с 6,5 см до операции до 3,1 см после операции [90]. А. Viladot и соавт. представили результаты 15 пациентов, которым было выполнено микрофрактурирование и дебридмент. Период наблюдения составил 11 лет, показатель по шкале AOFAS увеличился с 46,7 баллов до операции до 83,2 баллов после операции. Объем движений в суставе увеличился со значения 28° до 49° в отдаленном периоде. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ изменилась с 5,5 см до операции до 1,2 см после хирургического лечения [109].

1.4.2.2 Декомпрессия зоны некроза головки плюсневой кости

Декомпрессия очага асептического некроза успешно применяется при патологиях головки бедренной кости и таранной кости с целью снижения внутрикостного давления в области поражения. Целью операции является реваскуляризация зоны некроза до формирования анатомических изменений. В настоящее время описано только два случая успешного применения декомпрессии при лечении болезни Фрайберга-Кёлера. В 1995 году А. А. Freiberg представил редкий случай билатеральной остеохондропатии головок 2 плюсневых костей. На одной стопе было выполнено эндопротезирование головки и частичная резекция проксимальной фаланги пальца, на второй стопе – декомпрессия зоны некроза. Через 5 лет пациент не предъявлял жалоб на болевой синдром и продолжал заниматься спортом [50].

В 2006 году М. Dolce и соавт. также представили результаты успешной декомпрессии очага некроза при болезни Фрайберга-Кёлера. В обоих случаях, болезнь была диагностирована на ранней стадии, анатомических изменений в суставе не было [44].

1.4.2.3 Остеотомии плюсневой кости

В хирургическом лечении остеохондропатии головки 2 плюсневой кости используют два вида остеотомий плюсневой кости: укорачивающие остеотомии и дорсальные клиновидные остеотомии. Укорачивающие остеотомии позволяют разгрузить головку плюсневой кости, тогда как клиновидные остеотомии позволяют заместить суставную поверхность и также обеспечить декомпрессию головки [62, 71].

Т. W. Smith и соавт. представил клинические результаты 15 пациентов после внесуставной укорачивающей остеотомии плюсневой кости. У 14 из 15 пациентов удалось достичь значительного уменьшения боли через 12 месяцев после операции. Среднее укорочение плюсневой

кости составило 4 ± 1 мм, область остеотомии была фиксирована пластиной. Тем не менее, в 4 случаях было отмечено уменьшение объема сгибания в суставе, при котором палец не касался поверхности опоры [115].

В 1979 году G. Gauthier и R. Elbaz были первым кто описал возможности внутрисуставной закрыто-угольной клиновидной дорсальной остеотомии при лечении болезни Фрайберга-Кёлера. Суть остеотомии заключалась в клиновидной резекции зоны некроза и смещении здоровой части головки плюсневой кости дорсально, с целью замещения резецированной части. Из 53 пациентов, которым была выполнена операция, только в одном случае было получено осложнение в виде сохраняющегося болевого синдрома [113].

M. Helix-Giordanino представил результаты 30 пациентов. Через 6,5 лет после операции 28 пациентов были полностью удовлетворены результатами лечения. Среднее укорочение плюсневой кости составило $2,0\pm 1,4$ мм. Средняя оценка по шкале AOFAS после операции составила $83,8\pm 11,8$ баллов. Осложнения в виде метатарзалгии и подвывиха пальца в плюснефаланговом суставе были выявлены у двух пациентов исследования [60].

Единственным исследованием, в котором описаны отдаленные результаты остеотомии при остеохондропатии второй плюсневой кости является работа B. S. Pereira и W. Abdul. Авторы описали результаты пациентов через 24 года после оперативного лечения. У всех пациентов были получены отличные результаты. Основным ограничением исследования является то, что остеотомия выполнялась пациентам в детском возрасте и на ранних этапах заболевания, поэтому экстраполировать эти результаты на всю популяцию не представляется возможным [26, 93].

С тех пор было предложено несколько техник и способов фиксации зоны остеотомии.

В 1999 К. Н. Chao описал результаты серии из 13 пациентов, которым была выполнена экстраартикулярная закрытоугольная клиновидная дорсальная остеотомия. При этом авторы удаляли свободные внутрисуставные тела, но не резецировали зону некроза. Через 40 месяцев после операции, отличные результаты были получены у 11 пациентов. У двух пациентов результаты были признаны неудовлетворительными в связи с сохраняющейся болью и метатарзалгией [116].

S. K. Lee и соавт. при выполнении этого типа остеотомии использовали фиксацию с помощью спицы Киршнера. Авторы отметили незначительное уменьшение объема движений в суставе, в связи с этим способом фиксации, тем не менее, все пациенты вернулись к привычному уровню физической активности. Консолидация зон остеотомий наступила через 7 недель, осложнений получено не было. Среднее укорочение плюсневой кости составило $1,7 \pm 0,9$ мм. Уровень боли по ВАШ снизился с $8,0 \pm 2,1$ см до $2,3 \pm 1,1$ см после операции ($p < 0,005$). Все пациенты были удовлетворены результатами оперативного лечения [74].

Остеотомия Weil в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера по сути является модификацией закрытоугольной клиновидной дорсальной остеотомии Gauthier. Отличием является то, что вершина клина расположена более проксимально, а опил выполняется более горизонтально, что облегчает фиксацию остеотомии винтом [52, 69].

Остеотомия Helal — классический органосохраняющий метод коррекции переднего отдела стопы, предложенный В. Helal и соавт. для разгрузки поражённой головки плюсневой кости при метатарзалгии и ранних стадиях болезни Фрайберга [59]. Практические преимущества метода заключаются в относительной простоте исполнения и возможности точной коррекции длины и положения головки без резекций суставных поверхностей, что позволяет быстро снизить давление под головкой, уменьшить болевой синдром и сохранить анатомическую длину переднего

отдела стопы; при этом метод легко модифицируется (фиксация спицей или винтом при необходимости) и может быть адаптирован под разные клинические сценарии, однако требует аккуратного планирования во избежание перераспределения нагрузок на смежные лучи [60].

М. С. Edmondson и соавт. представили результаты 17 пациентов с остеохондропатией головки второй плюсневой кости после остеотомии Weil. В течение 6 недель после операции пациенты передвигались в обуви Барука. Авторы отметили значительное улучшение показателей по шкале AOFAS у 77% пациентов. У одного пациента было выявлено прогрессирование дегенеративных изменений в суставе, в связи с чем ему была выполнена гемиартропластика [42,45]. Такую же технику операции применил J. Kim у 19 пациентов. Среди послеоперационных осложнений в его серии было 3 случая перегрузочной метатарзалгии, 1 случай тугоподвижности сустава и 1 случай формирования флотирующего пальца. Тем не менее, авторы отметили значительное увеличение показателей по шкале AOFAS, снижение болевого синдрома и увеличение объема движений в суставе [68, 45].

Н. S. Lee и соавт. также использовали остеотомию Weil при хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера у 15 пациентов. Период наблюдения составил 47 месяцев (36-72 месяца). Среднее укорочение плюсневой кости составило $3,2 \pm 0,5$ мм. До операции показатели по ВАШ боли и шкале AOFAS составили $7,2 \pm 1,8$ см и $52,4 \pm 4,3$ балла, через 24 месяца их значение стало $2,1 \pm 0,8$ см и $78,2 \pm 8,3$ балла, соответственно ($p < 0,05$). Среднее значение объема движений в суставе увеличилось с $29,4^\circ \pm 7,3^\circ$ в предоперационном периоде до $46,5^\circ \pm 8,5^\circ$ после операции ($p < 0,05$). Авторы пришли к выводу, что остеотомия Weil является эффективной процедурой на поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера [73].

Наиболее частыми осложнениями остеотомий являются метатарзалгия и нестабильность области фиксации [39].

1.4.2.4 Интерпозиционная артропластика

Интерпозиционная артропластика была впервые описана Н. L. DuVries [117], но первые клинические результаты опубликовал Н. М. El-Tayebu [46], в качестве интерпозиционного графта он использовал сухожилие длинного разгибателя пальцев. В 2004 М. S. Myerson и D. J. Redfern предложили модификацию техники интерпозиционной артропластики DuVries с применением сухожилия длинного разгибателя пальцев [118]. В литературе также описаны способы интерпозиционной артропластики с использованием в качестве графта капсулы плюснефалангового сустава, сухожилия длинной малоберцовой мышцы или длинной ладонной мышцы [104, 112].

Также был описан способ артроскопической артропластики, где в качестве графта было использовано сухожилие короткого разгибателя пальцев [77, 80]. Долгосрочные результаты методики пока не представлены, тем не менее, артроскопическая артропластика плюснефалангового сустава является технически сложной манипуляцией с долгой кривой обучения, по сравнению с открытыми операциями, что ставит под вопрос дальнейшее развитие этого метода.

Результаты интерпозиционной артропластики, представленные в доступной литературе, можно описать как неоднозначные, в связи с небольшим количеством пациентов в выборках и отсутствием данных о долгосрочных показателях.

В 2008 году Y. Ozkan и соавт. опубликовал ранние результаты этой хирургической техники. Авторы отметили, что воссоздание формы головки плюсневой кости при интерпозиционной артропластике с использованием сухожилия короткого разгибателя пальцев не всегда

возможно. Несмотря на недостаточное количество данных о долгосрочных показателях, авторы указали что методика обеспечивает хорошие ранние результаты при последних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера. Период наблюдения в этом исследовании составил 24,6 месяца. Отличный результат операции был получен у 4 пациентов, хороший у пяти пациентов, неудовлетворительный – у одного пациента. Оценка по шкале AOFAS увеличилась с 58,3 баллов до операции до 80,4 баллов после операции [89].

С. Y. Liao описал единичный случай применения сухожилия длинной ладонной мышцы в качестве графта при артропластике плюснефалангового сустава. Очевидными недостатками этой методики являются необходимость доступа на верхней конечности, дополнительной анестезии, а также возможные функциональные нарушения в области забора трансплантата [74, 75].

В исследовании R. A. Cerrato представлены результаты лечения 27 пациентов, которым была выполнена интерпозиционная артропластика с использованием сухожилия короткого разгибателя пальцев. Автор получил отличные результаты у 22 пациентов (81,5%), у двух пациентов (7,4%) результаты были оценены как неудовлетворительные. Средняя оценка по AOFAS в послеоперационном периоде составила $80,1 \pm 7,3$ балла, что авторы расценили как отличный результат и рекомендовали методику к использованию при хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера [41].

Н. М. El-Taybey описал результаты 13 пациентов, которым выполнял интерпозиционную артропластику с использованием сухожилия длинного разгибателя пальцев несмотря на то, что было достигнуто выраженное уменьшение интенсивности боли, объем движений в плюснефаланговом суставе у пациентов достоверно не увеличился относительно предоперационных значений [46].

W. Abdul и соавт. в хирургическом лечении 25 пациентов с поздними стадиями остеохондропатии головки 2 плюсневой кости использовали аутографт, сформированный из периоста и жировой ткани. Графт с дистальным основанием, длиной 4-5 см формировали из дорсальной капсулы плюснефалангового сустава и периоста, далее его скручивали и фиксировали с помощью нитей, после резекции головки второй плюсневой кости, графт укладывали в область суставного пространства и фиксировали к плантарной пластинке. Авторы отметили значительное увеличение показателей пациентов по ВАШ боли и шкале AOFAS. У одного пациента была получена инфекция послеоперационной раны [26].

Ограничение объема движений в плюснефаланговых суставах – характерная проблема при выполнении артропластики с использованием аутографтов из сухожилий стопы. Остеотомия позволяет добиться большего объема движений, в сравнении с интерпозиционной артропластикой сухожильными аутографтами [65].

В исследовании К. Ikoma, у 13 пациентов через 17 месяцев после остеотомии плюсневой кости, объем дорсального сгибания составил $73,6^{\circ} \pm 8,4^{\circ}$, что значительно превышало предоперационное значение в $37,2^{\circ} \pm 10,3^{\circ}$ [62]. В исследовании R. A. Cerrato, который представил результаты интерпозиционной артропластики, значение дорсального сгибания в отдаленном периоде составило $55,3^{\circ} \pm 9,3^{\circ}$, до операции значение угла было $38,1^{\circ} \pm 7,3^{\circ}$ [41]. Разница в отдаленных показателях, обусловлена техническими особенностями артропластики, где роль графта выполняют собственные рассеченные сухожилия, что оказывает влияние на объем движений в суставе.

1.4.2.5 Операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей

В хирургическом лечении поздних стадий болезни Фрайберга-Кёлера, помимо интерпозиционной артропластики, применяются также эндопротезирование плюснефалангового сустава, и трансплантация остеохондрального графта.

Долгосрочные результаты эндопротезирования плюснефалангового сустава в большинстве случаев неоднозначные. Использование силиконовых, керамических и металлических конструкций сопровождается значительным количеством осложнений [48]. На современном этапе применение эндопротезов малых плюснефаланговых суставов в хирургии переднего отдела стопы носит ограниченный характер и связано с высокой частотой осложнений [6, 12].

А. Scacchiolo и соавт. выполняли эндопротезирование плюснефаланговых суставов с использованием силиконового эндопротеза при артрозе и при остеохондропатии головок плюсневых костей. Хорошие результаты были получены у 63% пациентов через 3 года наблюдения. У 4 пациентов были получены хорошие результаты, у двух пациентов – неудовлетворительные. У одного пациента была выявлена перегрузочная метатарзалгия, у второго – переимплантный стрессовый перелом плюсневой кости [119].

Для эндопротезирования плюснефаланговых суставов характерны такие осложнения, как расшатывание имплантата и его миграция, эрозия костной ткани в области фиксации протеза, синовиты сустава, вторичные инфекции, нарушение функции пальца. Основным преимуществом протеза является то, что он не изменяют параболу головок плюсневых костей стопы [120].

D. N. Townshend и M. E. Greiss описали свой опыт применения керамических эндопротезов при хирургическом лечении дегенеративно-измененных малых плюснефаланговых суставов. Они представили результаты 9 пациентов, все они были женского пола, средний возраст составил $51,1 \pm 7,3$ год. Через 23 месяца, среднее значение по шкале AOFAS составило $75,3 \pm 10,6$ балла. У восьми пациентов были получены отличные и хорошие результаты. У одного пациента была выявлена нестабильность эндопротеза. Тем не менее, выборка пациентов в исследовании была слишком мала, чтобы экстраполировать результаты исследования на популяцию [120].

Доступные исследования описывают либо отдельные клинические случаи, либо имеют IV и V уровень доказательности. Их результаты не могут интерпретированы как надежные, в связи с малым количеством пациентов, ретроспективным характером и редкостью заболевания.

В настоящее время, эндопротезирование плюснефалангового сустава с использованием силиконовых, керамических или металлических не является рекомендованным методом лечения болезни Фрайберга-Кёлера [40, 57].

Первое сообщение о применении аутологичного остеохондрального графта при хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера сделал K. Hayashi в 2002 г. Преимуществом данной процедуры было восстановление суставной поверхности, покрытой гиалиновым хрящом, формирование дистального отдела плюсневой кости близкого к нормальной анатомической конфигурации, а также возможность консолидации костных поверхностей графта и диафиза. Операция состояла из трех этапов: создание отверстия в области головки плюсневой кости, включая измененную зону, забор остеохондрального аутографта из ипсилатерального коленного сустава, фиксация графта методом пресс-фит в отверстие на головке плюсневой кости [57].

Е. Tsuda и соавт. выполнили 3 трансплантации аутологичного графта по этой методике трем спортсменам молодого возраста с остеохондропатией головки плюсневой кости 3 и 4 стадии по классификации Smillie. Во всех трех случаях спортсмены смогли вернуться к привычным физическим нагрузкам через 3 месяца после операции [108].

W. Miyamoto и соавт. выполняли мозаичную аутохондропластику с помощью остеохондральных графтов, забранных с латерального отдела ипсилатерального коленного сустава. Размер графтов составлял 8,5 мм в диаметре и 7,0 мм по высоте. Объем движений в суставе увеличился с $19,3^{\circ} \pm 5,2^{\circ}$ до $40,2^{\circ} \pm 9,5^{\circ}$ через 52 месяца после операции. На контрольной артроскопии у всех пациентов было диагностировано приживание графтов [83, 81].

A. Ajis и соавт. описали результаты применения остеохондрального аллогraftа дистального отдела плюсневой кости у 4 пациентов. Средний период наблюдения составил 36 месяцев (от 6 до 66 месяцев). У всех пациентов была отмечена консолидация, а также васкуляризация аллогraftа. Не одному пациенту не потребовалось проведение ревизионной операции [27].

D. Georgiannos и соавт. провели сравнительное исследование результатов пациентов после клиновидной остеотомии и трансплантации аутологичного графта. В обеих группах было достигнуто существенное увеличение показателей по шкале AOFAS. Тем не менее, пациенты после аутопластики возвращались к спортивным нагрузкам значительно быстрее, чем пациенты после остеотомии плюсневой кости [53].

J. Kim и соавт. также выполнили сравнение результатов аутохондропластики и остеотомии плюсневой кости у пациентов среднего возраста при поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера. Согласно их данным, показатели по шкале AOFAS, а также объем плантарного

сгибания был выше в группе пациентов после трансплантации аутографта [68].

Основным недостатком трансплантации остеохондрального аутографта являлись боли в области его забора, в остальном, в исследованиях представлены хорошие результаты этой операции [82, 108]. Y. Shimozone и соавт. провел метаанализ посвященный, частоте возникновения болевого синдрома в области забора аутографта из коленного сустава. Частота этого осложнения варьировала от 6,7% до 10,8% в разных исследованиях [99, 100].

Замещение дефекта головки с помощью сухожильных аутографтов сопровождается нарушением биомеханики стопы и ограничением объема движений в суставе. При использовании остеохондральных аллографтов высок риск инфекционных осложнений и нарушений консолидации [64, 82].

1.5 Методы лечения дефектов хрящевой ткани

Результаты операций с резекцией суставных поверхностей менее благоприятные по сравнению с суставосберегающими методами. Полное исчезновение болевого синдрома и возврат к прежней активности отмечается в 70% случаев после вмешательств с резекцией сустава, и в 90% случаев при суставосберегающих операциях [61, 65, 82].

Поэтому усовершенствование методов суставосберегающих операций при поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера является актуальным направлением для исследований. Перспективным выглядит использование современных материалов для замещения и регенерации хрящевой ткани в комбинации с суставосберегающими операциями - остеотомией.

Таким материалом является коллагеновая мембрана для направленного аутохондрогенеза [1, 3, 15, 95].

Мембрана была разработана для применения в ортопедии с целью регенерации поврежденного суставного хряща по методике «StaMP» (направленный аутохондрогенез на внеклеточном скаффолде и представляет собой материал на основе коллагена I/III типа, полученный из обработанной оболочки свиной тонкой кишки (рисунок 3) [95, 103].

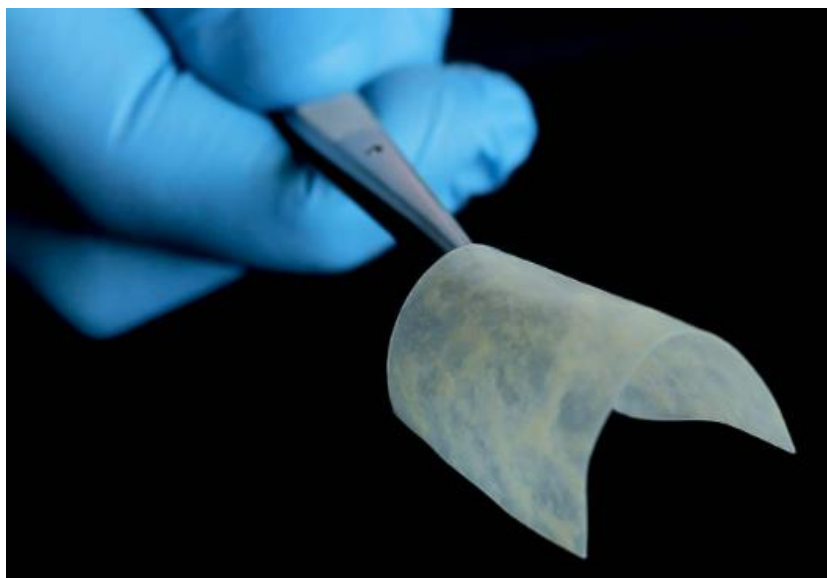


Рисунок 3 – Коллагеновая мембрана для аутохондрогенеза [95, 103]

Ее строение аналогично внеклеточному матриксу хрящевой ткани. За счет своей структуры, мембрана может обеспечивать прикрепление, рост и дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток - направленный аутохондрогенез (рисунок 4). Матрикс-индуцированный аутологичный хондрогенез (Autologous matrix – induced chondrogenesis (AMIC)) – это хирургическое вмешательство, при котором происходит комбинация микрофрактурирования зоны хрящевого дефекта и фиксация получившегося кровяного сгустка с помощью мембраны. Мембрана стабилизирует и защищает сгусток, обеспечивает врастание и фиксацию клеток костного мозга в свою структуру и в последующем – их

дифференциацию. Также она работает как временный каркас, который позволяет клеткам фиксироваться в ее трехмерной структуре. В течение короткого времени мембрана инкорпорируется клетками реципиента и полностью трансформируется (от 5 до 7 недель) в гиалиноподобную ткань без образования рубцов и спаек [3, 20, 21, 91, 92].

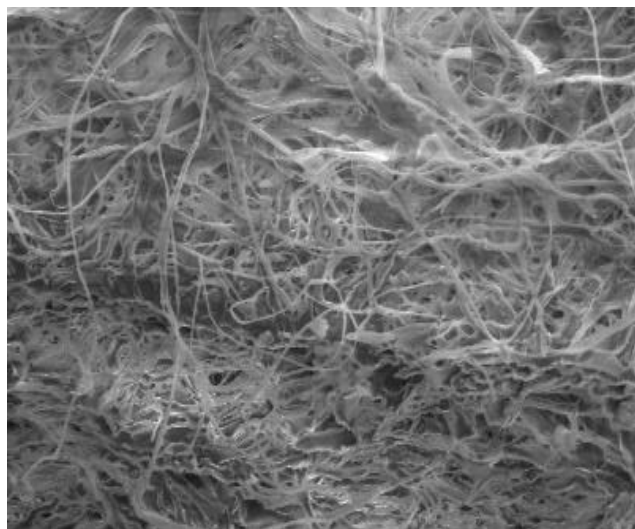


Рисунок 4 – Структура коллагеновой мембраны (фотография под микроскопом) [3]

В исследованиях *invitro*, было продемонстрировано, что хондроциты, помещенные на коллагеновые мембраны I/III типа могли фиксироваться к волокнам мембраны и сохраняли фенотип. Хондроциты, расположенные в толще мембраны, имели округлую форму и располагались вдоль фибрилл коллагена. Хондроциты могли фиксироваться к коллагену с помощью цитоплазматических отростков. Эти данные были получены с использованием электронной микроскопии [51].

Также, клетки продемонстрировали возможность синтеза матрикса, содержащего глюкозаминогликаны и коллаген 2 типа и были способны к выживанию [121].

1.6 Применение коллагеновых мембран в хирургии стопы

Количество исследований, посвященных использованию коллагеновых мембран в хирургии стопы – крайне мало.

В зарубежной литературе, этой теме посвящены работы только одного автора. М. Richter в течение продолжительного времени изучал возможности аутохондрогенеза на коллагеновой мембране для замещения дефектов хряща голеностопного сустава. Впоследствии он первым использовал данную методику в хирургическом лечении артроза первого плюснефалангового сустава, Hallux rigidus. Во всех случаях он использовал мембрану Chondro-Gide (Geistlich Biomaterials, Wolhausen, Switzerland) из коллагена I/III типа [95, 96].

М. Richter разработал следующую тактику операции при hallux rigidus. Он последовательно выполнял хейлэктомию, синовэктомию и артролиз, затем проводил микрофрактурирование области дефекта и накладывал коллагеновую мембрану, фиксируя её с помощью фибринового клея. Пациенты приступали к ходьбе с полной нагрузкой на оперированную конечность на следующий день после операции, при этом иммобилизация первого плюснефалангового сустава сохранялась в течение 2 суток [95].

Его группу исследования составили 20 пациентов (25 стоп). Автор исключил из исследования пациентов с билатеральным поражением стоп, пациентов с 4 стадией артроза первого плюснефалангового сустава и пациентов, которым необходимо было проводить остеотомию для коррекции наружного отклонения первого пальца стопы. После операции он оценивал клиническую картину, объем движений, результат по шкале Visual Analogue Scale Foot and Ankle (VAS FA), рентгенологическую картину. Средний возраст пациентов составил $42 \pm 13,3$ года, 14 пациентов (70%) были мужского пола. У большинства пациентов была 2 стадия

артроза первого плюснефалангового сустава. Средний показатель по VAS FA до операции составил $50,5 \pm 14,2$ балла. Объем движений - составлял $10,3^\circ/18,8^\circ$ дорсального и плантарного сгибания. Средний размер дефекта был $0,7 \text{ см}^2$ (от $0,5$ до $2,5 \text{ см}^2$). В послеоперационном периоде ни в одном случае не было получено осложнений, ни одному пациенту не потребовалось проведения повторного оперативного лечения. Через 2 года после операции оценка по шкале VAS FA увеличилась до $91,5$ балла (от $74,2$ до 100). Объем движений увеличился до $34,5/25,5$ дорсального и плантарного сгибания. Через 2 года после операции на рентгенограммах пациентов были выявлены изменения, характерные для 1 стадии артроза. Автор пришел к выводу, что это эффективная и безопасная методика, которая позволяет улучшить функцию сустава, восстановить объем движений и снизить интенсивность болевого синдрома [96, 97].

М. Richter также выполнил несколько исследований аутохондрогенеза на коллагеновой мембране при хрящевых дефектах голеностопного сустава. В наиболее крупное исследование было включено 144 пациента со 150 хрящевыми дефектами таранной кости. Дефекты располагались как в области таранной кости, так и на большеберцовую кость. Средний размер дефекта составил $1,6 \text{ см}^2$. Средний возраст пациентов исследования был 35 лет (12-68 лет), 59% пациентов были мужского пола. Оценка по шкале VAS FA до операции была $48,5$ балла ($16,5 - 78,8$). В послеоперационном периоде ни у одного пациента не было выявлено осложнений. Средний показатель по шкале VAS FA через 2 года после операции составил $87,5$ ($62,1 - 100$) [97].

В России также было выполнено исследование, посвященное применению мембраны Chondro-Gide в оперативном лечении пациентов с Hallux rigidus. Авторы включили в исследование пациентов с артрозом первого плюснефалангового сустава 1-4 степени. Отличие от техники M.Richter заключалась в том, что мембрану подшивали, а не фиксировали

фибриновым клеем. Результаты оценивали по шкалам ВАШ боли, AOFAS, VAS FA. Через год после операции авторы отметили улучшение функциональных показателей у пациентов: ВАШ боли снизился с 70 мм до 5 мм, показатель по шкале AOFAS увеличился с 52 до 90 баллов, средний объем движений составил 71,5 градусов. Авторы отметили высокую эффективность методики, особенно на поздних стадиях заболевания и предположили, что она может стать альтернативой артродезу первого плюснефалангового сустава [15].

Единственное исследование, посвященное применению коллагеновой мембраны для аутохондрогенеза в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера выполнили в 2023 году А. Rajeev и соавт. Авторы провели ретроспективное исследование, где проанализировали результаты лечения 10 пациентов, которым был выполнен дебридмент, микрофрактурирование и установка коллагеновой мембраны Chondro-Gide. Дополнительных манипуляций на плюсневой кости не проводилось. Средний возраст пациентов составил 42,7 лет, период наблюдения 36,4 месяца. У 8 пациентов (80%) в процесс была вовлечена вторая плюсневая кость, у двух пациентов (20%) – третья. Показатель по шкале Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) увеличился с 72,5 балла до 42,5 балла через 1 год после операции. Интенсивность боли снизилась с 6,4 балла до операции до 2,1 балла после операции. Авторы пришли к выводу, что дебридмент сустава в комбинации с микрофрактурированием дефекта и применением коллагеновой мембраны для аутохондрогенеза позволяет достичь значительного улучшения функциональных и рентгенологических результатов [94].

Айрапетов Г.А. в ходе изучения химико-биологических свойств коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold доказал *invitro* ее высокую эффективность и безопасность для формирования качественного и

стабильного регенерата в области дефекта хрящевой ткани (митотический индекс ВКМ выше аналога на 2% через 48 часов и на 3,2% через 72 часа), исследование проводилось на коленных суставах овец [2, 3].

Резюме

Болезнь Фрайберга-Кёлера это - остеохондропатия головки плюсневой кости. Впервые заболевание было описано в 1914 году доктором А.Н. Freiberg. Болезнь имеет многофакторную этиологию, при этом наиболее частыми причинами его развития являются, травма и нарушение кровоснабжения головки плюсневой кости.

Описано много способов хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера. Среди них выделяют две группы операций: суставосберегающие и операции, сопровождающиеся резекцией суставных поверхностей. В литературе нет единого мнения о преимуществах того или иного способа хирургического лечения. При этом результаты пациентов, после суставосберегающих операций, превосходят таковые после операций с резекцией суставных поверхностей.

Поэтому усовершенствование техник суставосберегающих операций при поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера является актуальной темой исследования. Поскольку в основе патогенеза заболевания лежит дегенерация хрящевой ткани, было принято решение использовать современные материалы для замещения хрящевой ткани - мембраны из коллагена I/III типа. В исследованиях продемонстрированы хорошие результаты использования коллагеновых мембран при замещении дефектов коленного, голеностопного и первого плюснефалангового суставов. В связи с чем, было принято решение провести исследование, посвященное результатам применения коллагеновой мембраны в комбинации с суставосберегающими операциями, при хирургическом лечении пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Общая характеристика собственного клинического материала

В рамках настоящего исследования проанализированы результаты хирургического лечения 65 пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера II плюсневой кости, диагностированной на стадиях III и выше по классификации Smillie. Заболевание представляет собой одну из редких форм остеохондропатий переднего отдела стопы и характеризуется развитием аваскулярного некроза головки второй плюсневой кости с последующим формированием деформирующего артроза и выраженным болевым синдромом, резистентным к консервативной терапии.

Изученная когорта отражает истинную эпидемиологию болезни: среди включённых пациентов преобладают женщины (81,6%), что соответствует соотношению в популяции (5:1) и подчеркивает уникальную гендерную специфику патологии. Средний возраст пациентов составляет $46,6 \pm 12,3$ года (диапазон 18–65 лет), что обусловлено долгим латентным течением заболевания — манифестация часто происходит в подростковом возрасте, однако необходимость хирургического лечения возникает в зрелом возрасте, когда формируются необратимые дегенеративные изменения и стойкая хроническая боль.

Этиопатогенетические механизмы включают биомеханические факторы (ношение узкой обуви, высокая нагрузка на плюснефаланговый сустав у женщин), анатомические особенности строения стопы, а также роль гормонального фона. Все пациенты к моменту включения в исследование предъявляли типичные жалобы на интенсивную хроническую боль (ВАШ $\geq 4,0$), выраженное ограничение движений в плюснефаланговом суставе II пальца ($<40^\circ$) и утрату функциональных возможностей стопы. Консервативное лечение во всех случаях оказалось

неэффективным, что обусловило показания к хирургическому вмешательству.

Перед хирургическим лечением большинство пациентов демонстрировали неудовлетворительное функциональное состояние (AOFAS <60 баллов) и значительное снижение качества жизни по доменам SF-36 (<50 баллов), что указывает на степень инвалидизации и ограниченность ежедневной активности. Сопоставимость демографических, клинических и функциональных характеристик пациентов позволила сформировать однородную исследуемую группу для последующего объективного сравнения эффективности хирургических методик.

2.1 Дизайн исследования

Для выполнения поставленных задач нами был проанализирован опыт лечения 65 пациентов, которым было выполнено оперативное лечение на базе ГБУЗ ГКБ № 31 имени академика Г.М. Савельевой», г. Москва, ГБУЗ СК СККБ г. Ставрополя и ГБУЗ СК ГКБ г. Пятигорска в период с 2021 по 2024 гг.

Средний возраст пациентов составил $46,6 \pm 12,3$ года. Среди них было 12 мужчин (18,4%) и 53 женщины (81,6%).

Все пациенты были разделены на две группы. Количество включённых в исследование пациентов обосновано расчетами статистической мощности, практическими возможностями и необходимостью получения достоверных сравнительных результатов.

В основную группу исследования было включено 25 пациентов, из них 4 пациента (16%) были мужского пола и 21 пациент (84%) – женского пола. Медиана возраста пациентов в группе составила 47,0 (38,0-57,2) лет. Всем пациентам данной группы была выполнена укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости в комбинации с

микрофрактурированием головки и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold.

В контрольную группу пациентов исследования было включено 40 пациентов, из них 32 пациента (80%) женского пола и 8 пациентов (20%) мужского пола. Средний возраст пациентов в группе составил 49,0 (41,0-58,4) лет. Всем пациентам этой группы была выполнена укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости для лечения болезни Фрайберга-Кёлера.

Все пациенты были обследованы на амбулаторном этапе и далее госпитализированы в плановом порядке.

Критериями включения в исследование были:

- Пациенты с диагнозом болезнь Фрайберга-Кёлера, 3-й и выше стадии по классификации Smillie
- Болевой синдром, не поддающийся консервативной терапии более 4,0 баллов по ВАШ, ограничение объема движений в плюснефаланговом суставе менее 40°
- Отсутствие в анамнезе оперативного вмешательства на стопе
- Возраст пациентов от 18 до 65 лет (критерий основан на рекомендациях производителя мембраны Chondro-Scaffold)

Критериями не включения в исследование были:

- Наличие у пациента выявленной аллергии на коллаген в анамнезе
- Пациенты, страдающие аутоиммунными заболеваниями или проходящие длительную терапию кортикостероидными препаратами
- Пациенты с заболеваниями, сопровождающимися нарушениями свертываемости крови
- Наличие у пациента инфекционных заболеваний в области стопы

- Отсутствие возможности наблюдения за пациентом на протяжении 12 месяцев после операции

Наблюдение за пациентами продолжали до 1 года после оперативного лечения. Контрольные осмотры проводили на сроках 3, 6 и 12 месяцев после оперативного лечения.

2.2 Методы обследования

2.2.1 Клиническое обследование

В ходе клинического обследования изучали жалобы пациента, устанавливали обстоятельства возникновения болевого синдрома, сведения о предыдущих методах лечения и их эффективности. Изучали информацию о фактах травматического воздействия или оперативных вмешательствах на стопе в анамнезе. Проводили сбор данных о возрасте, профессии, перенесенных заболеваниях, травмах, состоянии здоровья, семейном и наследственном анамнезе. Объем движений в суставе определяли с помощью гониометра. Далее, протокол обследования включал в себя оценку рентгенограмм, оценку функционального состояния стопы по шкале AOFAS, оценку выраженности болевого синдрома по ВАШ боли.

2.2.2 Рентгенологическое исследование

Рентгенографию стопы выполняли в прямой и боковой проекциях до операции и при последующих контрольных осмотрах. При прямой проекции центрирование рентгеновских лучей осуществляли на средний отдел стопы с каудальной инклинацией 15° при фокусном расстоянии около 101,6 см. На рентгенограммах оценивали:

- Стадия болезни Фрайберга-Кёлера согласно классификации Smillie [101] (таблица 1, рисунок 5)
- Признаки прогрессирования дегенеративных изменений в плюснефаланговом суставе (включая формирование остеофитов).
- Ширина суставной щели плюснефалангового сустава.

Таблица 1 – Классификация болезни Фрайберга-Кёлера по Smillie [101]

Стадия	Рентгенологическая картина
I стадия	Повреждение хряща на головке плюсневой кости, сопровождающееся остеопенией в головке плюсневой кости и отеком костной ткани на МРТ, при этом нет изменений на рентгенограмме стопы
II стадия	На рентгенограмме определяется небольшое вдавление суставной поверхности в центральной части дорсальной поверхности головки плюсневой кости за счет резорбции губчатой кости
III стадия	Увеличение площади резорбции и прогрессирование импрессии суставной поверхности в область головки плюсневой кости, начало формирования медиального и латерального остеофитов
IV стадия	Дальнейшее уплощение головки, отделение остеофитов с формированием свободных внутрисуставных тел, разрушение плантарных структур головки плюсневой кости
V стадия	Формирование артроза плюснефалангового сустава



Рисунок 5 - Классификация болезни Фрайберга-Кёлера по Smillie, рентгенологическая картина [101]

С помощью программы RadiAnt (Medixant, Poznan, Poland) определяли ширину щели плюснефалангового сустава в миллиметрах, ее определяли как расстояние от центра дистальной части головки плюсневой кости до центра суставной поверхности проксимальной фаланги пальца (рисунок 6). В норме ширина суставной щели составляет от 1,5 до 2,5 мм.



Рисунок 6 – Измерение величины суставной щели плюснефалангового сустава [собственное наблюдение]

2.2.3 Функциональная оценка

Для оценки функции стопы до и после операции использовали шкалу клинической оценки заболеваний стопы и голеностопного сустава

Американской ассоциации ортопедов стопы и голеностопного сустава - AOFAS (American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hindfoot Score) [23].

Шкала имеет три раздела, для оценки степени болевого синдрома, функционального статуса конечности и анатомических взаимоотношений в суставе. Максимальная оценка по данной шкале составляет 100 баллов, что соответствует отсутствию патологии в области голеностопного сустава и стопы.

Шкала AOFAS является одной из наиболее популярных ортопедических шкал, применяющихся в медицинских исследованиях, посвященных результатам лечения патологий стопы. Данная шкала была выбрана для данной работы, поскольку часто используется в научной литературе и позволяет сравнивать результаты с данными других исследований (рисунок 7).

Параметры	Баллы
Боль:	
Нет	40
Умеренная, редко	30
Сильная, ежедневно	20
Очень сильная, присутствует постоянно	0
Функция, ограничение активности:	
Нет	10
Нет ограничений ежедневной активности, только при избыточной нагрузке	7
Ежедневные ограничения, невозможность избыточной нагрузки	4
Ограничения, исключающие любую активность	0
Требование к обуви:	
Удобная, модельная не требующая стелек	10
Комфортная с ортопедическими стельками	5
Только специально подобранная или брейс	0
Движения в плюснефаланговых суставе (сгибание/разгибание):	
Полный или небольшое ограничение (объём 75° или больше)	10
Умеренное ограничение (объём 30° – 74°)	5
Значительное ограничение(объём менее 30°)	0
Объём движений в межфаланговых суставах(сгибание) :	
Нет ограничений	5
Значительное ограничение(объём менее 10°)	0
Стабильность в ПФС и МФС (все направления)	
Стабильны	5
Нестабильны	0
Гиперкератоз или мозоль под плюснефаланговым/над межфаланговым :	
нет / есть бессимптомные	5
есть болезненные	0
Восстановление оси:	
Восстановлена	15
Удовлетворительно; от слабой до умеренной степени смещения	8
Недостаточно; значительное смещение	0

Рисунок 7 - Шкала AOFAS [23]

Применяли следующую градацию оценок по шкале AOFAS: отличным считали результат 80–100 баллов, хорошим – 70–79 баллов, удовлетворительным – 60–69 баллов, неудовлетворительным – менее 60 баллов.

Для оценки выраженности болевого синдрома в области стопы использовали визуальную аналоговую шкалу боли (ВАШ), где 0 баллов соответствовало отсутствию болевого синдрома, 10 баллов – максимальному болевому синдрому (рисунок 8)



Рисунок 8 - ВАШ боли

Через 12 месяцев после операции пациентов просили указать, испытывают ли они трудности при ношении обычной обуви без корригирующих ортопедических изделий, используя одно из выражений: корригирующие изделия не требуются, возможно ношение обычной обуви; требуется использование ортопедических корригирующих стелек; ношение обычной обуви невозможно, требуется использование индивидуальной ортопедической обуви.

Для комплексной оценки качества жизни пациентов использовался краткий опросник SF-36 (Short Form-36), который включает 36 вопросов, объединенных в 8 шкал:

1. Физическое функционирование (Physical Functioning)
2. Ролевое функционирование (Role-Physical)
3. Телесная боль (Bodily Pain)
4. Общее здоровье (General Health)
5. Жизнеспособность (Vitality)
6. Социальное функционирование (Social Functioning)
7. Эмоциональное состояние (Role-Emotional)
8. Психическое здоровье (Mental Health)

Каждая шкала оценивается от 0 до 100 баллов, где 100 соответствует наилучшему состоянию.

2.2.4 Измерение объема движений в плюснефаланговом суставе

Измерение объема движений в плюснефаланговом суставе проводили с помощью гониометра. Использовали стандартную методику:

одно плечо инструмента устанавливали в плоскости плюсневой кости, второе – в плоскости проксимальной фаланги. Центр шарнира располагали на оси сустава. Пациентка находилась в положении лежа, голеностопный сустав – в нейтральном положении, коленный сустав был согнут под углом 90 градусов.

Проводили измерение активного объема движений, когда пациент самостоятельно осуществлял тыльное и подошвенное сгибание в плюснефаланговом суставе (рисунок 9).

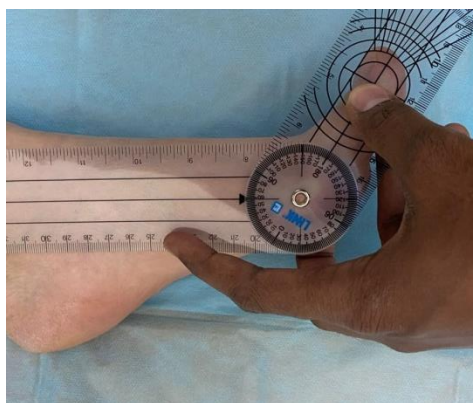


Рисунок 9 - Техника измерения объема движений в плюснефаланговом суставе [собственное наблюдение]

2.2.5 Статистический анализ данных

Расчёты выполнены с использованием программ IBM SPSS Statistics версии 26.0 (IBM Corp., США) и MedCalc версии 20.0 (MedCalc Software Ltd., Бельгия). Проверку нормальности распределения количественных данных осуществляли с помощью критерия Шапиро–Уилка. В связи с тем, что распределение большинства изученных показателей отличалось от нормального ($p < 0,05$), все количественные данные представлены в виде медианы, первого и третьего квартиля (Me (Q1; Q3)). Для категориальных

переменных определялось количество пациентов (частота) для каждой категории.

Для оценки мощности проведенного исследования проводился Пост-хоc анализ, который показал, что при достигнутых различиях по шкале AOFAS (88,2 балла в основной группе против 84,3 балла в контрольной, стандартное отклонение 5,2 балла) мощность U-критерия Манна–Уитни составила 82% при критическом уровне значимости $\alpha = 0,05$, что позволяет считать выводы исследования статистически обоснованными.

Сравнение двух независимых групп (основная и контрольная) проводили с помощью U-критерия Манна–Уитни. Для оценки динамики показателей внутри одной группы в нескольких временных точках (до операции, через 3, 6 и 12 месяцев) применяли критерий Фридмена. При обнаружении статистически значимых различий ($p < 0,05$) выполняли *post-hoc* попарные сравнения с использованием критерия Вилкоксона и поправки Бонферрони на множественные сравнения. Критический уровень значимости для *post-hoc* анализа рассчитывали, как $0,05$, делённый на количество сравнений (для четырёх временных точек – $0,05/6 = 0,008$). Сравнение двух связанных выборок (например, «до операции – через 12 месяцев») выполняли критерием Вилкоксона.

Проводилась оценка величины эффекта. Для количественной характеристики силы различий между группами и динамики показателей дополнительно рассчитывали: псевдомедиану разности с 95% доверительным интервалом (метод Hodges–Lehmann); стандартизованную разность средних (Cohen's d), интерпретируя величину эффекта как малую ($d = 0,2$), среднюю ($d = 0,5$) или большую ($d = 0,8$).

При сравнении качественных признаков в независимых группах (например, частота осложнений, переносимость обуви) использовали критерий χ^2 Пирсона; при ожидаемых частотах менее 5 – точный критерий

Фишера. Для оценки изменений бинарных показателей внутри одной группы (например, наличие подвывиха пальца до и после операции) применяли критерий Мак-Немара.

Статистически значимыми считались различия при значении $p < 0,05$.

2.3 Характеристика групп исследования

В исследование включены 65 пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера II плюсневой кости. Основную группу составили 25 пациентов (25 стоп), которым выполняли укорачивающую остеотомию второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием и закрытием дефекта коллагеновой мембраной Chondro-Scaffold. Контрольную группу составили 40 пациентов (40 стоп), получивших изолированную укорачивающую остеотомию. Во всех случаях отмечалось одностороннее поражение.

Демографические характеристики пациентов обеих групп представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные демографические параметры пациентов обеих групп

Параметр	Основная группа (n = 25)	Контрольная группа (n = 40)	p
Пол			
Мужской, n (%)	4 (16)	8 (20)	
Женский, n (%)	21 (84)	32 (80)	0,03*
Возраст, годы Me (Q1-Q3)	47,0 (38,0-57,2)	49,0 (41,0-58,4)	0,41
ИМТ, кг/м² Me (Q1-Q3)	25,5 (22,7-28,3)	24,9 (21,7-28,1)	0,53

*Примечание: $p < 0,05$ – выявлены достоверные различия между группами

Как видно из таблицы 2, в обеих группах преобладали пациенты женского пола, что согласуется с литературными данными о более частой встречаемости болезни Фрайберга-Кёлера у женщин. Группы были сопоставимы по возрасту и индексу массы тела ($p > 0,05$), однако выявлено статистически значимое различие в распределении по полу ($p = 0,03$).

Стадию заболевания определяли согласно классификации Smillie [101]. Как представлено в таблице 3, в обеих группах наблюдается сходное распределение пациентов: наибольшая доля пациентов с 4 стадией заболевания (52-55%), примерно равная доля с 3 стадией (25-28%) и идентичная доля с наиболее тяжелой 5 стадией (20%). Статистический анализ не выявил достоверных различий в распределении по стадиям между группами ($\chi^2 = 0,085$; $p = 0,958$).

Таблица 3 - Распределение пациентов по стадиям заболевания согласно классификации Smillie [101]

Стадия	Основная группа (n = 25)	Контрольная группа (n = 40)	Всего
3 стадия	7 (28,0%)	10 (25,0%)	17
4 стадия	13 (52,0%)	22 (55,0%)	35
5 стадия	5 (20,0%)	8 (20,0%)	13
Всего	25	40	65

Примечание: $\chi^2 = 0,085$; $p = 0,958$

Выявленная статистическая и клиническая сопоставимость групп по стадиям заболевания минимизирует влияние данного фактора на

результаты исследования, что обеспечивает валидность последующего сравнительного анализа эффективности методов лечения.

Анализ предоперационных жалоб показал, что наиболее частыми симптомами были ограничение объема движений и боль при ходьбе, тогда как другие жалобы встречались существенно реже (Рисунок 10).

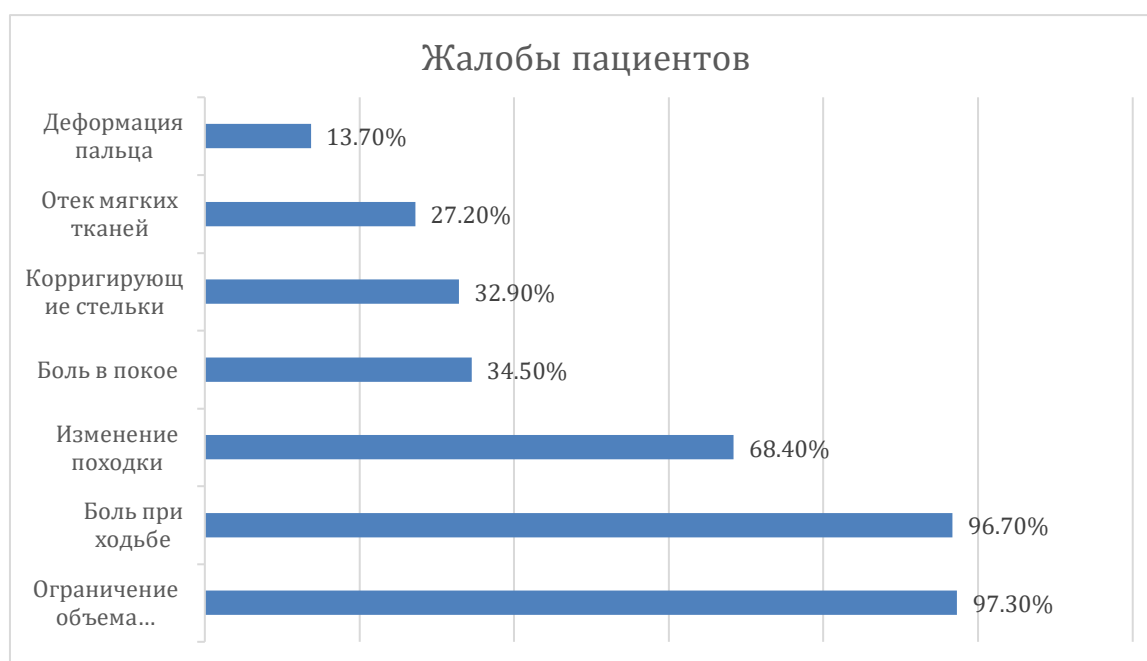


Рисунок 10 – Структура предоперационных жалоб пациентов (n = 65)

Функциональные и клинические показатели в предоперационном периоде представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Функциональные и клинические показатели пациентов в предоперационном периоде

Параметр	Основная группа (n = 25)	Контрольная группа (n = 40)	p
Функциональные показатели			
АOFAS, баллы	51,3 (45,7-56,9)	47,3 (42,6-52,0)	0,043*
ВАШ боли, баллы	5,1 (4,2-6,0)	5,3 (4,4-6,2)	0,571

Качество жизни (SF-36)			
Физическое функционирование	45,3 (38,7-51,9)	43,8 (37,2-50,4)	0,621
Телесная боль	42,1 (36,5-47,7)	40,6 (35,0-46,2)	0,584
Общее здоровье	48,7 (43,1-54,3)	47,2 (41,6-52,8)	0,598
Биомеханические показатели			
Угол тыльного сгибания, °	35,1 (30,7-39,5)	36,7 (31,7-41,7)	0,383
Угол плантарного сгибания, °	20,6 (17,8-23,4)	18,2 (15,1-21,3)	0,041*
Ширина суставной щели, мм	1,6 (1,0-2,2)	1,8 (1,2-2,4)	0,294

*Примечание: данные представлены в формате Медиана (Q1-Q3); $p < 0,05$

Статистический анализ выявил достоверные различия между группами по шкале AOFAS ($p = 0,043$) и углу плантарного сгибания ($p = 0,041$). Однако абсолютные значения этих показателей в обеих группах соответствовали выраженным функциональным нарушениям: оценка по AOFAS ниже 60 баллов характеризуется как неудовлетворительная, а значения углов сгибания свидетельствовали о значительном ограничении объема движений. Таким образом, выявленные различия не имели клинической значимости. Анализ показателей качества жизни по опроснику SF-36 также не выявил статистически значимых различий между группами по физическому функционированию ($p = 0,621$), телесной боли ($p = 0,584$) и общему здоровью ($p = 0,598$), что дополнительно подтверждает сопоставимость групп в предоперационном периоде.

Не выявлено статистически значимых различий между группами по интенсивности болевого синдрома ($p = 0,571$), углу тыльного сгибания ($p = 0,383$) и ширине суставной щели ($p = 0,294$). Медиана значения ширины

суставной щели в обеих группах соответствовали ее выраженному сужению вследствие дегенеративных изменений.

В целом, проведенный анализ демографических и клинико-функциональных параметров показал сопоставимость групп, что позволяет проводить валидный сравнительный анализ послеоперационных результатов.

Резюме

В настоящем исследовании проанализированы результаты хирургического лечения 65 пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера II плюсневой кости, поражением III-V стадии по классификации Smillie. Исследуемая когорта репрезентативна по гендерному распределению (81,6% женщин, 18,4% мужчин), возрастным характеристикам (средний возраст $46,6 \pm 12,3$ года) и соответствует известной эпидемиологии заболевания. Все пациенты имели хроническую резистентную боль (ВАШ $\geq 4,0$ балла) и ограничение объёма движений менее 40° в плюснефаланговом суставе, не поддающиеся консервативной терапии.

Пациенты были распределены в две сопоставимые группы: основную группу ($n = 25$) получила комбинированное лечение (укорачивающая остеотомия с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold), контрольную группу ($n = 40$) — изолированную остеотомию. Группы были сопоставимы по возрасту ($47,0$ vs $49,0$ лет; $p = 0,41$), ИМТ ($25,5$ vs $24,9$ кг/м²; $p = 0,53$) и распределению по стадиям заболевания ($\chi^2 = 0,085$; $p = 0,958$). Предоперационные функциональные показатели свидетельствовали о выраженных нарушениях в обеих группах: AOFAS $51,3$ vs $47,3$ балла (неудовлетворительное состояние), ВАШ боли $5,1$ vs $5,3$

балла(выраженный болевой синдром), снижение качества жизни по SF-36 по всем доменам.

Для оценки эффективности лечения использовали комплекс объективных и субъективных методов: клиническое обследование, рентгенографию в прямой и боковой проекциях, измерение объёма движений гониометром, функциональную оценку по шкале AOFAS, оценку боли по ВАШ и качество жизни по опроснику SF-36. Стадирование заболевания проводили согласно классификации Smillie. Исследование предусматривало наблюдение пациентов на протяжении 12 месяцев с контрольными осмотрами на сроках 3, 6 и 12 месяцев после операции.

Выявленная клинико-функциональная сопоставимость групп обеспечивает валидность последующего сравнительного анализа эффективности методов лечения.

ГЛАВА 3. ТЕХНИКА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНИ ФРАЙБЕРГА-КЁЛЕРА

Все пациенты, включенные в исследование, проходили стандартное предоперационное лабораторно-инструментальное обследование. Оперативное лечение выполняли под спинномозговой анестезией. Пациенты находились в положении лежа на спине на ортопедическом столе. Операцию выполняли на обескровленной стопе, во всех случаях пневматический жгут накладывали на нижнюю треть голени.

3.1 Техника укорачивающей остеотомии второй плюсневой кости

Доступ ко второму плюснефаланговому суставу осуществляли с помощью линейного разреза, который начинали от проксимальной фаланги пальца и продолжали до дистальной части диафиза плюсневой кости. Идентифицировали и отводили с помощью ретрактора сухожилия

короткого и длинного разгибателей. Выполняли линейный разрез капсулы сустава по ее дорсальной поверхности. При наличии гипертрофии синовиальной оболочки сустава ее иссекали. Далее промывали сустав для удаления дебриса и нестабильных остеохондральных элементов. Остеофиты удаляли с помощью кусачек, по краю суставной поверхности, воссоздавая анатомические размеры дистального отдела плюсневой кости.

В зависимости от стадии заболевания применяли два вида укорачивающей остеотомии (Таблица 5).

Таблица 5 - Сравнительная характеристика методов остеотомии

Параметр	Остеотомия по Weil	Остеотомия по Helal
Показания	Поздние стадии (Smillie IV-V)	Ранние стадии (Smillie III)
Угол остеотомии	30°	45°
Направление	Параллельно плоскости опоры	Косая телескопическая
Преимущества	Стабильная фиксация, надежная декомпрессия	Меньшая инвазивность, сохранение кровоснабжения

Остеотомия по Weil выполнялась у большинства пациентов. Опил начинали от дорсальной части суставной поверхности головки плюсневой кости и направляли проксимально в направлении к плантарной поверхности диафиза под углом 30 градусов, опил выполняли параллельно поверхности опоры. Дистальный фрагмент плюсневой кости смещали проксимально, до уровня головки третьей плюсневой кости, тем самым осуществляя декомпрессию сустава (рисунок 12).

Остеотомия по Helal применялась при ранних стадиях заболевания (n = 7 в основной группе, n = 10 в контрольной группе). Методика представляет собой косую остеотомию шейки плюсневой кости под углом

45° с проксимальным смещением дистального фрагмента (рисунок 13). Зону остеотомии фиксировали с помощью одного стягивающего винта с диаметром резьбы 2 мм.

Оба вида остеотомии фиксировали компрессионным винтом диаметром 2,0 мм (рисунок 11).



Рисунок 11 – Остеотомия Weil головки второй плюсневой кости и фиксации винтом [собственное наблюдение]



Рисунок 12 – Схема выполнения укорачивающей остеотомии Weil [54]

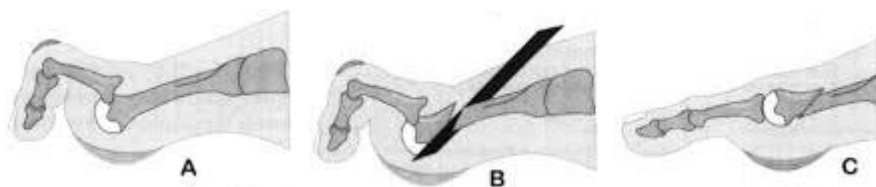


Рисунок 13 – Схема выполнения укорачивающей остеотомии Helal [60]

3.2 Техника имплантации мембраны Chondro-Scaffold

Имплантацию мембраны Chondro-Scaffold осуществляли в основной группе пациентов. Имплантацию мембраны всегда выполняли на последнем этапе операции, после резекции остеофитов и окончательной фиксации области укорачивающей остеотомии.

Идентифицировали дефект хрящевой ткани головки плюсневой кости и выполняли его дебридмент: удаляли нестабильные фрагменты хряща до тех пор, пока края дефекта не оставались окружены стабильным гиалиновым хрящом, дном дефекта во всех случаях являлась субхондральная кость (рисунок 14).

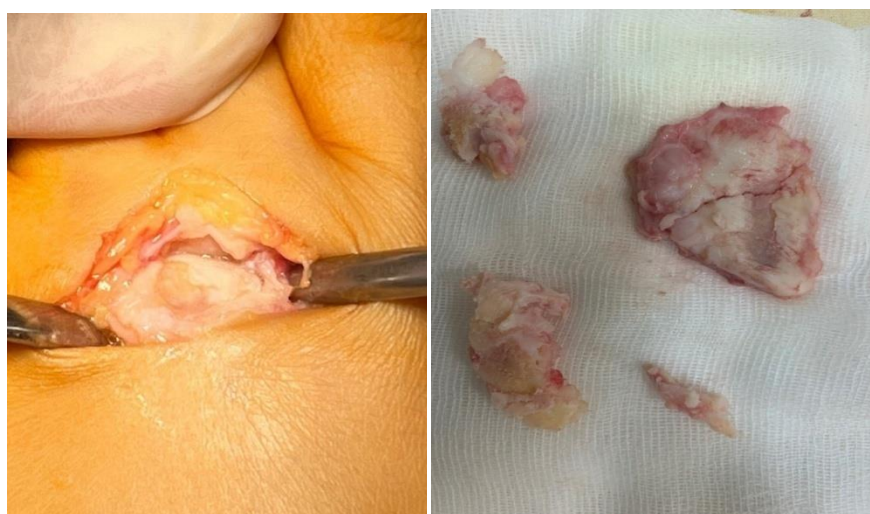


Рисунок 14 – Дебридмент костно-хрящевого дефекта головки второй плюсневой кости [собственное наблюдение]

Далее проводили микрофрактурирование субхондральной кости в области костно-хрящевого дефекта головки плюсневой кости с помощью спицы Киршнера, диаметром 1,0 мм.

Для закрытия зоны дефекта во всех случаях использовали коллагеновую мембрану Chondro-Scaffold (Cardioplant).

Мембрана имеет две поверхности: гладкую и пористую. Гладкую поверхность необходимо направлять в полость сустава. Она обеспечивает фиксацию сгустка, препятствует его выходу в полость сустава и снижает трение между суставными поверхностями во время движений. Пористую поверхность укладывали на дно дефекта. Пористый слой удерживает мезенхимальные стволовые клеток и создает среду для их дальнейшей дифференциации и аутохондрогенеза.

Перед имплантацией мембрану Chondro-Scaffold помещали в раствор 0,9% хлорида натрия на 5 минут с целью ее гидратации (рисунок 15). Далее мембрану прошивали рассасывающимися нитями с целью ее последующей фиксации к диафизу плюсневой кости.



Рисунок 15 - Мембрана помещена в раствор 0,9% хлорида натрия на 5 минут с целью ее гидратации [собственное наблюдение]

С помощью спицы просверливали костный канал. Точку входа в канал располагали на 3-5 мм проксимально от суставной поверхности плюсневой кости, канал рассверливали в дорсо-плантарном направлении, перпендикулярно диафизу.

Далее через канал с плантарной поверхности проводили нити, фиксированные к мембране, и выводили их через отверстие на дорсальной поверхности. Тем самым мембрану размещали на плантарной поверхности плюснефалангового сустава (рисунок 16).



Рисунок 16 – Размещение мембраны на плантарной поверхности сустава с помощью нитей, проведенных через костный туннель [собственное наблюдение]

Затем мембрану оборачивали вокруг головки плюсневой кости и вырезали, чтобы ее форма соответствовала области дефекта на головке, после чего мембрану окончательно фиксировали трансоссальными рассасывающимися швами к плюсневой кости (рисунок 17).



Рисунок 17 – Мембрана фиксирована к дефекту в области головки плюсневой кости [собственное наблюдение]

Убеждались в надежности фиксации мембраны путем сгибания и разгибания сустава. Затем ушивали капсулу сустава и накладывали швы на кожу.

3.3 Послеоперационная реабилитация

Профилактику инфекционных осложнений проводили во время хирургического вмешательства, применяли внутривенное введение антибиотика широкого спектра действия (цефазолин 1,0 г).

Профилактику тромбоэмболических осложнений проводили с помощью прямых антикоагулянтов (ривароксабан 10 мг) за 12 часов до операции, и в последующем на протяжении 14 дней.

У всех пациентов, участвующих в исследовании, применяли следующий протокол реабилитации:

1. С первого дня после операции разрешали ходьбу в обуви Барука с нагрузкой на конечность.

2. Ходьба в обуви Барука продолжалась в течение 6 недель после операции.
3. Швы снимали через 14 дней после оперативного вмешательства.
4. Разработку активных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с 1 суток после операции. Пациентам было рекомендовано выполнять упражнения ежедневно, 2 раза в день, по 15-30 минут, до максимально возможного восстановления объема активных движений в суставе. После упражнений рекомендовали пациентам придавать стопе возвышенное положение и прикладывать лед на зону операционного вмешательства в течение 15 минут.
5. Разработку пассивных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с 5 суток после операции. Пациентам было рекомендовано выполнять упражнения ежедневно, 2 раза в день, по 15-30 минут, до максимально возможного восстановления объема пассивных движений в суставе. После упражнений рекомендовали пациентам придавать стопе возвышенное положение и прикладывать лед на зону операционного вмешательства в течение 15 минут.
6. Через 6 недель после операции пациентам разрешали ходить в обычной обуви с использованием индивидуальных ортопедических стелек.
7. Первую контрольную рентгенограмму стопы после выписки из стационара пациенты выполняли через 3 месяца после операции.

Резюме

Хирургическое лечение пациентов выполняли под спинномозговой анестезией с применением пневматического жгута на нижнюю треть голени. Основным компонентом оперативного вмешательства была укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости, выполняемая через дорсальный линейный доступ. Выбор метода остеотомии определялся стадией заболевания: остеотомия по Weil (под углом 30°, параллельно поверхности опоры) применялась при поздних стадиях заболевания (Smillie IV-V, n = 48 пациентов) и обеспечивала надежную компрессионную фиксацию; остеотомия по Helal (под углом 45°, косая телескопическая) использовалась при ранних стадиях (Smillie III, n = 17 пациентов) и позволяла сохранить кровоснабжение. Обе остеотомии фиксировали компрессионным винтом диаметром 2,0 мм с дорсального доступа.

В основной группе (n = 25) после остеотомии выполняли микрофрактурирование субхондральной кости в области дефекта и закрытие дефекта коллагеновой мембраной Chondro-Scaffold. Мембрана имела двухслойную структуру: гладкую поверхность, направленную в полость сустава для фиксации сгустка крови и снижения трения, и пористую поверхность для удержания мезенхимальных стволовых клеток. Мембрана фиксировалась рассасывающимися трансоссальными швами через предварительно просверленный костный туннель, что обеспечивало надежную фиксацию на плантарной поверхности дефекта.

Послеоперационная реабилитация включала профилактику инфекционных осложнений (цефазолин 1,0 г внутривенно) и тромбоэмболических осложнений (ривароксабан 10 мг в течение 14 дней). Протокол реабилитации предусматривал: нагрузку на конечность с первого дня в обуви Барука на протяжении 6 недель, активную разработку

движений в суставе со 1 суток и пассивную — с 5 суток, формирование объема движений путем ежедневных упражнений 2 раза в день по 15-30 минут. Контрольное рентгенологическое обследование выполняли через 3 месяца после операции. Данный подход обеспечивал оптимальное заживление дефекта с восстановлением функции плюснефалангового сустава.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ФРАЙБЕРГА-КЁЛЛЕРА

4.1 Результаты лечения пациентов основной группы (укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold)

В данном разделе представлены результаты 25 пациентов (25 стоп) основной группы, перенесших укорачивающую остеотомию второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold по поводу болезни Фрайберга-Кёллера. Оценка проводилась до операции, а также через 3, 6 и 12 месяцев после нее.

Как показано в таблице 6, в основной группе за период наблюдения было зафиксировано достоверное улучшение всех исследуемых клинικο-функциональных показателей ($p < 0,001$ для всех параметров, критерий Фридмана).

Таблица 6 – Сравнение показателей пациентов основной группы между контрольными временными промежутками (25 пациентов, 25 стоп)

Параметр	До операции	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев	p
АOFAS, баллы	51,3 (45,7-56,9)	78,8 (76,2-81,4)	86,3 (83,2-89,4)	88,2 (84,8-91,6)	$< 0,001$
ВАШ боли, баллы	5,2 (4,3-6,1)	2,3 (1,8-2,8)	1,6 (1,1-2,1)	1,0 (0,7-1,3)	$< 0,001$
Величина угла	35,1 (30,7-39,5)	52,9 (48,6-57,2)	54,3 (50,4-58,2)	55,9 (52,3-59,5)	$< 0,001$

тыльного сгибания, градусы					
Величина угла плантарного сгибания, градусы	20,6 (17,8-23,4)	29,8 (27,4-32,2)	30,2 (27,3-33,1)	31,5 (28,6-34,4)	< 0,001

*Примечание: Данные представлены в виде медианы (95% доверительный интервал). * $p < 0,05$ – выявлены достоверные различия между группами*

4.1.1 Динамика клинико-функциональных показателей

Шкала AOFAS. Наблюдалась значительная положительная динамика по шкале AOFAS. Наиболее выраженный прирост баллов произошел в первые 3 месяца после операции – с 51,3 до 78,8 балла. К 6 месяцам оценка увеличилась до 86,3 балла, а к 12 месяцам достигла 88,2 балла. Статистический анализ с поправкой на множественные сравнения показал, что разница между показателями в 6 и 12 месяцев была недостоверной ($p > 0,05$), что свидетельствует о стабилизации отличного функционального результата, достигнутого к полугоду.

Интенсивность болевого синдрома (ВАШ). Отмечалось достоверное снижение интенсивности болевого синдрома на всех этапах наблюдения. Исходный показатель 5,2 балла к 3 месяцам снизился до 2,3 балла, что соответствует слабой боли. К 6 месяцам боль уменьшилась до 1,6 балла, а к 12 месяцам – до 1,0 балла, что можно интерпретировать как минимальные остаточные болевые ощущения.

Объем движений в плюснефаланговом суставе. Объем как тыльного, так и подошвенного сгибания достоверно увеличился после операции.

Наибольший прирост был достигнут в первые 3 месяца: тыльное сгибание увеличилось с $35,1^\circ$ до $52,9^\circ$, а подошвенное – с $20,6^\circ$ до $29,8^\circ$. В последующие периоды наблюдения (6 и 12 месяцев) дальнейшее увеличение амплитуды движений было незначительным и статистически недостоверным ($p > 0,05$), что указывает на полное восстановление объема движений уже к 3-му месяцу реабилитации.

4.1.2 Отдаленные результаты и оценка пациентами

При оценке через 12 месяцев после операции 23 пациента (92%) не испытывали проблем с ношением стандартной обуви, в то время как 2 пациентам (8%) требовалось использование корректирующих стелек. Ни одному пациенту не была показана индивидуальная ортопедическая обувь. Что касается физической активности, 19 пациентов (76%) не отмечали никаких ограничений, тогда как 6 пациентов (24%) испытывали некоторые ограничения при занятиях спортом. Выраженных ограничений в повседневной активности зафиксировано не было. Через 12 месяцев после операции рентгенологически зафиксировано достоверное увеличение ширины суставной щели: с 1,6 мм в предоперационном периоде до 3,5 мм ($p < 0,001$, критерий Уилкоксона).

Проведенный анализ демонстрирует, что применение комбинированной методики укорачивающей остеотомии второй плюсневой кости с микрофрактурированием и имплантацией Chondro-Scaffold при болезни Фрайберга-Кёлера позволяет достичь быстрого и стойкого клинично-функционального улучшения. Основной прирост всех показателей происходит в первые 3-6 месяцев после операции. К 6 месяцам формируется отличный функциональный результат (AOFAS > 85 баллов) с минимальным болевым синдромом и полным восстановлением объема движений, который достоверно не изменяется в течение последующего года. Рентгенологически подтверждено увеличение

ширины суставной щели, что может свидетельствовать о восстановлении структур сустава.

4.2 Сравнительный анализ результатов лечения двух групп пациентов

4.2.1 Сравнительный анализ динамика показателей шкалы AOFAS в обеих группах.

На рисунке 20 приведена динамика показателей по шкале AOFAS двух групп исследования на протяжении всего периода наблюдения.

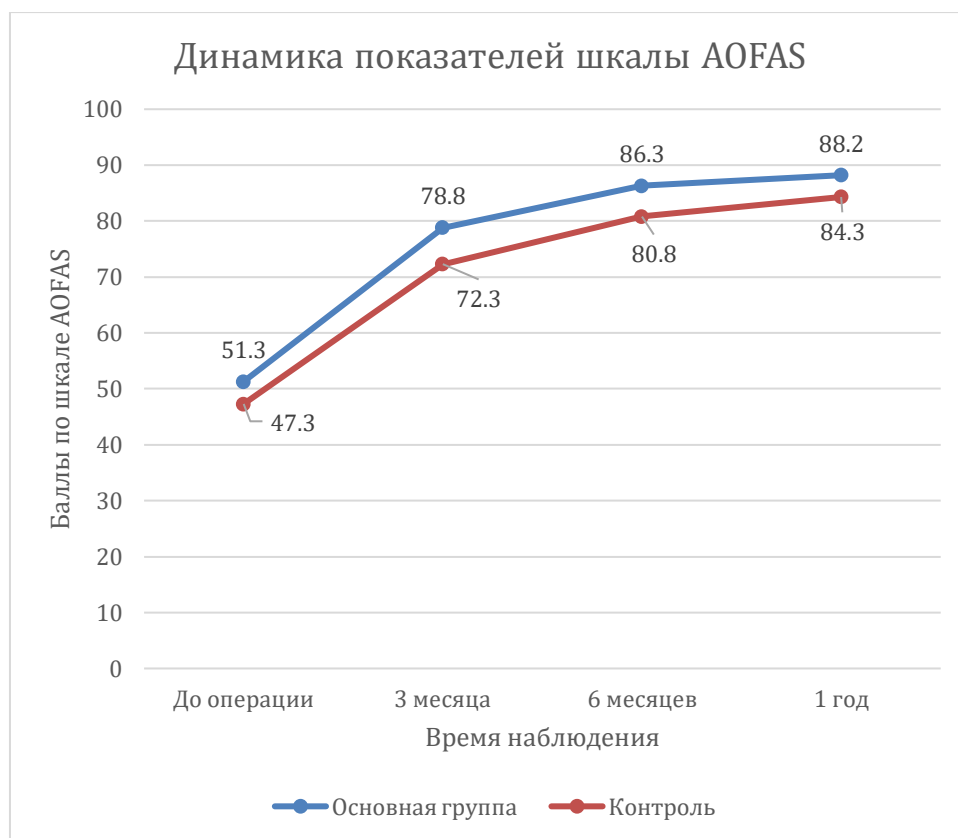


Рисунок 20 - Динамика показателей по шкале AOFAS двух групп исследования

Сравнительный анализ функциональных исходов между группами выявил статистически значимые различия в динамике восстановления.

Через 3 и 6 месяцев после операции оценка по шкале AOFAS в основной группе 78,8 (76,2–81,4) и 86,3 (84,8–91,6) балла - была достоверно выше, чем в контрольной группе 72,3 (70,1–78,3) и 80,8 (76,1–81,5) балла ($p = 0,002$ и $p = 0,001$, соответственно), что свидетельствует о более быстром функциональном восстановлении при использовании комбинированной методики.

К 12 месяцам наблюдения различия между группами нивелировались. Показатель AOFAS в основной группе достиг 88,2 (84,8–91,6) балла против 84,3 (78,1–90,5) балла в контрольной группе, и разница между ними не достигла уровня статистической значимости ($p = 0,057$).

4.2.2 Сравнение динамики показателей ВАШ в двух группах

Анализ интенсивности болевого синдрома выявил статистически значимые различия между группами на всех сроках наблюдения. Как показано на рисунке 21, пациенты основной группы демонстрировали достоверно более низкие значения по ВАШ по сравнению с контрольной группой в каждый из послеоперационных периодов.

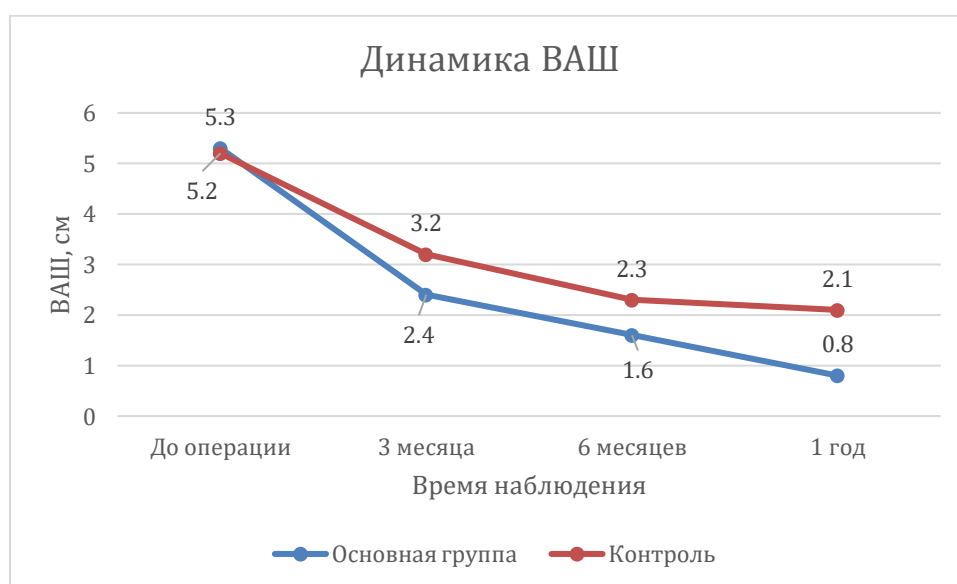


Рисунок 21 - Динамика показателей по ВАШ боли двух групп
исследования

Через 3 месяца после операции медиана интенсивности боли в основной группе составила 2,3 балла против 3,2 баллов в контрольной группе ($p = 0,005$). К 6 месяцам разница сохранялась: 1,6 балла против 2,3 баллов соответственно ($p = 0,033$). Наиболее выраженные различия были зафиксированы через 12 месяцев, когда показатель основной группы снизился до 1,0 балла, в то время как в контрольной группе он оставался на уровне 2,1 балла ($p < 0,001$).

Полученные данные позволяют заключить, что комбинированная методика с использованием укорачивающей остеотомии и имплантации мембраны Chondro-Scaffold обеспечивает статистически значимо более выраженное снижение болевого синдрома на всех этапах послеоперационного наблюдения по сравнению с контрольной методикой.

Мы полагаем, что данный эффект может быть объяснен тем, что мембрана Chondro-Scaffold на ранних этапах выполняет роль биологического вкладыша, снижая трение между дегенеративно измененными суставными поверхностями, что способствует более быстрой и выраженной регрессии болевого синдрома.

4.2.3 Сравнительный анализ динамики величины угла дорсифлексии двух групп исследования

Результаты сравнения величины угла тыльного сгибания между группами в различные сроки наблюдения представлены на рисунке 22.

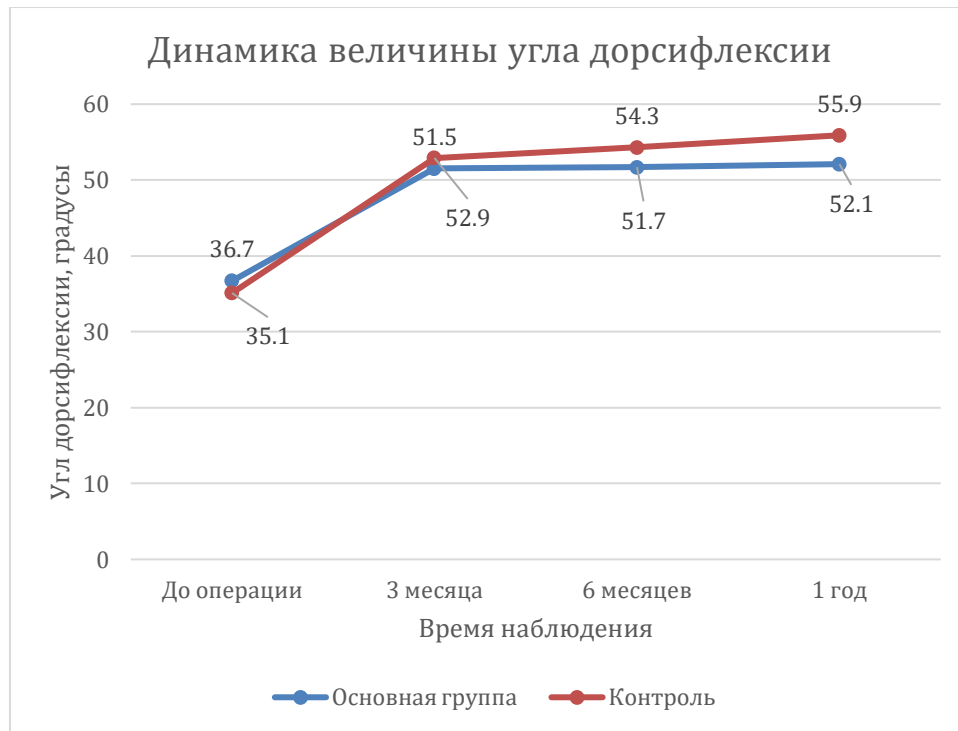


Рисунок 22 - Динамика величины угла дорсифлексии двух групп исследования

На основании полученных результатов статистически значимых различий в величине угла тыльного сгибания между группами на сроках 3 и 6 месяцев после операции выявлено не было ($p = 0,330$ и $p = 0,093$ соответственно). Однако к 12 месяцам наблюдения в основной группе было зарегистрировано достоверно большее значение угла тыльного сгибания – $55,9^\circ$ ($52,3$ – $59,5^\circ$) по сравнению с $52,1^\circ$ ($47,0$ – $57,2^\circ$) в контрольной группе ($p = 0,033$).

Несмотря на статистическую значимость данного различия, средние показатели в обеих группах соответствовали отличному функциональному результату и находились в пределах нормальных значений объема движений в плюснефаланговом суставе. В связи с этим выявленное различие, хотя и является статистически значимым, не представляется клинически значимым.

4.2.4 Сравнительный анализ динамики величины угла плантарной флексии двух групп исследования

Результаты сравнительного анализа объема подошвенного сгибания в послеоперационном периоде представлены на рисунке 23. Как и в случае с тыльным сгибанием, статистически значимых различий между группами на сроках 3 и 6 месяцев выявлено не было ($p = 0,141$ и $p = 0,228$, соответственно). Однако через 12 месяцев наблюдения в основной группе было зафиксировано достоверно большее значение угла подошвенного сгибания – $31,5^\circ$ ($28,6\text{--}34,4^\circ$) против $28,7^\circ$ ($25,1\text{--}32,3^\circ$) в контрольной группе ($p = 0,035$).

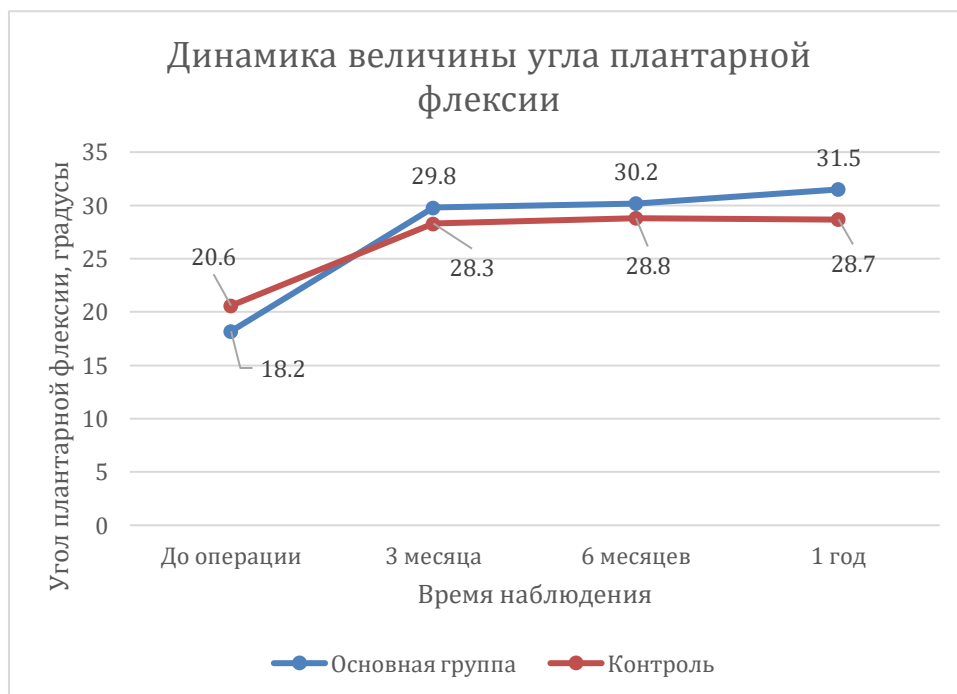


Рисунок 23 - Динамика величины угла плантарной флексии двух групп исследования

Несмотря на статистическую значимость, разница в $2,8^\circ$ через 12 месяцев не представляется клинически значимой, поскольку значения в обеих группах соответствовали нормальному объему движений и

оценивались как отличный функциональный результат (рисунок 23). Таким образом, применение мембраны Chondro-Scaffold не приводило к тугоподвижности сустава и позволяло достичь полноценного восстановления амплитуды движений.

Анализ рентгенологических данных через 12 месяцев после операции не выявил достоверных различий в ширине суставной щели между группами. В основной группе данный показатель составил 3,5 (3,1–3,9) мм, в контрольной – 3,5 (2,9–4,1) мм ($p = 0,972$) обеих группах было получено восстановление объема движений в суставе, соответствующее нормальным значениям. Имплантация мембраны Chondro-Scaffold не приводила к тугоподвижности сустава или ограничению объема движений в нем.

4.2.5 Сравнительный анализ динамики показателей качества жизни по шкале SF-36

Одной из ключевых задач исследования являлась комплексная оценка влияния различных хирургических методик на качество жизни пациентов в отдаленном послеоперационном периоде. Для этого проводился сравнительный анализ динамики показателей опросника SF-36 в основной и контрольной группах на трех этапах: до операции, через 3 месяца и через 1 год после хирургического вмешательства (Таблица 7).

Таблица 7 - Динамика показателей качества жизни по опроснику SF-36 в основной и контрольной группах до операции и через 1 год после операции

Шкала SF-36	Группа	До операции	После операции (3 месяцев)	Через 1 год после операции	p*
Физическое функционирование	Основная (n = 25)	45,3 (38,7-51,9)	68,5 (64,2-72,8)	75,3 (71,2-79,4)	0,043

	Контрольная (n = 40)	43,8 (37,2- 50,4)	65,1 (60,4- 69,8)	70,3 (65,2- 75,4)	
Телесная боль	Основная (n = 25)	42,1 (36,5- 47,7)	66,2 (61,5- 70,9)	76,1 (71,2- 81,0)	0,041
	Контрольная (n = 40)	40,6 (35,0- 46,2)	62,8 (57,9- 67,7)	70,1 (65,2- 75,0)	
Общее здоровье	Основная (n = 25)	48,7 (43,1- 54,3)	67,9 (63,3- 72,5)	77,7 (73,2- 82,2)	0,038
	Контрольная (n = 40)	47,2 (41,6- 52,8)	65,3 (60,5- 70,1)	72,7 (67,2- 78,2)	

Примечания: М (95% ДИ) – среднее значение и 95% доверительный интервал. р – уровень статистической значимости различий между основной и контрольной группой через 1 год после операции. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия ($p < 0,05$). Данные представлены в баллах. Во всех шкалах SF-36 более высокий показатель отражает лучшее качество жизни.

Как демонстрируют данные таблицы, в раннем послеоперационном периоде (3 месяца) в обеих группах наблюдалась выраженная положительная динамика по всем изучаемым параметрам. Это свидетельствует об эффективности укорачивающей остеотомии как метода, позволяющего быстро купировать болевой синдром и улучшить физические возможности пациентов за счет декомпрессии пораженного сустава. При этом в основной группе уже на этом этапе отмечалась тенденция к более высоким темпам восстановления.

Ключевые различия между группами проявились при оценке отдаленных результатов через 12 месяцев. Статистический анализ выявил достоверно лучшие показатели качества жизни у пациентов основной группы по всем оцениваемым доменам опросника SF-36:

По шкале «Физическое функционирование» результат в основной группе составил 75,3 балла против 70,3 балла в контрольной ($p = 0,043$), что отражает более высокий уровень повседневной и физической активности.

По шкале «Телесная боль» пациенты основной группы продемонстрировали значительно лучший результат (76,1 балла против 70,1 балла; $p = 0,041$), указывая на менее выраженный болевой синдром.

По шкале «Общее здоровье» также зафиксировано статистически значимое преимущество комбинированной методики (77,7 балла против 72,7 балла; $p = 0,038$), что подчеркивает более оптимистичную субъективную оценку пациентами своего состояния в целом.

Полученные данные позволяют заключить, что комбинированная методика, включающая укорачивающую остеотомию в сочетании с имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold, обеспечивает не только успешное функциональное восстановление, но и статистически значимо более высокое качество жизни пациентов в отдаленном периоде по сравнению с изолированной остеотомией. Это преимущество, по-видимому, обусловлено стимуляцией аутохондрогенеза и улучшением биомеханических свойств сустава, что приводит к лучшему купированию боли и повышению уровня физического и психологического комфорта.

4.2.6 Сравнительный анализ переносимости обуви

Сравнительный анализ переносимости различной обуви через 12 месяцев после операции показал, что в основной группе доля пациентов, не испытывающих проблем со стандартной обувью, была выше, чем в контрольной (92% против 70%, соответственно), однако это различие не достигло уровня статистической значимости ($p = 0,068$) (Таблица 8).

Таблица 8 – Переносимость обуви пациентами основной и контрольной групп через 12 месяцев после операции

Параметр	Основная группа	Контрольная группа	Всего
----------	-----------------	--------------------	-------

	(n = 25)	(n = 40)	
Ношение обычной обуви	23 (92%)	28 (70%)	51
Необходимость корректирующих стелек	2 (8%)	10 (25%)	12
Необходимость индивидуальной ортопедической обуви	0	2 (5%)	2

Примечание: $\chi^2 = 5,385$; $p = 0,068$.

Следует отметить, что в основной группе ни одному пациенту не потребовалась индивидуальная ортопедическая обувь, в то время как в контрольной группе такая необходимость была у 2 (5%) пациентов.

4.2.7 Сравнительный анализ ограничение физической активности

Что касается ограничений физической активности, то в основной группе не было зафиксировано ни одного случая ограничений в повседневной жизни или выраженного ограничения активности. В контрольной группе такие ограничения отмечались у 5 (12,5%) пациентов. Несмотря на эту тенденцию, статистически значимых различий в распределении пациентов по категориям физической активности между группами выявлено не было ($p = 0,186$) (Таблица 9).

Таблица 9 – Ограничения физической активности у пациентов основной и контрольной групп через 12 месяцев после операции

Уровень ограничений	Основная группа (n = 25)	Контрольная группа (n = 40)	Всего
Нет ограничений	19 (76%)	26 (65%)	45
Ограничение при занятиях	6 (24%)	9 (22,5%)	15

спортом			
Ограничения при ежедневной активности	0	3 (7,5%)	3
Выраженное ограничение физической активности	0	2 (5%)	2

Примечание: $\chi^2 = 4,815$; $p = 0,186$.

4.3 Осложнения, выявленные в основной и контрольной группах исследования

4.3.1 Общая частота осложнений

Общая частота послеоперационных осложнений достоверно не различалась между группами: в основной группе осложнения зафиксированы у 3 (12%) пациентов, в контрольной – у 6 (15%) пациентов ($\chi^2 = 2,187$, $p = 0,579$) (Таблица 10).

Таблица 10 – Общая частота осложнений в сравниваемых группах

Параметр	Основная группа (n = 25)	Контрольная группа (n = 40)
Отсутствие осложнений	22 (88%)	34 (85%)
Наличие осложнений	3 (12%)	6 (15%)

4.3.2 Характер и структура осложнений

Несмотря на отсутствие статистически значимых различий в общей частоте, структура и клиническая значимость осложнений существенно различались.

В основной группе были зарегистрированы следующие осложнения: перегрузочная метатарзалгия – 2 (8%) случая. Оба случая были успешно купированы консервативно с помощью корригирующих стелек в течение 5-8 недель. Серома/отек мягких тканей в области послеоперационной раны – 1 (4%) случай. Осложнение протекало без признаков воспаления и было расценено как индивидуальная реакция на компоненты коллагеновой мембраны. Симптомы купированы консервативной терапией.



Рисунок 30 - Внешний вид стопы в раннем послеоперационном периоде у пациента основной группы: серома мягких тканей в области второго плюснефалангового сустава, серозное отделяемое из послеоперационной раны [собственное наблюдение]

В контрольной группе зафиксированы более серьезные осложнения: перегрузочная метатарзалгия – 2 (5%) случая, также купированные консервативно; преходящее снижение кожной чувствительности – 1

(2,5%) случай, с полным восстановлением в течение 3 месяцев; прогрессирование дегенеративных изменений (артроза) в оперированном суставе – 3 (7,5%) случая. Данное осложнение, являясь прямым отражением неудовлетворительного отдаленного результата, потребовало повторного оперативного вмешательства у 2 пациентов.

Качественный анализ осложнений позволил выявить клинически важные различия между группами:

1. **Прогрессирование артроза.** В контрольной группе у 3 (7,5%) пациентов отмечено рентгенологическое и клиническое прогрессирование дегенеративных изменений в плюснефаланговом суставе, что в двух случаях потребовало ревизионного хирургического вмешательства. В основной группе ни в одном случае не было зафиксировано прогрессирования артроза или необходимости в повторных операциях в течение 12-месячного периода наблюдения.

2. **Специфическое осложнение.** В основной группе у 1 (4%) пациента наблюдалась локальная реакция (серома) в области имплантации мембраны Chondro-Scaffold, что можно рассматривать как специфическое, но купируемое консервативно осложнение методики.

Таким образом, применение комбинированной методики с имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold, по данным нашего исследования, позволило предотвратить прогрессирование дегенеративных изменений в суставе и избежать ревизионных оперативных вмешательств в отдаленном послеоперационном периоде (12 месяцев). Несмотря на возможность развития преходящих местных реакций, общий профиль осложнений в основной группе можно считать

более благоприятным за счет отсутствия тяжелых, прогностически неблагоприятных исходов, связанных с прогрессированием основного заболевания.

Резюме

В настоящей главе представлены данные о клинико-функциональных исходах и качестве жизни пациентов, перенесших хирургическое лечение болезни Фрайберга-Кёлера, с акцентом на сравнительный анализ основной группы с применением укорачивающей остеотомии второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold, и контрольной группы с изолированной остеотомией.

Результаты основной группы продемонстрировали значительное улучшение всех ключевых показателей в течение 12 месяцев после операции: баллы AOFAS увеличились с медианы 51,3 до 88,2, интенсивность боли по ВАШ снизилась с 5,2 до 1,0 балла, а угол тыльного и плантарного сгибания восстановился до нормальных уровней (статистически значимые изменения по всем параметрам, $p < 0,001$). Отдаленные результаты показали высокую переносимость стандартной обуви, минимальные ограничения физической активности и достоверное увеличение ширины суставной щели, что свидетельствует о долговременном структурном восстановлении сустава.

Сравнительный анализ выявил преимущества комбинированной методики: основная группа показала более быстрое и выраженное восстановление функции, достоверно более низкий болевой синдром на всех этапах наблюдения и лучшее качество жизни по шкале SF-36 через 12 месяцев ($p < 0,05$ по всем основным доменам). Показатели объема движений не различались клинически значимо, что подтверждает восстановление нормальной подвижности без тугоподвижности. По

частоте осложнений между группами статистически значимых различий не выявлено, однако в контрольной группе имелись случаи прогрессирования артроза, требовавшие ревизионных операций, чего не наблюдалось в основной группе. Основная группа показала благоприятный профиль безопасности с единичным купируемым локальным осложнением, связанным с имплантацией мембраны.

Таким образом, применение комбинированной техники укорачивающей остеотомии с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold обеспечивает устойчивое улучшение клинико-функциональных показателей, значительное снижение боли и повышение качества жизни пациентов, а также способствует предотвращению прогрессирования дегенеративных изменений и снижению риска повторных операций по сравнению с изолированной остеотомией.

Этот подход рекомендуется считать предпочтительным методом хирургического лечения заболевания для повышения эффективности и безопасности терапии.

4.4 КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

4.4.1 Клинический пример № 1

Пациентка С., 52 года. Поступила в отделение ортопедии с диагнозом «Болезнь Кёлера 2 плюсневой кости правой стопы 4 степени» (рисунок 24).



Рисунок 24 – Рентгенография стопы пациентки С, выполненные под нагрузкой [собственное наблюдение]

Пациентка предъявляла жалобы на боли в области головки 2 плюсневой кости при ходьбе. Травму стопы в анамнезе отрицает.

Клиническая картина: боли при пальпации в проекции головки II плюсневой кости. Объем активной дорсифлексии - 37°, плантарной флексии – 23°. Нейроциркуляторных нарушений в правой стопе выявлено не было. Болевой синдром по шкале ВАШ до операции составил 6,1 балла. Предоперационная оценка функции стопы по шкале AOFAS составила 62 балла.

Пациентке выполнена остеотомия второй плюсневой кости Weil с имплантацией мембраны Chondro-Scaffold (рисунок 25, 26).



Рисунок 25 – Рентгенография стопы после остеотомии второй плюсневой кости Weil с имплантацией мембраны Chondro-Scaffold [собственное наблюдение]

Пациентка соблюдала стандартный протокол реабилитации. Через 12 месяцев после операции оценка по AOFAS - 93 балла, интенсивность боли по шкале ВАШ 0,5 балла, объем активной дорсифлексии - 61°, плантарной флексии – 32°. Результаты оценены как отличные.



Рисунок 26 – Рентгенография стопы через год после остеотомии второй плюсневой кости Weil с имплантацией мембраны Chondro-Scaffold [собственное наблюдение]

4.4.2 Клинический пример № 2

Пациентка В., 34 года. Поступила в отделение ортопедии с диагнозом «Болезнь Кёлера 2 плюсневой кости левой стопы 3 степени» (рисунок 27).



Рисунок 27 – Рентгенография стопы пациентки В., выполненные под нагрузкой. Вторая плюсневая кость имеет избыточную длину, в области второго плюснефалангового сустава изменения, характерные для болезни Фрайберга-Кёлера [собственное наблюдение]

Пациентка предъявляла жалобы на боли в области головки 2 плюсневой кости при ходьбе. Травму стопы в анамнезе отрицает.

Клиническая картина: боли при пальпации в проекции головки II плюсневой кости. Объем активной дорсифлексии - 42°, плантарной

флексии – 25° . Нейроциркуляторных нарушений в левой стопе выявлено не было. Болевой синдром по шкале ВАШ до операции составил 5,7 балла. Предоперационная оценка функции стопы по шкале AOFAS составила 68 баллов.

Пациентке выполнена остеотомия Helal второй плюсневой кости с имплантации мембраны Chondro-Scaffold (рисунок 28, 29).



Рисунок 28 – Рентгенография стопы после остеотомии Helal второй плюсневой кости с имплантации мембраны Chondro-Scaffold [собственное наблюдение]

Пациентка соблюдала стандартный протокол реабилитации. Через 12 месяцев после операции оценка по AOFAS - 95 баллов, интенсивность боли по шкале ВАШ 0,9 балла, объем активной дорсифлексии - 57° , плантарной флексии – 34° . Результаты оценены как отличные.



Рисунок 29 – Рентгенография стопы через год после остеотомии
Нелавторой плюсневой кости с имплантации мембраны Chondro-Scaffold
[собственное наблюдение]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Болезнь Фрайберга-Кёлера относится к группе остеохондропатий и поражает головки плюсневых костей. Впервые заболевание было описано в 1914 году доктором А. Н. Freiberg [49]. Этиология заболевания многофакторна: в его развитии участвуют сочетание повторяющейся микротравматизации переднего отдела стопы, нарушений биомеханики, а также недостаточности артериального кровоснабжения эпифиза, приводящей к асептическому некрозу и последующим дегенеративным изменениям суставных структур. В качестве дополнительных факторов риска рассматривают ношение неудобной обуви и высоких каблуков, что объясняет более высокую распространённость болезни среди женщин [60, 86].

Консервативное лечение на ранних стадиях заболевания играет важную роль в управлении симптомами и замедлении прогрессирования деформации головки плюсневой кости. Основные методы включают использование обезболивающих средств, изменение физической активности, иммобилизацию сустава, корректировку обуви и применение инъекций глюкокортикостероидов или регенеративных препаратов. Хотя такое лечение не исключает развитие болезни, оно позволяет добиться улучшения состояния у примерно 60% пациентов на ранних этапах. Исследования показывают, что большинство пациентов с 1 и 2 стадией по классификации Фрайберга-Кёлера отвечают на терапию и достигают долговременной ремиссии симптомов. Однако при поздних стадиях болезни Фрайберга-Кёлера показано хирургическое лечение.

В современной ортопедической практике широко описаны хирургические вмешательства при болезни Фрайберга–Кёлера, которые делятся на две основные группы: суставосберегающие операции и резекционные вмешательства, предусматривающие удаление суставных поверхностей. Методики, ориентированные на сохранение сустава, направлены на поддержание его анатомической структуры, декомпрессию головки плюсневой кости и стимуляцию репаративных процессов. В отличие от них, резекционные операции призваны устранить болевой синдром посредством удаления поврежденных суставных элементов. Анализ современных данных показывает, что полностью устранить боль и вернуть пациенту прежний уровень активности удастся примерно в 70% случаев при резекциях, тогда как при органосохраняющих операциях этот показатель достигает около 90%. Это подчеркивает преимущество сохранения исходных структур в выборе тактики лечения [62, 68, 74, 77]. В целом, мета-анализы и проспективные исследования свидетельствуют о том, что операции с резекцией суставных поверхностей в долгосрочной перспективе менее эффективны по сравнению с суставосберегающими методами.

Наиболее распространённым и широко применяемым методом хирургического лечения болезни Фрайберга–Кёлера является дорсальная клиновидная остеотомия плюсневой кости и её модификации, адаптируемые к конкретной клинической ситуации. Эти вмешательства позволяют скорректировать биомеханику стопы, перераспределить нагрузку на более сохраненные участки и снизить давление на зону поражения, что создаёт благоприятные условия для репаративных процессов в суставе [62, 71].

Усовершенствование суставосберегающих операций за счёт интеграции современных биоматериалов для замещения и регенерации хрящевой ткани является одним из наиболее перспективных и активно

развивающихся направлений ортопедической хирургии и тканевой инженерии [81, 3, 95]. Использование биodeградируемых матриц, клеточных технологий и стимулирующих факторов открывает дополнительные возможности для улучшения клинических исходов, повышения качества жизни пациентов и потенциального снижения потребности в ревизионных вмешательствах, что в перспективе может способствовать формированию новых стандартов лечения остеохондропатий.

Аутохондрогенез на коллагеновой мембране это новая техника восстановления дефектов хрящевой ткани. В исследованиях продемонстрированы хорошие результаты метода при замещении дефектов коленного, голеностопного и первого плюснефалангового суставов с использованием мембраны Chondro-Gide (Geistlich Biomaterials, Wolhausen, Switzerland) [3, 15, 95]. В России была разработана мембрана Chondro-Scaffold (Cardioplant) на основе коллагена I/III типа, обладающая аналогичными свойствами. Исследований, посвященных применению этой мембраны в хирургическом лечении болезни Фрайберга-Кёлера, до настоящего момента не проводилось.

С учётом обозначенного пробела в литературе и необходимости его восполнения эмпирическими данными нами было инициировано, спланировано и проведено проспективное клиническое исследование, направленное на оценку клинической эффективности применения коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold в сочетании с укорачивающей остеотомией у пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера. Исследование было ориентировано как на проверку гипотезы о преимуществах комбинированного подхода, так и на получение данных, необходимых для последующей оптимизации хирургических протоколов лечения данного заболевания.

В период с 2021 по 2024 года на клинической базе ГБУЗ ГКБ 31 имени академика Г.М. Савельевой», г. Москва, ГБУЗ СК СККБ г. Ставрополя и ГБУЗ СК ГКБ г. Пятигорска было выполнено хирургическое лечение 65 пациентов с диагнозом болезнь Фрайберга-Кёлера 3 стадии и выше по классификации Smillie. Пациенты были разделены на две группы. Основную группу составили 25 пациентов, которым была выполнена укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости в комбинации с микрофрактурированием костно-хрящевого дефекта на головке и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold. Контрольную группу составили 40 пациентов, которым была выполнена укорачивающая остеотомия второй плюсневой кости. Медиана возраста пациентов составила 47,0 (38,0-57,2) года. В обеих группах преобладали пациенты женского пола. Среди всех пациентов исследования было 12 мужчин (18,4%) и 53 женщины (81,6%).

Для постановки диагноза, оценки исходного состояния и последующего наблюдения всем пациентам выполняли стандартную рентгенографию стопы в прямой, боковой и косой проекциях, а также проводили подробный клинический осмотр с пальпацией, оценкой болевого синдрома, измерением объёма движений в суставе и анализом походки. Эти методы являлись основными диагностическими инструментами, позволяющими визуализировать изменения костно-суставных структур и сопоставить их с клиническими проявлениями заболевания. До операции медиана значения по шкале AOFAS составила 51,3 [45,7–56,9] балла в основной группе и 47,3 [42,6–52,0] балла в контрольной ($p = 0,043$), что расценивалось как неудовлетворительный результат. Выраженность болевого синдрома по ВАШ составила соответственно 5,1 [4,2–6,0] и 5,3 [4,4–6,2] балла ($p = 0,571$). Угол тыльного сгибания во втором плюснефаланговом суставе был 35,0 (30,7–39,5) градуса в основной группе и 36,7 (31,7–41,7) градуса в контрольной ($p = 0,383$), угол плантарного

сгибания — 20,6 (17,8–23,4) и 18,2 (15,1–21,3) градуса соответственно ($p = 0,041$). В совокупности полученные данные позволяют считать группы в целом сопоставимыми по исходным клинико-функциональным характеристикам, несмотря на статистически значимые, но клинически малозначимые различия отдельных показателей.

Оперативное лечение с использованием спинномозговой анестезии в положении лежа на спине на ортопедическом столе. Операцию выполняли на обескровленном поле, жгут накладывали на нижнюю треть голени.

Использовали следующую технику оперативного лечения. Доступ ко второму плюснефаланговому суставу осуществляли с помощью линейного разреза, который начинали от проксимальной фаланги пальца и продолжали до дистальной части диафиза плюсневой кости. Идентифицировали и отводили с помощью ретрактора сухожилия короткого и длинного разгибателей. Выполняли линейный разрез капсулы сустава по ее дорсальной поверхности. При наличии гипертрофии синовиальной оболочки сустава ее иссекали. Далее промывали сустав для удаления дебриса и нестабильных остеохондральных элементов. Остеофиты удаляли с помощью кусачек, по краю суставной поверхности, воссоздавая анатомические размеры дистального отдела плюсневой кости.

Далее выполняли стандартную укорачивающую остеотомию. Опил начинали от дорсальной части суставной поверхности головки плюсневой кости и направляли проксимально в направлении к плантарной поверхности диафиза под углом 30 градусов, опил выполняли параллельно поверхности опоры. Дистальный фрагмент плюсневой кости смещали проксимально, до уровня головки третьей плюсневой кости, тем самым осуществляя декомпрессию сустава. Зону остеотомии фиксировали с помощью одного стягивающего винта с диаметром резьбы 2 мм.

Однако, для разгрузки поражённой головки плюсневой кости при метатарзалгии и при ранних стадиях болезни Фрайберга выполнено

остеотомии Helal. Остеотомия Helal — это вид косой остеотомии плюсневой кости под углом 45 градусов с проксимальным укорочением и/или дорсальным сдвигом дистального фрагмента. Зону остеотомии фиксировали с помощью одного стягивающего винта с диаметром резьбы 2 мм.

В контрольной группе пациентов, после фиксации остеотомии, оперативное вмешательство заканчивалось ушиванием капсулы сустава и кожных покровов.

В основной группе пациентов выполняли имплантацию мембраны Chondro-Scaffold. Имплантацию мембраны всегда выполняли на последнем этапе операции, после резекции остеофитов и окончательной фиксации области остеотомии.

Идентифицировали дефект хрящевой ткани головки плюсневой кости и выполняли его дебридмент: удаляли нестабильные фрагменты хряща до тех пор, пока края дефекта не оставались окружены стабильным гиалиновым хрящом, дном дефекта во всех случаях являлась субхондральная кость. Далее проводили микрофрактурирование субхондральной кости в области костно-хрящевого дефекта головки плюсневой кости с помощью спицы Киршнера, диаметром 1,0 мм. Для закрытия зоны дефекта во всех случаях использовали коллагеновую мембрану Chondro-Scaffold (Cardioplant).

Мембрана имеет две поверхности: гладкую и пористую. Гладкую поверхность устанавливали в полость сустава; она способствовала фиксации кровяного сгустка, препятствовала его смещению в суставную полость и снижала трение между суставными поверхностями при движениях. Пористую поверхность укладывали на дно дефекта, где её структура удерживала мезенхимальные стволовые клетки и создавала оптимальные условия для их дальнейшей дифференцировки и аутохондрогенеза.

Перед имплантацией мембрану Chondro-Scaffold помещали в раствор 0,9% хлорида натрия на 5-7 минут с целью ее гидратации. Далее мембрану прошивали рассасывающимися нитями с целью ее последующей фиксации к диафизу плюсневой кости. С помощью спицы просверливали костный канал. Точку входа в канал располагали на 3-5 мм проксимально от суставной поверхности плюсневой кости, канал рассверливали в дорсо-плантарном направлении, перпендикулярно диафизу. Далее через канал с плантарной поверхности проводили нити, фиксированные к мембране, и выводили их через отверстие на дорсальной поверхности. Тем самым мембрану размещали на плантарной поверхности плюснефалангового сустава. Затем мембрану оборачивали вокруг головки плюсневой кости и вырезали, чтобы ее форма соответствовала области дефекта на головке, после чего мембрану окончательно фиксировали трансоссальными рассасывающимися швами к плюсневой кости. Затем ушивали капсулу сустава и накладывали швы на кожу. 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 активных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с 1 суток после операции; разработку пассивных движений в плюснефаланговом суставе (подошвенного и тыльного сгибания) начинали с 5 суток после операции (пациентам было рекомендовано выполнять упражнения ежедневно, 2 раза в день, по 15-30 минут, до максимально возможного восстановления объема активных движений в суставе); через 6 недель после операции пациентам разрешали ходить в обычной обуви с помощью индивидуальных ортопедических стелек; первую контрольную

рентгенограмму стопы после выписки из стационара пациенты выполняли через 3 месяца после операции.

Дальнейшее амбулаторное наблюдение, выполнение рентгенограмм стопы, заполнение опросников осуществляли по прошествии 3 месяцев, 6 месяцев и 1 года после оперативного лечения. Результат лечения оценивали в соответствии с изменениями показателей интенсивности боли по ВАШ, объема активной дорсальной и тыльной флексии, а также функциональной шкалы AOFAS.

Внедрение комбинированной методики, включающей укорачивающую остеотомию, микрофрактурирование и имплантацию отечественной коллагеновой мембраны «Chondro-Scaffold», позволило получить ряд принципиально важных результатов.

Преимущество в динамике восстановления. Комбинированная методика обеспечила статистически значимо более быстрое функциональное восстановление и купирование болевого синдрома по сравнению с изолированной остеотомией. Уже через 3 и 6 месяцев пациенты основной группы демонстрировали достоверно лучшие показатели по шкале AOFAS ($p = 0,002$ и $p = 0,001$) и достоверно меньшую интенсивность боли ($p = 0,005$ и $p = 0,033$). Этот эффект можно объяснить биомеханической и биологической ролью мембраны, которая на ранних этапах служит амортизирующим вкладышем, снижая трение в суставе, а в отдаленном периоде формирует гиалиноподобный регенерат, обеспечивая полноценное замещение дефекта.

Применение комбинированной методики позволило достичь не только улучшения функциональных показателей и снижения болевого синдрома, но и значительного повышения качества жизни пациентов по всем шкалам опросника SF-36, что подтверждает комплексный положительный эффект предлагаемого метода лечения.

Ключевое преимущество — профилактика дегенерации. Наиболее значимым результатом является отсутствие в основной группе прогрессирования дегенеративных изменений в оперированном суставе в течение 12-месячного наблюдения. В то же время, в контрольной группе, где применялась только остеотомия, рентгенологические и клинические признаки артроза были выявлены у 7,5% пациентов, а двум из них потребовалось ревизионное вмешательство. Это доказывает, что, хотя остеотомия эффективно разгружает головку плюсневой кости, она не останавливает патологический процесс в хряще. Комбинация же с аутохондрогенезом на мембране направлена на устранение основной причины боли и дисфункции — костно-хрящевого дефекта.

Безопасность и отдаленные функциональные результаты. Оба метода к году наблюдения обеспечили хорошие функциональные исходы с полным восстановлением объёма движений в суставе. Имплантация мембраны не привела к тугоподвижности сустава. Несмотря на сопоставимую общую частоту осложнений (12% vs 15%), их структура была различна: в основной группе отмечались преходящие и консервативно купируемые состояния (отек, серома), тогда как в контрольной — прогностически неблагоприятное прогрессирование артроза.

Настоящая работа является первым в России и одним из немногих в мире исследований, посвященных применению методики направленного аутохондрогенеза с использованием коллагеновой мембраны при болезни Фрайберга-Кёлера. Разработанная и запатентованная техника трансоссальной фиксации мембраны «Chondro-Scaffold» надежна и воспроизводима.

Таким образом комбинированный метод хирургического лечения болезни Фрайберга-Кёлера, включающий укорачивающую остеотомию, микрофрактурирование и имплантацию коллагеновой мембраны

«Chondro-Scaffold», является эффективной и безопасной альтернативой существующим подходам. Он не только обеспечивает быстрое функциональное восстановление и стойкое купирование болевого синдрома, но и, что наиболее важно, предотвращает прогрессирование дегенеративных изменений в суставе, минимизируя риск ревизионных операций. Таким образом, предложенная методика позволяет достичь основной цели лечения на поздних стадиях заболевания — сохранения функции сустава в отдаленном периоде.

ВЫВОДЫ

1. Общепринятым методом хирургического лечения пациентов с болезнью Фрайберга-Кёлера является группа укорачивающих остеотомий плюсневой кости. Эти вмешательства имеют такие преимущества, как снижение болевого синдрома и разгрузка поражённого плюснефалангового сустава. Однако у них есть и недостатки: неизбежное укорочение плюсневой кости, риск сохраняющегося подвывиха пальца в суставе и потенциальная угроза повреждения питающих сосудов головки поражённой плюсневой кости.
2. Показаниями к применению коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold при выполнении суставосберегающих операций при болезни Фрайберга-Кёлера являются: болезнь Фрайберга-Кёлера 3-5 стадии по классификации Smillie, не поддающийся консервативной терапии, ограничение объема движений в плюснефаланговом суставе менее 40°, возраст пациентов от 18 до 65 лет. Противопоказаниями к применению коллагеновой мембраны являются: аллергии на коллаген, аутоиммунные заболевания или длительная терапия кортикостероидными препаратами, заболевания, сопровождающиеся нарушениями свертываемости крови, инфекционные поражения мягких тканей в области стопы.
3. Проведенное исследование показало, что комбинированная методика укорачивающей остеотомии малых плюсневых костей с микрофрактурированием и имплантацией Chondro-Scaffold при болезни Фрайберга-Кёлера обеспечивает быстрый и стабильный

эффект в первые 3–6 месяцев. За этот период средний показатель AOFAS увеличился с 51,3 до 86,3 баллов (статистически значимо, $p < 0,01$), боль снизилась с 5,2 до 1,0 балла ($p < 0,001$), а объем движений восстановился до $52,9^\circ$ тыльного и $29,8^\circ$ подошвенного сгибания, что подтверждается увеличением ширины суставной щели с 1,6 мм до 3,5 мм ($p < 0,001$). В течение года результаты стабилизировались, большинство пациентов (92%) без проблем носили обувь, и полностью восстановила активность, что свидетельствует о высокой эффективности и перспективности метода.

4. Среднесрочные результаты (12 месяцев) хирургическое лечение болезни Фрайберга-Кёлера, включающее укорачивающую остеотомию малых плюсневых костей в комбинации с микрофрактурированием и имплантацией коллагеновой мембраны Chondro-Scaffold превосходят изолированную остеотомию. В основной группе ($n = 25$) AOFAS вырос с 51,3 до 88,2 балла, ВАШ снизился с 5,2 до 1,0 балла, дорсифлексия увеличилась с 35° до $55,9^\circ$, плантарная флексия — с $20,6^\circ$ до $31,5^\circ$ ($p < 0,05$ на большинстве этапов, особенно на 3 и 6 месяцах). В контрольной группе ($n = 40$) улучшения медленнее: AOFAS до 84,3 балла, ВАШ до 2,1 балла. Качество жизни по SF-36 значимо выше в основной группе ($p < 0,05$ по шкалам физического функционирования, телесной боли и общего здоровья).
5. Частота осложнений в исследуемых группах составила: 12% в основной и 15% в контрольной группе ($\chi^2 = 2,187$; $p = 0,579$). В основной группе преобладали серома — 4%, перегрузочная метатарзалгия — 8%, а в контрольной — прогрессирование артроза (7,5%) и повторные операции (7,5%), что подтверждает

преимущества имплантации коллагеновой мембраны в предотвращении прогрессирования заболевания.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Имплантацию мембраны необходимо выполнять после резекции остеофитов головки плюсневой кости и фиксации фрагментов плюсневой кости после укорачивающей остеотомии.
2. Микрофрактурирование субхондральной кости в области костно-хрящевого дефекта головки плюсневой кости надо выполнять спицей Киршнера, диаметром 1,0 мм на расстоянии 1-2 мм.
3. Пористый слой мембраны всегда должен прилегать к поверхности костно-хрящевого дефекта.
4. Активацию мембраны перед ее окончательной фиксацией необходимо проводить путем ее погружения в физиологический раствор на 5-7 минут.
5. Фиксацию мембраны необходимо выполнять трансоссально, изначально мембраной надо укрывать плантарную поверхность головки, далее с помощью швов, проведенных через канал в плюсневой кости выполнять ее фиксацию к дорсальной поверхности.
6. Прочность фиксации мембраны должна быть достаточной и не допускать ее смещения при движениях в плюснефаланговом суставе.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВАШ – визуальная аналоговая шкала боли

ИМТ – индекс массы тела

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

НЗР - метод наименьшей значимой разности

НПВС – нестероидные противовоспалительные препараты

ПФС – плюснефаланговый сустав

ЭОП – электронно-оптический преобразователь

АOFAS – American Orthopaedic Foot and Ankle Society Scale - шкала клинической оценки заболеваний стопы и голеностопного сустава Американской Ассоциации Ортопедов Стопы и Голеностопного Сустава

МОxFQ - Manchester-Oxford Foot Questionnaire

SF-36 - The 36-Item Short Form Health Survey questionnaire— опросник для оценки качества жизни.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айрапетов Г. А. Клинические и экспериментально-теоретические аспекты восстановления дефектов гиалинового хряща коленного сустава :дис. ... док. мед. наук : 14.01.15 / Г. А. Айрапетов. – Ставрополь, 2021. – 206 с.
2. Айрапетов Г. А. Замещение костно-хрящевых дефектов крупных суставов / Г. А. Айрапетов, А. А. Воротников // Инновационная медицина Кубани. – 2019. – № 2 (14). – С. 58–67.
3. Айрапетов Г. А. Регенераторные потенциалы плазмы, обогащенной тромбоцитами в лечении очаговых костно-хрящевых дефектов коленного сустава после микрофрактуринга в эксперименте / Г. А. Айрапетов, А. А. Воротников, В. А. Васюков, С. Ю. Чекрыгин // Практическая медицина. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 133–140.
4. Асратян Д. А. Хирургическое лечение деформирующего артроза первого плюснефалангового сустава :дис. ... канд. мед. наук : 14.01.15 / Д. А. Асратян. – М., 2008. – 137 с.
5. Васюков В. А. Эффективность микрофрактурирования с введением плазмы, обогащенной тромбоцитами при лечении остеохондральных дефектов в эксперименте / В. А. Васюков, А. А. Воротников, Г. А. Айрапетов, С. Ю. Чекрыгин // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 18–26.
6. Гуди С. М. Болезнь Фрайберга-Келера: клиника, диагностика, лечение (обзор литературы) / С. М. Гуди, М. Д. Лучшев, В. В. Кузнецов, Л. К. Скуратова // Гений ортопедии. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 431–441.

7. Ежов М. Ю. Особенности хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов стопы / М. Ю. Ежов // Медицинский альманах. – 2010. – № 2 (11). – С. 180–184.
8. Жанаспаев М. А. Современные методы диагностики и лечения статической деформации переднего отдела стопы. Обзор литературы / М. А. Жанаспаев, Н. А. Бокембаев, А. С. Тлемисов, Е. Н. Токтаров // Наука и здравоохранение. – 2020. – Т. 22, № 5. – С. 31–46.
9. Карданов А. А. Оперативное лечение деформаций и заболеваний костей и суставов первого луча стопы : дис. ... докт. мед. наук : 14.01.15 / А. А. Карданов. – М., 2019. – 208 с.
10. Керимов А. А. Совершенствование тактики хирургического лечения больных со статическими деформациями переднего отдела стопы : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.15 / А. А. Керимов. – М., 2020. – 134 с.
11. Котельников Г. П. Оценка результатов хирургического лечения пациентов с патологией переднего отдела стопы / Г. П. Котельников, Ю. В. Ларцев, Д. А. Распутин, А. А. Богданов // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. – С. 1.
12. Кузнецов В. В. Способ восстановления головки плюсневой кости стопы при болезни Келлера II- Фрайберга : пат. 2712005 Рос. Федерация : МПК А61В17/56 / В. В. Кузнецов, И. А. Пахомов, С. М. Гуди ; патентообладатель ФГБУ "ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна" Минздрава России. – № 2019103796 ; заявл. 08.02.2019 ; опубл. 20.01.2020, Бюл. № 3. – 12 с.
13. Лазишвили Г. Д. Экспериментальное обоснование применения коллагеновых мембран для реконструкции полнослойных дефектов гиалинового хряща / Г. Д. Лазишвили, К. А. Егиазарян, Д. В. Никишин [и др.] // Хирургическая практика. – 2020. – № 1. – С. 45–52.

14. Леонова С. Н. Новый метод коррекции деформаций малых пальцев стопы / С. Н. Леонова, И. В. Усольцева, М. А. Косарева // Actabiomedicascientifica. – 2012. – № 5-2 (81). – С. 167–178.
15. Нурмухаметов М. Р. Принципы хирургического лечения больных с остеоартритом первого плюснефалангового сустава / М. Р. Нурмухаметов // Научно-практическая ревматология. – 2018. – Т. 56, № 3. – С. 363–372.
16. Нурмухаметов М. Р. Использование хондропластики I плюснефалангового сустава по технике аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза для лечения пациентов с hallux rigidus: ближайшие результаты / М. Р. Нурмухаметов, М. А. Макаров, Е. И. Бялик [и др.] // Научно-практическая ревматология. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 97–101.
17. Петросян А. С. Хирургическое лечение послеоперационных осложнений и вторичных деформаций переднего отдела стопы : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.15 / А. С. Петросян. – М., 2013. – 201 с.
18. Привалов А. М. Опыт лечения хронического болевого синдрома переднего отдела стопы различного генеза / А. М. Привалов // Казанский медицинский журнал. – 2017. – Т. 98, № 6. – С. 1053–1058.
19. Привалов А. М. Современные возможности хирургической коррекции молоткообразной деформации пальцев стопы / А. М. Привалов // Казанский медицинский журнал. – 2017. – Т. 98, № 2. – С. 296–299.
20. Очкуренко А.А. Средне-срочные результаты лечения пациентов с костнохрящевыми дефектами таранной кости с применением костной аутопластики и АМІС-технологии. / Очкуренко А.А., Коробушкин Г.В., Ахмедов Б.Г., Чеботарев В.В., Милица И.М. // Политравма. –2023. – No 4. – С. 21–32.

21. Коробушкин Г.В. Замещение костного дефекта таранной кости аутотрансплантатом, взятым из пяточной кости, с применением АМІС-технологии: клинический случай. / Коробушкин Г.В., Ахмедов Б.Г., Чеботарев В.В., Гайдаров А.Р. // Травматология и ортопедия России. – 2023. – 29(4) – С. 125–133
22. Турчин Е. А. Отдаленные результаты применения остеотомии по L.S. Weil при хирургическом лечении метатарзалгии / Е. А. Турчин, Г. Н. Лазаренко, В. М. Пятковский // Травма. – 2019. – Т. 20, № 1. – С. 62–67.
23. Фомичев В. А. Кросс-культурная адаптация и валидация русскоязычной версии шкалы Американской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава AOFAS-AHS / В. А. Фомичев, Е. П. Сорокин, Н. С. Коновальчук, Е. А. Пашкова, А. П. Середа // Травматология и ортопедия России. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 79–86.
24. Шелкунова Ю. Г. Комплексное лечение болезни Келера II с применением высокоинтенсивного лазерного излучения в условиях distraction / Ю. Г. Шелкунова, А. Н. Котляров, Е. А. Неизвестных, Н. В. Носков // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 8. – С. 83–87.
25. Шеянова Е. Ю. Послеоперационные осложнения хирургии переднего отдела стопы и методы их коррекции / Е. Ю. Шеянова // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 42-4. – С. 60–66.
26. Abdul W. Functional outcomes of local pedicle graft interpositional arthroplasty in adults with severe Freiberg's disease / W. Abdul, B. Hickey, A. Perera // Foot Ankle Int. – 2018. – Vol. 39, No. 11. – P. 1290–1300.
27. Ajis A. Osteochondral distal metatarsal allograft reconstruction: a case series and surgical technique / A. Ajis, J.D. Seybold, M.S. Myerson // Foot Ankle Int. – 2013. – Vol. 34. – P. 1158–1167.

28. Air M. Freiberg's disease as a rare cause of limited and painful releve' in dancers / M. Air, A. Rietveld // *J Dance Med Sci.* – 2010. – Vol. 14, No. 1. – P. 32–36.
29. Al-Shahab M. A simple surgical technique for treatment of Freiberg's disease / M. Al-Shahab, W. Kandel, A. Rizk // *Foot (Edinb).* – 2013. – Vol. 23. – P. 29–33.
30. Andriolo L. Cell-Free Scaffolds in Cartilage Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Evidence / L. Andriolo, D. Reale, A. Di Martino // *Cartilage.* – 2021. – Vol. 12, No. 3. – P. 277–292.
31. Andriolo L. Matrix-assisted chondrocyte transplantation with bone grafting for knee osteochondritis dissecans: stable results at 12 years / L. Andriolo, A. Di Martino, S.A. Altamura // *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* – 2021. – Vol. 29, No. 6. – P. 1830–1840.
32. Ary K.R. Freiberg's infraction: an osteochondritis of the metatarsal head / K.R. Ary, M. Turnbo // *J Am Podiatry Assoc.* – 1979. – Vol. 69. – P. 131-132.
33. Barp E. Subchondroplasty of the foot: two case reports / E. Barp, J. Hall, E. Reese // *J Foot Ankle Surg.* – 2019. – Vol. 58. – P. 989–994.
34. Bayliss N.C. Avascular necrosis of lesser metatarsal heads following forefoot surgery / N.C. Bayliss, L. Klenerman // *Foot Ankle Int.* – 1989. – Vol. 10, No. 3. – P. 124–128.
35. Biz C. Freiberg's infraction: a modified closing wedge osteotomy for an undiagnosed case / C. Biz, A. Zornetta, I. Fantoni, A. Crimi // *Int J Surg Case Rep.* – 2017. – Vol. 38. – P. 8–12.
36. Blitz N.M. Freiberg's infraction in identical twins: a case report / N.M. Blitz, J.H. Yu // *J Foot Ankle Surg.* – 2005. – Vol. 44, No. 3. – P. 218–221.

37. Brittberg M.J. Treatment of knee cartilage lesions in 2024: From hyaluronic acid to regenerative medicine / M.J. Brittberg // *Exp Orthop.* – 2024. – Vol. 11, No. 2. – P. 201-206.
38. Campbell's operative orthopaedics / [S.T. Canale, J.H. Beaty, eds.]. – 11th ed. – Philadelphia: Mosby, 2007. – P. 1253-1255.
39. Capar B. Dorsal closing-wedge osteotomy in the treatment of Freiberg's disease / B. Capar, E. Kutluay, S. Mejde // *Acta OrthopTraumatolTurc.* – 2007. – Vol. 41, No. 2. – P. 136-139.
40. Carmont M.R. Current concepts review. Freiberg's disease / M.R. Carmont, R.J. Rees, C.M. Blundell // *Foot Ankle Int.* – 2009. – Vol. 30, No. 2. – P. 167-176.
41. Cerrato R.A. Freiberg's disease / R.A. Cerrato // *Foot Ankle Clin.* – 2011. – Vol. 16, No. 4. – P. 647–658.
42. Colombini A. Matrix-assisted autologous chondrocyte transplantation is effective at mid/long-term for knee lesions: A systematic review and meta-analysis / A. Colombini, V. Raffo, S. Gianola, G. Castellini // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2024. – Vol. 11, No. 8. – P. 347-358.
43. Desai S. Freiberg's infarction treated with metatarsal shortening osteotomy, marrow stimulation, and micronized allograft cartilage matrix: a case report / S. Desai // *Foot Ankle Spec.* – 2017. – Vol. 10, No. 3. – P. 258–262.
44. Dolce M. The use of surgical decompression as treatment for avascular necrosis of the second and third metatarsal head / M. Dolce, L. Osher, O. McEneaney // *Foot.* – 2006. – Vol. 17. – P. 162–167.
45. Edmondson M.C. Case series of 17 modified Weil's osteotomies for Freiberg's and Kohler's II AVN, with AOFAS scoring pre- and post-operatively / M.C. Edmondson, K.R. Sherry, J. Afolayan // *Foot Ankle Surg.* – 2011. – Vol. 17, No. 1. – P. 19–24.

46. El-Tayeby H.M. Freiberg's infraction: a new surgical procedure / H.M. El-Tayeby // J Foot Ankle Surg. – 1998. – Vol. 37, No. 1. – P. 23-27.
47. Erdil M. Joint debridement and metatarsal remodeling in Freiberg's infraction / M. Erdil, Y. Imren, K. Bilsel, A. Erzincanli // J Am Podiatr Med Assoc. – 2013. – Vol. 103, No. 3. – P. 185–190.
48. Feinblatt J.S. Lesser Metatarsal Metallic Hemiarthroplasty / J.S. Feinblatt, W.B. Smith // Techniques in Foot & Ankle Surgery. – 2014. – Vol. 13, No. 4. – P. 199–205.
49. Freiberg A. Infraction of the second metatarsal bone: a typical injury / A. Freiberg // Surg Gynecol Obstet. – 1914. – Vol. 19. – P. 191-193.
50. Freiberg A.A. Core decompression as a novel treatment for early Freiberg's infraction of the second metatarsal head / A.A. Freiberg, R.A. Freiberg // Orthopedics. – 1995. – Vol. 18, No. 12. – P. 1177-1178.
51. Fuss M. Characteristics of human chondrocytes, osteoblasts and fibroblasts seeded onto a type I/III collagen sponge under different culture conditions: a light, scanning and transmission electron microscopy study / M. Fuss, E.M. Ehlers, M. Russlies, J. Rohwedel, P. Behrens // Ann Anat. – 2000. – Vol. 182. – P. 303-310.
52. Gauthier G. Freiberg's infraction: a subchondral bone fatigue fracture. A new surgical treatment / G. Gauthier, R. Elbaz // Clin OrthopRelat Res. – 1979. – Vol. 142. – P. 93-95.
53. Georgiannos D. 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 / D. Georgiannos, K. Tsikopoulos, D. Kitridis, P. Givisis, I. Bisbinas // Am J Sports Med. – 2019. – Vol. 47, No. 10. – P. 2367-2373.
54. Gillespie H. Osteochondroses and apophyseal injuries of the foot in the young athletes / H. Gillespie // Curr Sports Med Rep. – 2010. – Vol. 9. – P. 265-268.

55. Glazebrook M. Preliminary experience with polyvinyl alcohol hydrogel implant for pathology of the second metatarsal head / M. Glazebrook, J. Morash, M. Alhadhoud, T.R. Daniels // *Foot Ankle Int.* – 2019. – Vol. 40, No. 11. – P. 1304-1308.
56. Guzman J.Z. Resection Arthroplasty: Current Indications and Tips / J.Z. Guzman, E. Vulcano // *Foot Ankle Clin.* – 2019. – Vol. 24, No. 4. – P. 689-693.
57. Hayashi K. A new surgical technique for treating bilateral Freiberg disease / K. Hayashi, M. Ochi, Y. Uchio, M. Takao // *Arthroscopy.* – 2002. – Vol. 18, No. 6. – P. 660-664.
58. Helal B. Freiberg's disease: a suggested pattern of management / B. Helal, P. Gibb // *Foot Ankle.* – 1987. – Vol. 8, No. 2. – P. 94-102.
59. Helal B. Telescoping osteotomy for pressure metatarsalgia / B. Helal // *J Bone Joint Surg Br.* – 1984. – Vol. 66, No. 2. – P. 213-217.
60. Helix-Giordanino M. Treatment of Freiberg's disease by Gauthier's dorsal cuneiform osteotomy: retrospective study of 30 cases / M. Helix-Giordanino, E. Randier, S. Frey // *OrthopTraumatol Surg Res.* – 2015. – Vol. 101, No. 6. – P. 221-225.
61. Hevesi M. Hip Chondral Defect Treatment Requires Cells, Signal, and Scaffold: The Chef Is In the Kitchen / M. Hevesi, J. Chahla // *Arthroscopy.* – 2022. – Vol. 38, No. 10. – P. 2827-2828.
62. Ikoma K. Extra-articular dorsal closing-wedge osteotomy to treat late-stage Freiberg disease using polyblend sutures: technical tips and clinical results / K. Ikoma, M. Maki, M. Kido [et al.] // *Int Orthop (SICOT).* – 2014. – Vol. 38, No. 7. – P. 1401-1405.
63. Irem Demir A. Comparison of 3 Cell-Free Matrix Scaffolds Used to Treat Osteochondral Lesions in a Rabbit Model / A. Irem Demir, A. Pulatkan, V. Ucan, B. Yilmaz // *Am J Sports Med.* – 2022. – Vol. 50, No. 5. – P. 1399-1408.

64. Ishimatsu T. Return to sporting activity after osteochondral autograft transplantation for Freiberg disease in young athletes / T. Ishimatsu, I. Yoshimura, K. Kanazawa, T. Hagio // Arch Orthop Trauma Surg. – 2017. – Vol. 137, No. 7. – P. 959-965.
65. Jaramillo Quiceno G.A. Satisfactory clinical outcomes with autologous matrix-induced chondrogenesis in the treatment of grade IV chondral injuries of the knee / G.A. Jaramillo Quiceno, P.A. Sarmiento Riveros, G.A. Ochoa Perea // J ISAKOS. – 2023. – Vol. 8, No. 2. – P. 86-93.
66. Katcherian D.A. Treatment of Freiberg's disease / D.A. Katcherian // Orthop Clin North Am. – 1994. – Vol. 25, No. 1. – P. 69-81.
67. Kilic A. A comparative study between two different surgical techniques in the treatment of late-stage Freiberg's disease / A. Kilic, K.S. Cepni, A. Aybar, H. Polat, C. May // Foot Ankle Surg. – 2013. – Vol. 19, No. 4. – P. 234-238.
68. Kim J. Modified Weil osteotomy for the treatment of Freiberg's disease / J. Kim, W.J. Choi, Y.J. Park [et al.] // Clin Orthop Surg. – 2012. – Vol. 4. – P. 300–306.
69. KimS.J. Comparison of osteochondral autologous transplantation and dorsiflexion closing wedge metatarsal osteotomy for late stage Freiberg disease in adults / S.J. Kim, J.H. Park, G.L. Kim // Foot Ankle Int. – 2020. – Vol. 41, No. 5. – P. 529-535.
70. Kooner S. Successful treatment of advanced Freiberg's disease with a modified Weil osteotomy, 5-year follow up: A Pilot case series with a review of the literature / S. Kooner, J.M. Lee, B. Jamal, K. David // Foot (Edinb). – 2023. – Vol. 57. – P. 101-112.
71. Lana J.F. Bone Marrow Aspirate Matrix: A Convenient Ally in Regenerative Medicine / J.F. Lana, L.F. da Fonseca, G. Azzini, G. Santos // Int J Mol Sci. – 2021. – Vol. 22, No. 5. – P. 2762.

72. Lee H.J. Operative treatment of Freiberg disease using extraarticular dorsal closing-wedge osteotomy: technical tip and clinical outcomes in 13 patients / H.J. Lee, J.W. Kim, W.K. Min // *Foot Ankle Int.* – 2013. – Vol. 34. – P. 111–116.
73. Lee H.S. Weil and dorsal closing wedge osteotomy for Freiberg's disease / H.S. Lee, Y.C. Kim, J.H. Choi [et al.] // *J Am Podiatr Med Assoc.* – 2016. – Vol. 106, No. 2. – P. 100-108.
74. Lee S.K. Treatment of Freiberg disease with intra-articular dorsal wedge osteotomy and absorbable pin fixation / S.K. Lee, M.S. Chung, G.H. Baek [et al.] // *Foot Ankle Int.* – 2007. – Vol. 28, No. 1. – P. 43-48.
75. Liao C.Y. Interpositional arthroplasty with palmaris longus tendon graft for osteonecrosis of the second metatarsal head: a case report / C.Y. Liao, A.C. Lin, C.Y. Lin [et al.] // *J Foot Ankle Surg.* – 2015. – Vol. 54, No. 2. – P. 237-242.
76. Liu Y. Mid- to Long-Term Clinical Outcomes of Cartilage Restoration of Knee Joint with Allogenic Next-Generation Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation (MACI) / Y. Liu, N. Ma, Z. Zhao // *Orthop Surg.* – 2023. – Vol. 15, No. 2. – P. 549-562.
77. Lui T.H. Arthroscopic interpositional arthroplasty for Freiberg's disease / T.H. Lui // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2007. – Vol. 15, No. 5. – P. 555-559.
78. Lui T.H. Arthroscopic interpositional arthroplasty of the second metatarsophalangeal joint / T.H. Lui // *Arthrosc Tech.* – 2016. – Vol. 5, No. 6. – P. e1333-e1338.
79. Lui T.H. Thompson and Hamilton type IV Freiberg's disease with involvement of multiple epiphyses of both feet / T.H. Lui // *BMJ Case Rep.* – 2015. – Vol. 2015. – P. bcr2015209756.

80. Maresca G. Arthroscopic treatment of bilateral Freiberg's infraction / G. Maresca, E. Adriani, F. Falez // *Arthroscopy*. – 1996. – Vol. 12, No. 1. – P. 103-108.
81. Migliorini F. Fixation of the Membrane during Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation in the Knee: A Systematic Review / F. Migliorini, R. Vaishya, A. Bell, N. Maffulli // *Life (Basel)*. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1717.
82. Miyamoto W. Late-stage Freiberg disease treated by osteochondral plug transplantation: a case series / W. Miyamoto, M. Takao, Y. Uchio [et al.] // *Foot Ankle Int*. – 2008. – Vol. 29. – P. 950–955.
83. Miyamoto W. Midterm clinical results of osteochondral autograft transplantation for advanced stage Freiberg disease / W. Miyamoto, M. Takao, S. Miki, H. Kawano // *Int Orthop (SICOT)*. – 2016. – Vol. 40, No. 5. – P. 959-964.
84. Mont M.A. Avascular necrosis of the talus treated by core decompression / M.A. Mont, L.C. Schon, M.W. Hungerford // *J Bone Joint Surg Br*. – 1996. – Vol. 78, No. 5. – P. 827-830.
85. Montgomery H.C. Common disorders of the adult foot and ankle / H.C. Montgomery, M.B. Davies // *Surgery (Oxford)*. – 2016. – Vol. 34, No. 9. – P. 475–481.
86. Mutlu T. Metatarsal head restoration versus dorsal closing-wedge osteotomy in the treatment of advanced-stage Freiberg's disease / T. Mutlu, I. Eke, M.A. Akcal // *J Orthop Surg (Hong Kong)*. – 2023. – Vol. 31, No. 2. – P. 10225536231175733.
87. Oliveira D. Freiberg disease: A rare cause of chronic foot pain / D. Oliveira, L. Costa, C. Vaz // *Reumatol Clin (Engl Ed)*. – 2023. – Vol. 19, No. 6. – P. 348-356.
88. OwZ.G.W. Does the Choice of Acellular Scaffold and Augmentation With Bone Marrow Aspirate Concentrate Affect Short-term Outcomes in

- Cartilage Repair? A Systematic Review and Meta-analysis / Z.G.W. Ow, H.L.X. Cheang, J.H. Koh // *Am J Sports Med.* – 2023. – Vol. 51, No. 6. – P. 1622-1633.
89. Ozkan Y. Interpositional arthroplasty with extensor digitorum brevis tendon in Freiberg's disease: a new surgical technique / Y. Ozkan, A. Ozturk, R. Ozdemir // *Foot Ankle Int.* – 2008. – Vol. 29, No. 5. – P. 488-492.
 90. Pastides P. Debridement and microfracture in the treatment of Freiberg disease / P. Pastides, S. El-Sallakh, C. Charalambides // *Tech Foot Ankle Surg.* – 2012. – Vol. 11, No. 3. – P. 150–154.
 91. Peras M. Does AMIC® provide improvements at least two years after surgery for knee osteochondral lesions? A multicentre retrospective study of 101 patients / M. Peras, A. Caubère, C. Choufani // *OrthopTraumatol Surg Res.* – 2024. – Vol. 110, No. 1. – P. 103737.
 92. Peras M. Results of the AMIC® method in patients operated on for an osteochondral lesion of the talar dome (OLTĐ) at a mean follow-up of 34 months. A retrospective multicenter study / M. Peras, E. Bilichtin, C. Choufani, A. Caubère // *OrthopTraumatol Surg Res.* – 2024. – Vol. 110, No. 1. – P. 103746.
 93. Pereira B.S. Long-term follow-up of dorsal wedge osteotomy for pediatric Freiberg disease / B.S. Pereira, T. Frada, D. Freitas [et al.] // *Foot Ankle Int.* – 2016. – Vol. 37, No. 1. – P. 90-95.
 94. Rajeev A. Freiberg's disease of lesser metatarsals treated with bone grafting and autologous matrix induced chondrogenesis (AMIC) membrane - a series of 10 cases / A. Rajeev, Y. William, D. Kailash // *Foot Ankle Surg.* – 2023. – Vol. 29, No. 2. – P. 136-142.
 95. Richter M. Matrix-associated stem cell transplantation (MAST) in chondral defects of foot and ankle is effective / M. Richter, S. Zech // *Foot Ankle Surg.* – 2013. – Vol. 19, No. 2. – P. 84–90.

96. Richter M. Matrix-associated stem cell transplantation (MAST) in chondral defects of the 1st metatarsophalangeal joint is safe and effective-2-year-follow-up in 20 patients / M. Richter, S. Zech, S. Andreas Meissner // *Foot Ankle Surg.* – 2017. – Vol. 23, No. 3. – P. 195–200.
97. Richter M. Autologous matrix induced chondrogenesis plus peripheral blood concentrate (AMIC+PBC) in chondral defects of the first metatarsophalangeal joint - 5-year follow-up / M. Richter, Z. Stefan, A.S. Meissner, N. Issam // *Foot and Ankle Surgery.* – 2022. – Vol. 28, No. 8. – P. 1366–1371.
98. Schade V.L. Surgical management of Freiberg's infraction: a systematic review / V.L. Schade // *Foot Ankle Spec.* – 2015. – Vol. 8, No. 6. – P. 498–519.
99. Seybold J.D. Treatment of Freiberg disease / J.D. Seybold, J.R. Zide // *Foot Ankle Clin.* – 2018. – Vol. 23, No. 1. – P. 157-169.
100. Shimosono Y. Knee-to-Talus donor-site morbidity following autologous osteochondral transplantation: a meta-analysis with best-case and worst-case analysis / Y. Shimosono, D. Seow, Y. Yasui, K. Fields, J.G. Kennedy // *Clin OrthopRelat Res.* – 2019. – Vol. 477, No. 8. – P. 1915-1931.
101. Smillie I.S. Treatment of Freiberg's infraction / I.S. Smillie // *Proc R Soc Med.* – 1967. – Vol. 60, No. 1. – P. 29-31.
102. Soldado, F. Treatment of Freiberg's disease using a reverse pedicled metatarsal bone flap: Case report / F. Soldado, F. Moreira Borim // *Microsurgery.* – 2024. – Vol. 44, No. 1. – P. 58-64.
103. Sowbhagya R. Collagen as the extracellular matrix biomaterials in the arena of medical sciences / R. Sowbhagya, H. Muktha, T.N. Ramakrishnaiah, A.S. Surendra // *Tissue Cell.* – 2024. – Vol. 90. – P. 102447.

104. Stautberg E.F. Outcome of lesser metatarsophalangeal joint interpositional arthroplasty with tendon allograft / E.F. Stautberg, S.E. Klein, J.J. McCormick // *Foot Ankle Int.* – 2020. – Vol. 41, No. 3. – P. 313-319.
105. Symeonidis P. Bioabsorbable rod fixation of metatarsal head osteotomy in the treatment of freiberg disease / P. Symeonidis, K. Terzidis, J. Christoforidis // *Tech Orthop.* – 2012. – Vol. 27, No. 1. – P. 27-29.
106. Talusan P.G. Freiberg's infraction: diagnosis and treatment / P.G. Talusan, P.J. Diaz-Collado, J.S. Reach // *Foot Ankle Spec.* – 2014. – Vol. 7, No. 1. – P. 52–56.
107. Trnka H.J. Freiberg's infraction: surgical options / H.J. Trnka, J.S. Lara // *Foot Ankle Clin.* – 2019. – Vol. 24, No. 4. – P. 669-676.
108. Tsuda E. Osteochondral autograft transplantation for advanced stage Freiberg disease in adolescent athletes: a report of 3 cases and surgical procedures / E. Tsuda, Y. Ishibashi, Y. Yamamoto, S. Maeda // *Am J Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, No. 11. – P. 2470-2475.
109. Viladot A. Joint debridement and microfracture for treatment late-stage Freiberg-Kohler's disease: long term follow-up study / A. Viladot, L. Sodano, L. Marcellini // *Foot Ankle Surg.* – 2019. – Vol. 25, No. 4. – P. 457–461.
110. Volz M. A randomized controlled trial demonstrating sustained benefit of autologous matrixinduced chondrogenesis over microfracture at five years / M. Volz, J. Schaumburger, H. Frick, J. Grifka // *Int Orthop.* – 2017. – Vol. 41, No. 4. – P. 797-804.
111. Xie X. Late-stage Freiberg's disease treated with dorsal wedge osteotomy and joint distraction arthroplasty: technique tip / X. Xie, Z. Shi, W. Gu // *Foot Ankle Int.* – 2012. – Vol. 33, No. 11. – P. 1015–1017.

112. Yoshimura I. Evidence-Based Treatment Algorithm for Freiberg Disease / I. Yoshimura, M. Takao, E. Wagner // *Cartilage*. – 2024. – Vol. 15, No. 1. – P. 58-64.
113. Gauthier G. Freiberg's infraction: a subchondral bone fatigue fracture. A new surgical treatment / G. Gauthier, R. Elbaz // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1979. – No. 142. – P. 93–95.
114. Thompson F. M. Problems of the second metatarsophalangeal joint / F. M. Thompson, W. G. Hamilton // *Orthopedics*. – 1987. – Vol. 10, No. 1. – P. 83–89.
115. Smith T. W. Treatment of Freiberg's disease: a new operative technique / T. W. Smith, D. Stanley, D. I. Rowley // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*. – 1991. – Vol. 73, No. 1. – P. 129–130.
116. Chao K. H. Surgery for symptomatic Freiberg's disease: extraarticular dorsal closing-wedge osteotomy in 13 patients followed for 2-4 years / K. H. Chao, C. H. Lee, L. C. Lin // *Acta Orthopaedica Scandinavica*. – 1999. – Vol. 70, No. 5. – P. 483–486.
117. DuVries H. L. Surgery of the foot / H. L. DuVries. – St. Louis : Mosby, 1959. – 204 p.
118. Myerson M. S. Technique tip: modification of DuVries's lesser metatarsophalangeal joint arthroplasty to improve joint mobility / M. S. Myerson, D. J. Redfern // *Foot & Ankle International*. – 2004. – Vol. 25, No. 4. – P. 278–279.

119. Cracchiolo A. III. Silicone implant arthroplasty for second metatarsophalangeal joint disorders with and without hallux valgus deformities / A. III Cracchiolo, H. B. Kitaoka, E. O. Leventen // *Foot & Ankle*. – 1988. – Vol. 9, No. 1. – P. 10–18.
120. Townshend D. N. Total ceramic arthroplasty for painful, destructive disorders of the lesser metatarsophalangeal joints / D. N. Townshend, M. E. Greiss // *The Foot*. – 2007. – Vol. 17, No. 2. – P. 73–75.
121. Ehlers E. M. Development of a biocomposite to fill out articular cartilage lesions: light, scanning and transmission electron microscopy of sheep chondrocytes cultured on a collagen I/III sponge / E. M. Ehlers, M. Fuss, J. Rohwedel, M. Russlies // *Injury*. – 1999. – Vol. 30, No. 81. – P. 513–518.