

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ИРКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ХИРУРГИИ И ТРАВМАТОЛОГИИ»

На правах рукописи



БАЛЬЖИНИМАЕВ Доржи Баирович

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ
С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)**

3.1.8 – травматология и ортопедия

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
кандидат медицинских наук
Михайлов Иван Николаевич

Иркутск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	10
1.1 Эпидемиология повреждения передней крестообразной связки	10
1.2 Диагностика повреждений передней крестообразной связки	11
1.3 Хирургическое лечение передней нестабильности коленного сустава и выбор трансплантата	15
1.4 Способы подготовки трансплантатов для пластики передней крестообразной связки	23
1.5 Основные аспекты в реабилитации пациентов после реконструкции передней крестообразной связки	26
ГЛАВА 2 СТРУКТУРА, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2.1 Общая структура исследования	29
2.2 Материал и методы экспериментального исследования.....	29
2.3 Материалы и методы клинического исследования	41
2.3.1 Материалы ретроспективного исследования	41
2.3.2 Материалы проспективного исследования.....	43
2.3.3 Методы клинического исследования	49
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	65
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ	72
4.1 Уровень болевого синдрома в области оперативного вмешательства по данным визуально-аналоговой шкалы	72
4.2 Срок отказа от средств дополнительной опоры.....	75

4.3 Измерение окружности дистальной трети бедра в сравнении с контрлатеральной стороной.....	75
4.4 Амплитуда движений коленного сустава	77
4.5 Оценка стабильности коленного сустава после оперативного вмешательства.....	78
4.6 Оценка функциональных результатов по шкале Lysholm – Tegner.....	79
4.7 Функциональные результаты состояния голеностопного сустава и стопы по шкале AOFAS.....	82
4.8 Клинический пример	83
ГЛАВА 5 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	93
ВЫВОДЫ	97
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	98
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	100

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы

С повреждениями внутрисуставных структур коленного сустава чаще встречаются люди молодого и трудоспособного возраста, в результате занятий спортом, либо профессия связана с физическими нагрузками [24]. Среди повреждений внутрисуставных структур коленного сустава, повреждения передней крестообразной связки встречаются часто и достигают 65–70 % [10, 97, 147].

Данная проблема имеет высокую социально-экономическую значимость, так как разрывы передней крестообразной связки часто приводят к посттравматической нестабильности коленного сустава, хроническим синовитам, а в дальнейшем как результат неправильной биомеханики коленного сустава приводит к остеоартриту коленного сустава различной степени тяжести. Указанные выше проблемы в конечном итоге приводят к ограничению функциональных возможностей коленного сустава и инвалидности [27, 77, 125].

В настоящее время описано достаточно большое количество методик реконструкции передней крестообразной связки, трансплантатов и способов их укрепления [13, 15, 61, 77, 85, 142].

В исследованиях встречаются всего три основных методики реконструкции ПКС. К ним относятся:

- 1) транстибиальная методика;
- 2) ретроградная методика;
- 3) антеромедиальная методика;

Первая – транстибиальная методика применяется с использованием нескольких сухожилий, так как формируется трансплантат с четырьмя пучками. Он обеспечивает оптимальную прочность для последующих манипуляций [44, 80].

Для выполнения реконструкции по двум другим методикам – антеромедиальной и ретроградной можно использовать одно сухожилие. Этого

достаточно, потому как здесь применяется особая техника формирования трансплантата. Она описана в работах J. H. Lubowitz [104].

Следует отметить, что при чрезмерном сгибании и прикладывании силы во время реабилитационного периода можно вызвать повторный разрыв или растяжение трансплантата. В клинической практике частота таких случаев варьируется от 5 до 40 % [66, 97, 118, 123].

В различных исследованиях встречаются описания факторов, которые оказывают влияние на растяжение трансплантата. Они имеют отношение и зависят от выбора шовного материала, техники прошивания. Большое значение может оказать слабость в области швов на свободных концах трансплантата.

Согласно оценкам авторов, это приводит к разрыву и растяжению в области свободного конца примерно в 90 % случаев [22, 55, 75, 78, 82, 114].

Считается, что случаи повторного разрыва трансплантата встречаются в раннем реабилитационном периоде – в течение первых трёх месяцев [23]. По мнению некоторых специалистов, это связано с низкой прочностью трансплантационного материала, недостаточным совершенством методики прошивания. Это может приводить, в том числе, к разрыву свободного конца трансплантата, который наблюдается на раннем сроке реабилитации [78, 113].

Существует множество способов восстановления утраченной передней крестообразной связки, все они обладают своими преимуществами и недостатками, у каждого способа имеются свои сторонники и свои противники. На сегодняшний день для восстановления передней крестообразной связки в большинстве случаев используются собственные ткани человека.

Значимое количество ревизионных вмешательств после восстановления передней крестообразной связки побуждает хирургов-исследователей к поиску решения проблемы.

В современной хирургической практике лечения больных с передней нестабильностью коленного сустава третьей степени основной тенденцией видится поиск способов для оптимальной реконструкции передней крестообразной связки. Необходимо подобрать трансплантат, который бы

выдерживал кинетическую нагрузку. Также необходимо снизить риск повторных разрывов. Перечисленные проблемы легли в основу данного исследования.

Цель исследования

Улучшение результатов хирургического лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки коленного сустава путём увеличения прочностных характеристик аутотрансплантата с использованием сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

Задачи исследования

1. Изучить преимущества и недостатки существующих методов реконструкции передней крестообразной связки и способов подготовки трансплантата.

2. На основании экспериментального исследования обосновать возможность применения 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы в качестве трансплантата для реконструкции передней крестообразной связки.

3. Разработать новый способ подготовки трансплантата, провести сравнительный анализ нового и известного способов подготовки трансплантата в эксперименте.

4. Провести сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки с подготовкой аутотрансплантата по новому способу с результатами реконструкции передней крестообразной связки с подготовкой аутотрансплантата по известному способу.

Научная новизна

Разработан новый способ подготовки трансплантата с использованием 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

Впервые проведено экспериментальное обоснование механической прочности на разрыв и растяжение различных вариантов трансплантатов для пластики передней крестообразной связки при использовании сухожилий полусухожильной и 1/2 толщины длинной малоберцовой мышц.

Впервые оценена клиническая эффективность предлагаемого способа реконструкции передней крестообразной связки усиленным трансплантатом из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

Новизна подтверждена патентом «Способ пластики передней крестообразной связки коленного сустава» (Патент РФ № 2717369)

Практическая значимость результатов

Предложенная методика позволяет уменьшить сроки реабилитации, повысить эффективность реконструкции передней крестообразной связки, за счет укрепления ауто трансплантата, что способствует быстрому и эффективному восстановлению функции коленного сустава после операции.

Внедрение в практическое здравоохранение

Предлагаемая методика подготовки ауто трансплантата для реконструкции передней крестообразной связки внедрена и успешно применяется в клинике ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии».

Полученные результаты исследования используются в лекционных курсах для аспирантов и ординаторов ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии Иркутской государственной медицинской академии последипломного образования – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанный способ подготовки трансплантата для пластики передней крестообразной связки позволяет увеличить его прочность по сравнению с известным способом.

2. Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки с использованием нового способа подготовки ауто трансплантата, более эффективна в сравнении с известным способом.

Апробация диссертации

Основные положения и результаты исследования доложены и обсуждены на: Научно-практической конференции молодых учёных Сибирского и Дальневосточного федеральных округов (Иркутск, 2016, 2018); Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в травматологии и ортопедии» (Хабаровск, 2019); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Травматология, ортопедия и восстановительная медицина Дальнего Востока: Достижения, проблемы, перспективы» (Чита, 2021); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Цивьяновские чтения», посвящённой 75-летию юбилею Новосибирского НИИТО им. Я. Л. Цивьяна (Новосибирск, 2021).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, среди которых 6 статей – в ведущих журналах рецензируемых, рекомендованных ВАК Минобразования и науки РФ, 3 статьи – в международной базе цитирования Scopus. Получен 1 патент, утверждена 1 новая медицинская технология.

Личный вклад автора

Автором самостоятельно выполнен литературный обзор по изучаемой проблеме, определены цели и задачи, изучены результаты хирургического лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки, самостоятельно выполнена экспериментальная часть данного исследования.

При непосредственном участии автора получен патент РФ «Способ пластики передней крестообразной связки коленного сустава» (№ 2717369).

Автор самостоятельно выполнял операции и ассистировал при выполнении операций по протоколу данного исследования.

Объём и структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 119 страницах, иллюстрирована 41 рисунками и 11 таблицами. Список литературы включает 152 источника, из них 32 – отечественных и 120 – зарубежных авторов.

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

1.1 Эпидемиология повреждения передней крестообразной связки

Только в США 250 000 человек в год страдают от разрыва ПКС. В США ежегодно выполняется около 100 тысяч оперативных вмешательств по её реконструкции; в Германии число реконструкций ПКС составляет около 46 на 100 000 человек в год; в Дании в год выполняется около 14 000 реконструкций [52, 97, 149]. За последнее десятилетие отсутствуют актуальные эпидемиологические данные по структуре пациентов с повреждением ПКС и выполненным реконструкциям ПКС в Российской Федерации.

С каждым годом количество оперативных вмешательств по реконструкции ПКС во всём мире увеличивается, что, вероятнее всего, связано с вовлечённостью населения в спортивную деятельность с целью укрепления здоровья [41].

Риск получения травмы коленного сустава и, в частности, ПКС значительно выше у людей, занимающихся спортом – как любительским, так и на профессиональном уровне. Чаще всего встречается непрямой механизм травмы – ротация голени при фиксированной стопе [24, 48, 101, 147].

A. Benjaminse et al. обнаружили гендерные различия в повреждениях ПКС. Исследователи выделяют тот факт, что повреждениям передней крестообразной связки в большей степени подвержены пациенты женского пола, которые физически активны или занимаются спортом [150].

Анатомически передняя крестообразная связка располагается в межмышцелковой вырезке коленного сустава. В связи с тем, что у женщин она несколько уже, во время движения сустава пространство вокруг ПКС меньше, и, следовательно, конфликт связки и края наружного мыщелка бедренной кости увеличивает шанс разрыва связки [31, 41, 86, 137].

Кроме самих связок, немаловажную роль играют и мышцы бедра. У пациенток женского пола бедренные мышцы, как правило, слабее, поэтому нагрузка на ПКС выше [41, 124, 150].

Также немаловажную роль в повреждениях ПКС играет гормональный фон женщин. В нескольких зарубежных научных обзорах было показано, что повышенная слабость ПКС наступает в первой фазе менструального цикла. Биохимическое объяснение таких изменений, вероятнее всего, связано с повышением уровня эстрогена и прогестерона и снижением проколлагена I типа, что приводит к изменению свойств связочного аппарата коленного сустава [46, 94, 106, 135, 138]. На наш взгляд, для подтверждения данной теории необходимы дальнейшие исследования по изучению фаз менструального цикла.

В последние годы уделяется особое внимание психологическому компоненту разрыва ПКС. Исследования показали, что частота депрессии после постановки диагноза полного разрыва ПКС и передней нестабильности коленного сустава достигает 50 % [70, 121]. К. А. McCullough et al. показали, что психологические факторы, в том числе страх повторной травмы, присутствуют примерно у половины пациентов [121].

1.2 Диагностика повреждений передней крестообразной связки

Своевременная и точная диагностика разрывов ПКС может предотвратить дегенеративные нарушения хряща мыщелков бедренной и большеберцовой костей, обострение посттравматического остеоартрита, нарушение биомеханических свойств коленного сустава и др. [100]. На данный момент в ведущих травматологических клиниках нередко устанавливаются такие диагнозы, как ушиб, повреждение капсульно-связочного аппарата в коленном суставе, растяжение связок, гемартроз, за которыми очень часто просматриваются такие повреждения, как повреждение передней и задней крестообразных связок, боковых связок, менисков, антеро-латеральной связки.

В связи с этим, в 75–80 % случаев разрыва передней крестообразной связки не диагностируется на амбулаторном этапе, и пациенты лечатся по поводу растяжения капсульно-связочного аппарата коленного сустава, либо ушиба области коленного сустава [28, 102].

Чтобы точно диагностировать разрыв ПКС, врач должен объединять информацию из жалоб, клинического обследования и, при необходимости, результатов визуализации при помощи ультразвукового исследования (УЗИ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Разрывы ПКС часто возникают при сопутствующей травме мениска, хряща или других связок коленного сустава. Особое внимание следует уделить точной диагностике сопутствующих травм [59].

На текущий момент существуют три наиболее специфичных и чувствительных теста на выявление разрыва ПКС – клинические тесты: 1 – «переднего выдвигающего ящика», 2 – тест «Лахмана», 3 – тест, определяющий ротационную стабильность коленного сустава (pivot shift test).

Тест «Лахмана» – это ортопедическая техника, используемая для оценки целостности ПКС при подозрении на её повреждение. Он используется для оценки переднего смещения большеберцовой кости по отношению к бедренной и считается, что тест Лахмана является модификацией теста «переднего выдвигающего ящика». По результатам многочисленных исследований было доказано, что тест Лахмана имеет наибольшую чувствительность и специфичность в диагностике повреждений ПКС и зачастую превосходит как тест «переднего выдвигающего ящика», так и тест определения ротационной стабильности коленного сустава [90].

При выполнении теста «Лахмана» пациент находится в положении лёжа на спине с согнутым до 20–30° коленным суставом, а также с минимальной наружной ротацией травмированной нижней конечности, чтобы расслабить мышцы в области подвздошной кости. Затем исследователь использует одну руку для стабилизации дистального отдела бедренной кости, а другую – для захвата проксимального отдела голени. Затем прикладывается усилие кпереди проксимальной части большеберцовой кости в попытке подвывиха

большеберцовой кости кпереди, сохраняя при этом бедро фиксированным в прежнем положении [90].

Тест «Лахмана» считается положительным, если имеется чрезмерное переднее смещение проксимального отдела большеберцовой кости в сравнении со здоровой стороной [130, 134].

Смещение большеберцовой кости на 5 мм или более, как правило, указывает на повреждение ПКС. Передняя нестабильность коленного сустава бывает трёх степеней. Нестабильности I степени соответствует смещение от 0 до 5 мм, II степени – от 6 до 10 мм, III степени – от 11 до 15 мм.

Тест «переднего выдвижного ящика» выполняется при положении пациента лежа на спине при сгибании в коленном суставе на 90°, стопа фиксирована на кровати. Исследователь обеими руками обхватывает проксимальный отдел большеберцовой кости и смещает её кпереди. Если имеются чрезмерное переднее смещение и нестабильность, это соответствует положительному результату теста. Также тест выполняется и на здоровом коленном суставе, поскольку у пациентов может быть индивидуальная слабость ПКС, которая не является патологической. Тест «переднего выдвижного ящика» имеет чувствительность 92 % и специфичность 91 % при хронической передней нестабильности коленного сустава. Передняя нестабильность коленного сустава также бывает трёх степеней, как описано выше [110, 130].

Тест определения ротационной стабильности коленного сустава (pivot shift test) показывает наиболее достоверные результаты, когда повреждение передней крестообразной связки изолировано. Данный тест сегодня считается одним из наиболее эффективных способов диагностики и оценки нестабильности в коленном суставе.

Исследование проводится в положении пациента лёжа на спине. У пациента поднимают стопу той конечности, которая травмирована, и производят ротацию внутренней поверхности голени, одновременно сгибая ногу в коленном суставе. Если имеет место повреждение крестообразной связки, то происходит подвывих латерального мыщелка большеберцовой кости. Положительный результат

фиксируется, если наблюдается смещение мыщелка кзади при сгибании коленного сустава на угол 20° [87].

Недостоверность вышеперечисленных тестов часто прослеживается у пациентов с хорошо развитыми мышцами передней поверхности бедра. При выполнении данных тестов происходит так называемый «эффект мышечной защиты», когда передняя группа мышц бедра сопротивляется смещению голени кпереди. В таких случаях для достоверности данных клинических тестов необходимо их выполнение под анестезией.

На отдалённых сроках после получения травмы у большинства пациентов отмечается гипотрофия четырёхглавой мышцы бедра.

Следующим этапом в диагностике повреждения ПКС является УЗИ коленного сустава. УЗИ имеет особую диагностическую ценность и показывает многообещающие результаты при выявлении повреждений ПКС [14, 139]. Опубликованный в 2018 г. метаанализ, выполненный J. Wang et al., которые оценивали диагностическую точность УЗИ при обнаружении полных разрывов ПКС, показал чувствительность 90 % и специфичность 97 % [129]. Несмотря на высокую чувствительность и специфичность УЗИ, многие учёные и клиницисты указывают на высокий процент диагностических ошибок, который колеблется от 28 до 91 % [6, 12, 17, 127, 139, 148].

МРТ коленного сустава является основным методом при диагностике повреждения передней крестообразной связки. Данный метод общепринято является самым точным в диагностике повреждений мягкотканых структур организма [36].

Для пациентов с подозрением на разрыв ПКС МРТ имеет значение как дополнительный метод диагностики, когда клиническое обследование и УЗИ не дают полной картины разрыва ПКС. При подозрении на разрыв передней крестообразной связки выполняют оценку на прямых и боковых срезах в T1- и T2-взвешенных режимах. Тотальный разрыв передней крестообразной связки определяется как область отсутствия сигнала в местах его прикрепления в коленном суставе. По данным ряда исследователей, точность диагностики

разрыва ПКС по данным МРТ достигает около 85–96 % [7, 26, 64, 122]. При этом, по разным данным, чувствительность МРТ в диагностике разрыва ПКС варьирует от 47 до 90 %, а специфичность достигает 100 % [26, 59].

1.3 Оперативное лечение передней нестабильности коленного сустава и выбор трансплантата

Разнообразие методик и материалов для восстановления передней крестообразной связки указывает на сохраняющиеся вопросы в современной хирургии опорно-двигательной системы. Актуальной темой для обсуждения остается подход к методикам реконструкции ПКС, техникам подготовки трансплантатов, выбору фиксаторов, определенный подход к реабилитации пациентов после реконструкции ПКС и прочие нюансы к комплексному лечению данной категории пациентов.

Реконструкция передней крестообразной связки повсеместно выполняется артроскопически, так как способ является миниинвазивным и сочетает в себе множество положительных моментов, начиная с самой операции и заканчивая реабилитационными мероприятиями [10].

Впервые артроскопическое восстановление передней крестообразной связки выполнил американский ученый D. Dandy, что стало началом эры артроскопической хирургии коленного сустава [69].

Артроскопическое восстановление ПКС нивелировало недостатки характерные для открытого восстановления ПКС, таких как повреждение внутренней капсулы коленного сустава, нервных структур и кровеносных сосудов. Все вышеперечисленные недостатки в той или иной мере влияют на качество лечения пациентов с данной патологией и дальнейшую реабилитацию [5]. Артроскопическое восстановление ПКС позволило хирургам взглянуть по-новому на проблему нестабильности коленного сустава, а также на другие проблемы в коленном суставе, что дало возможность развития артроскопических операций и на других крупных суставах человеческого организма [83].

Важно отметить сроки восстановления ПКС после получения травмы, которая зависит от множества факторов. В мировом сообществе травматологов-ортопедов, занимающихся проблемой повреждения ПКС, нет единого мнения в отношении срочности проведения операции по восстановлению ПКС. Некоторые из них считают, что восстановление ПКС на ранних сроках после травмы ускоряют и упрощают процессы реабилитации, так как максимально сохраняется биомеханика коленного сустава, состояние мышц бедра, компенсаторные и механические движения [129, 144]. Другая же часть исследователей полагает, что ранняя операция по восстановлению ПКС повышает риск несостоятельности трансплантата из-за воспаления синовиальной оболочки коленного сустава, также остается выраженный болевой синдром, как следствие контрактура коленного сустава, артрофиброз и другие неблагоприятные последствия операции [145].

На сегодняшний день золотой стандарт при выборе трансплантата, методики фиксации и фиксатора отсутствует. В последнее десятилетие было предложено множество вариантов размещения бедренного и большеберцового каналов, которые не имеют явных преимуществ относительно друг друга [45, 65, 113, 145]. Различного рода металлические и неметаллические, рассасывающиеся и нерассасывающиеся фиксаторы были выпущены на рынок в течение многих лет, и их использование показывало при этом сопоставимые клинические результаты [54, 120].

Что касается техники выполнения реконструкции ПКС, то большинство хирургов отдают предпочтение однопучковой реконструкции: это, вероятнее всего, связано с тем, что выполнение двухпучковой реконструкции технически сложнее и требует наличия у врача колоссального опыта в хирургии ПКС [19, 21, 37, 146].

Выбор методики формирования бедренного канала большинством хирургов был в пользу переднемедиальной и ретроградной методик. Это связано с тем, что указанные методики считаются более анатомичными в сравнении с транстибиальной. В настоящее время данные методики пользуются популярностью у молодых и менее опытных хирургов, которые начали практику

в хирургии ПКС во время популяризации данных методик во всём мире, когда как трансстибиальная методика осталась в прошлом [72].

В настоящее время наиболее распространёнными видами фиксаторов являются интерферентные винты и подвесные кортикальные системы [40, 47, 56, 71, 73, 105, 154].

Одним из наиболее эффективных фиксаторов является интерферентный винт и различные его модификации. Интерферентный винт имеет форму конического резьбового винта, который проводится в костный канал, прижимая при этом трансплантат к стенкам костного канала и фиксируя его в правильном положении. Данный вид винта и его модификации можно использовать как для бедренной, так и для большеберцовой фиксации, хотя чаще всего его используют для фиксации на большеберцовой кости [16, 71].

Винты делятся на металлические и биодеградируемые. При использовании металлического винта в будущем его удаление невозможно; исключения составляют случаи несостоятельности трансплантата ПКС и нестабильности коленного сустава. При появлении биодеградируемых винтов данная проблема была решена, так как данный тип винтов рассасывается в костном канале [73].

Интерферентный металлический винт прочно фиксирует трансплантат в канале в течение 8 недель, пока трансплантат не интегрируется в костную ткань [57]. По данным разных авторов, биомеханические исследования не показали превосходства металлического винта над биодеградируемым [30, 143, 151], но в одном лишь исследовании, выполненном Р. Kousa et al., показано превосходство биодеградируемого винта в отношении фиксации трансплантата [136]. Ещё одним преимуществом биодеградируемого винта является возможность выполнения МРТ коленного сустава. Однако есть сообщения и о возникновении синовита, асептических воспалительных реакций от продуктов распада биодеградируемого винта [25, 98].

В настоящее время используются два типа подвесных фиксирующих систем – фиксированная и регулируемая [39, 47, 56, 105].

С помощью фиксированной кортикальной подвесной системы трансплантат прикрепляется к непрерывной нити, соединённой с пуговицей, которая переворачивается и затем фиксируется в дистальной части бедренной кости; при этом в канал проводится трансплантат без какого-либо натягивания нити. В отличие от фиксированной, регулируемая кортикальная подвесная система имеет пуговицу, прикреплённую к трансплантату через регулируемую нить, которая натягивается, чтобы протянуть трансплантат до верхней части бедренного канала [63]. Преимуществом последнего является возможность регулирования длины канала интраоперационно [47, 56].

Отсутствие единого мнения использования определённого типа фиксаторов побуждает хирургов проводить дальнейшие исследования.

На сегодняшний день для восстановления ПКС чаще всего применяются ауто- и аллотрансплантаты, в редких случаях синтетические трансплантаты [9, 11, 62, 94, 112].

В США для восстановления ПКС аллотрансплантатами примерно в 95 % случаев используются собственная связка надколенника с двумя костными блоками и часть пяточного сухожилия [60, 142].

В Европе в большинстве случаев используют сухожилия «гусиной лапки», фрагмент сухожилий задней большеберцовой мышцы и часть пяточного сухожилия.

В России же хирургами используются следующие аллотрансплантаты: сухожилие длинной малоберцовой мышцы, передней большеберцовой мышцы, длинный сгибатель и разгибатель 1 пальца стопы [20].

Использование аллотрансплантатов обладает своими преимуществами и недостатками. К преимуществам можно отнести то, что хирург может подобрать трансплантат индивидуально для каждого пациента, учитывая все нюансы [43].

Помимо этого, каждый фрагмент аллоткани имеет свою анатомическую и гистологическую структуру, а также обладает разными прочностными характеристиками. Дополнительно, фрагменты подвергаются различным

химическим воздействиям во время стерилизации, что дополнительно снижает их биомеханические свойства [74, 103].

Ключевым преимуществом применения метода аллотендопластики считается исключение дополнительного повреждения близлежащих тканей, а также ослабления структур, окружающих сустав. Это существенно ускоряет восстановление и регенерацию тканей, мышц, способствует снижению боли и отёка в ранний период после операции [42].

Помимо этого, применение во время операции алломатериала существенно уменьшает время подбора оптимального варианта трансплантата и количество разрезов на коже, делая операцию более косметичной [142].

Среди основных преимуществ материала можно выделить следующие:

- натуральное происхождение;
- низкие антигенные качества;
- оптимальная прочность;
- простота хранения и удобство использования [74].

Несмотря на это, есть и определённые недостатки:

- риск инфицирования патогенными микроорганизмами;
- воздействие на структуру трансплантата иммунными клетками;
- продолжительная по времени тканевая перестройка [103, 142].

На мировой арене синтетические трансплантаты для реконструкции ПКС были популярны в 1980-х и начале 1990-х годов, но с возникновением таких проблем, как синовит и разрыв трансплантата, произошло заметное снижение их использования [37, 53, 95]. Но тем не менее, существует интерес к использованию синтетических трансплантатов: в частности, они пользуются популярностью у ортопедов в Австралии, где их использование у спортсменов показало потенциальные преимущества более быстрой реабилитации, отсутствие болезни донорского места и сокращение времени операции [32, 132]. Первоначальный интерес к синтетическим трансплантатам связан с отсутствием у пациентов болезни донорского места и высокими прочностными характеристиками, которые дополнительно можно было увеличить ещё больше

[43, 122, 132]. Однако при длительном наблюдении сообщалось о перекрёстных инфекциях, иммунологической реакции против синтетического трансплантата, переломах бедра и большеберцовой кости вблизи каналов, синовите и развивающемся остеоартрите коленного сустава [51, 89, 107, 115, 131]. Поэтому со временем, с появлением ауто- и алломатериалов для пластики ПКС, интерес к синтетическим трансплантатам существенно снизился.

По мере отказа от искусственных трансплантатов ПКС внимание хирургов привлекли ауто трансплантаты, которые к настоящему времени доминируют в хирургии крестообразной связки [29, 53]. С целью формирования готовых ауто трансплантатов для реконструкции ПКС долгое время успешно использовали в качестве сухожильного материала три донорских сухожилия: средняя треть собственной связки надколенника [3, 58]; фрагмент сухожилия четырёхглавой мышцы бедра [116]; сухожилия полусухожильной и тонкой мышц [15, 92].

Использование фрагмента собственной связки надколенника с двумя костными блоками оправдано высокими прочностными характеристиками, но есть и много недостатков, таких как болезнь донорского места, артрофиброз, пателло-фemorальный артроз, снижение прочности оставшейся на месте собственной связки надколенника и нередко происходит перелом надколенника из-за кальцификации собственной связки надколенника [3, 15, 42, 88, 107, 152].

Сухожилие латеральной головки четырехглавой мышцы бедра в большинстве случаев применяется при ревизионных пластиках ПКС или при разрывах нескольких связок коленного сустава. К преимуществу использования данного сухожилия можно отнести возможность забора той длины, которая необходима хирургу, но при этом имеется существенный недостаток, такой как большой оперативный доступ и возможное вскрытие коленного сустава в области верхнего заворота [100, 111, 116].

Сухожилие полусухожильной и нежной мышц обладает достаточно высокими прочностными характеристиками, которые сопоставимы с прочностными характеристиками собственной связки надколенника с двумя костными блоками, но сухожилие полусухожильной и нежной мышц плохо

срастаются со стенками каналов, чего нельзя сказать про собственную связку надколенника с двумя костными блоками [91].

Недостатками в использовании трансплантата из сухожилия полусухожильной и нежной мышц также являются развивающаяся в послеоперационном периоде остаточная медиальная нестабильность, *genu valgum*, риск повреждения седалищного нерва, нарушение биомеханики коленного сустава в части ротационной составляющей, что подтверждается положительным тестом определения ротационной стабильности коленного сустава. Кроме того, имеется такая проблема, как недостаточный диаметр трансплантата даже при использовании двух сухожилий (полусухожильной и тонкой мышц) [91, 92, 117].

В литературе также описываются специфические осложнения, связанные с забором данных сухожилий, такие как уменьшение силы сгибания в коленном суставе и ротация голени [13, 49].

Учитывая то, что самым частым механизмом разрыва ПКС является ротация голени при фиксированной стопе, важно сохранить сухожилия подколенных сгибателей, так как они участвуют в ротации голени и контролируют смещение голени кпереди, разделяя нагрузку с передней крестообразной связкой [99].

Основным недостатком вышеописанных областей забора сухожильных материалов для последующего формирования ауто трансплантатов является факт того, что каждый из них составляет часть параартикулярного комплекса коленного сустава, несущего пассивную и активную стабилизацию функции коленного сустава, и взятие любой его части, неминуемо приведёт к частичной утрате биомеханического единства такого сложного анатомического образования как коленный сустав.

Альтернативным источником сухожильного материала для формирования ауто трансплантата при пластике ПКС может быть сухожилие длинной малоберцовой мышцы. При использовании в качестве сухожильного материала длинной малоберцовой мышцы не вовлекаются биомеханически значимые структуры коленного сустава, что имеет большое значение в реабилитационном

методики является использование артротомического доступа, охарактеризованного многими исследователями при пластике ПКС как высокотравматичный вне зависимости от размера.

1.4 Способы подготовки трансплантатов для пластики передней крестообразной связки

Успешная реконструкция передней крестообразной связки зависит от многих факторов, которая включает технику реконструкции, выбора трансплантата, выбора фиксаторов. Также немаловажную роль играет и способ подготовки трансплантата. В зависимости от используемых конструкций для фиксации трансплантата ПКС вопрос о способе подготовки трансплантата недостаточно изучен. С недавнего времени в мировую практику была внедрена техника реконструкции ПКС «всё изнутри» («all inside») с использованием подвешивающей системы фиксации трансплантата, которая показала достаточно хорошие результаты [33, 78, 82, 104, 126]. В настоящее время техника «всё изнутри» занимает доминирующее место в хирургии ПКС. Предпочтительным способом подготовки трансплантата для техники «всё изнутри» служит методика J. H. Lubowitz [104] с формированием четырёхпучкового трансплантата. Частой проблемой, описываемой в литературе, является недостаточная длина сухожилия, используемого для пластики ПКС. Вследствие этого приходится формировать трёхпучковый трансплантат или трансплантат из двух сухожилий подколенных сгибателей [34]. Такие способы могут растягивать трансплантат в период ранней реабилитации после операции за счёт разрыва свободного конца и, как следствие, приводить к нестабильности коленного сустава после операции [114]. В мировой литературе недостаточно исследований по изучению прочности трансплантатов, подготовленных различными способами.

T. Sasho et al. в 2018 г. провели экспериментальное исследование по изучению механической прочности трансплантатов, подготовленных с наложением базового двойного шва Krakow, одиночного и двойного

зигзагообразных швов на свободные концы трансплантата [78]. Максимальная нагрузка, при которой произошёл разрыв базового, свободного конца трансплантата, подготовленного по Krakow, в среднем составила $505,5 \pm 38,4$ Н. Вторая и третья части эксперимента с двойным и одиночным зигзагообразными швами показали более низкую механическую прочность – в среднем $456,5 \pm 112,1$ и $394,5 \pm 121,4$ Н соответственно. В. Р. McKeon et al. и С. К. Hong et al. сообщили о схожих результатах в своих исследованиях, в которых говорилось о важности наложения прочных базовых швов на свободные концы трансплантата в сравнении с увеличением количества дополнительных швов на концы трансплантата перед имплантацией [75].

J. S. Yoo et al. в 2019 г. провели экспериментальное исследование, в котором изучали механическую прочность трёхпучковых трансплантатов, подготовленных тремя разными техниками – базовым четырёхузловым швом, двухузловым швом «rip-stop» и четырёхузловым швом «rip-stop» свободных концов трансплантата [55]. Максимальная нагрузка разрыва составила $501,52 \pm 124,56$, $567,74 \pm 60,50$ и $736,46 \pm 32,50$ Н соответственно. Схожие результаты также были получены в исследованиях М. Fabbri et al. и R. Mayr et al. [114, 126].

A. Yanke et al. в своём исследовании говорят о том, что средняя нагрузка на разрыв нативной ПКС составляет 650 Н, а в условиях кинетической нагрузки коленного сустава после пластики ПКС достигает 1200 Н [119]. В других исследованиях показана прочность нативной ПКС, колеблющаяся в пределах 734–1503 Н [133, 140].

Трансплантат, выбранный для реконструкции ПКС, должен выдерживать нагрузки, которые возникают в раннем послеоперационном периоде и в повседневной жизни человека [14].

Большое значение при заборе сухожилия имеет его длина. В успешной реконструкции ПКС решающую роль играет тщательная подготовка трансплантата. J. H. Lubowitz в своём пособии рекомендует следующие параметры длины потенциального сухожилия для пластики ПКС – не менее 250 мм и не более 270 мм, чтобы длина четырёхпучкового трансплантата

получалась не более 75 мм [104]. Если длины забранного сухожилия недостаточно, то приходится готовить трёхпучковый трансплантат либо производить дополнительный забор сухожилия *m. gracilis* или *m. semimembranosus*. Результаты исследования M. Fabbri et al. показывают, что трёхпучковый трансплантат имеет достаточно высокие биомеханические характеристики и выдерживает максимальную нагрузку на разрыв до 650 Н – это нижняя граница нагрузок на коленный сустав, которая необходима на раннем этапе реабилитации [126]. Поэтому при длине потенциального сухожилия менее 250 мм необходимы альтернативные пути забора и подготовки сухожилия. Так как данное исследование проводилось с использованием сухожилий животных (быков), то могли быть различия в биомеханических и вязкоупругих их свойствах; также перед исследованием испытуемые сухожилия сначала замораживались, а затем перед экспериментом размораживались. Вышеуказанные моменты могли повлиять на свойства испытуемых сухожилий, поэтому для достоверности исследования необходимо изменить условия экспериментального исследования с использованием аллосухожилий, применения специального раствора для хранения и обработки сухожилий, а также условия хранения испытуемых сухожилий.

Немаловажное значение в подготовке трансплантата имеет его диаметр. Так, в 2017 г. R. Calvo et al. провели 2-летнее клиническое сравнение пациентов, которым были имплантированы пяти- и четырёхпучковый трансплантаты. Было выявлено, что результаты пластики ПКС с использованием пятипучкового трансплантата сопоставимы с результатами использования четырёхпучкового трансплантата с диаметром больше 8 мм [81].

D. L. Hamner et al. в 1999 г. провели исследование биомеханических характеристик трансплантатов из сухожилия полусухожильной мышцы, в котором они выявили зависимость механической прочности трансплантатов от количества используемых швов [93].

M. R. Boniello et al. сравнили биомеханические характеристики трансплантатов из сухожилия полусухожильной и тонкой мышц с разным

диаметром. Было выявлено, что с увеличением толщины трансплантатов увеличивается их механическая прочность [96].

1.5 Основные аспекты реабилитации

Своевременная и целенаправленная реабилитация занимает одно из важных мест в лечении пациентов после реконструкции ПКС. Вся суть реабилитации заключается в комбинировании средств лечебной физкультуры (ЛФК) с физиотерапевтическими методами на разных этапах реабилитации [1, 4, 18].

Сроки восстановления пациентов после реконструкции ПКС и возвращение к нормальному образу жизни и спорту в большей степени зависят от программы реабилитации [141]. В настоящее время щадящие подходы в реабилитации пациентов после реконструкции ПКС заменены на более агрессивные, которые направлены на раннюю активизацию, увеличение объёма движений в коленном суставе на разных этапах реабилитации и укрепление мышц бедра [2, 76].

Основная цель реабилитации – это снятие боли и воспаления в коленном суставе [1, 18, 50, 67, 68, 79, 109, 128]. В реабилитационных мероприятиях в основном используются массаж со льдом, холодовые компрессы и методика холодного сжатия. Последняя считается наиболее эффективной, так как риск некроза кожи сводится к минимуму. Она применяется в первые 24–48 часов после операции, продолжительностью до 30 минут каждые 2 часа. Противопоказаниями к данной процедуре являются сосудистые нарушения и повышенная чувствительность к холоду [50, 67, 79].

После того как снимается болевой синдром и признаки отека необходимо устранить застойные явления, предотвратить контрактуру сустава, а также нормализовать кровообращение, с этой целью обязательно со 2–3-го дня назначаются массаж и физические упражнения, как основное средство ЛФК.

Массаж – обязательный компонент в реабилитации пациентов после реконструкции ПКС. Начинают его в первые дни после операции

на здоровой конечности и на прооперированной конечности выше и ниже иммобилизационной повязки [84].

При реконструкции ПКС трансплантатом из сухожилия длинной малоберцовой мышцы, преимуществом которого является его анатомическая топография вне области коленного сустава, план реабилитации изменяется:

1. Требуется ограничение движений стопой на конечности, где было забрано сухожилие, в первую неделю после операции.
2. Активные движения в коленном суставе (сгибание и разгибание) возможны сразу после снятия фиксатора – ориентировочно к концу 2-й недели.
3. Тренировку задней группы мышц бедра можно начинать через 2 недели после операции.
4. К концу 1-й недели после операции начинается постепенная нагрузка пациентом на оперированную нижнюю конечность;

Таким образом, в комплексном лечении проблемы повреждений ПКС важное значение имеет реабилитация пациентов после операции, которая проводится высокоспециализированными инструкторами или врачами ЛФК. Также немаловажное значение имеет заинтересованность самого пациента в реабилитации.

Резюме

Таким образом, проведённый обзор литературы показал, что реконструкция ПКС является одной из наиболее распространённых операций в ортопедии, но частота клинически неудовлетворительных исходов, всё ещё, остаётся на достаточно высоком уровне: так, только в США свыше 200 000 человек в год страдают от разрыва ПКС.

На сегодняшний день существует множество различных методик реконструкции ПКС и подходов к реабилитации данной категории пациентов, мнения хирургов-исследователей расходятся в техниках прошивания трансплантата, количествах пучков трансплантата, а также в выборе трансплантатов.

Для реконструкции ПКС более рациональной является артроскопическая операция с восстановлением анатомии нативной ПКС, и пластическим материалом служат аутотрансплантаты. На сегодняшний день доминирующее место занимают антеромедиальная и ретроградная методики реконструкции ПКС.

Но несмотря на развитие хирургии ПКС и многообразие методик её реконструкции, отсутствуют чёткие алгоритмы в выборе трансплантата и способе его подготовки для пластики ПКС. Все вышеуказанные вопросы послужили основанием для проведения данного исследования.

ГЛАВА 2 СТРУКТУРА, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая структура исследования

Диссертационное исследование состоит из трёх последовательных этапов: 1-й этап – литературный обзор; 2-й этап – экспериментальное исследование; 3-й этап – клиническое исследование. Все этапы имеют общую цель и единую направленность в решении поставленных задач.

В соответствии с первой задачей был выполнен обзор литературы и выявлены основные проблемы в лечении пациентов с разрывами ПКС. Исходя из результатов обзора литературных данных, одним из основных условий успеха в реконструкции ПКС является выбор оптимального по размеру и прочности аутотрансплантата и техники его подготовки. Наиболее часто аутотрансплантатами используемыми при реконструкции ПКС являются сухожилие полусухожильной и длинной малоберцовой мышц.

Следующий этап посвящён экспериментальному исследованию. На этом этапе работы перед нами ставилось несколько целей, которые были разделены на отдельные части. В первой части эксперимента производили забор трупного сухожилия полусухожильной ($n = 60$) и длинной малоберцовой мышц ($n = 60$), в ходе которого отработывались техника забора данных сухожилий и техника его подготовки. Во второй, основной, части эксперимента изучалась механическая прочность трансплантатов из сухожилий полусухожильной и 1/2 толщины длинной малоберцовой мышц. Экспериментальное исследование проводилось на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на сертифицированной испытательной машине «Autograph AG-X Series» (Shimadzu, Япония); определялись средние значения силы и длины, при которых происходил разрыв. Прочностные свойства трансплантатов сравнивались между собой, и был выбран оптимальный трансплантат для пластики ПКС.

Результатом экспериментальной части диссертационной работы явилась разработка нового способа подготовки трансплантата для пластики ПКС, которой посвящена глава 3 данной работы. По данному способу получен патент РФ № 2717369 «Способ пластики передней крестообразной связки».

Глава 3, клинической части исследования, посвящена сравнительному анализу результатов пластики ПКС с использованием ауто трансплантатов из сухожилия длинной малоберцовой мышцы из 1/2 ее толщины и сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленных новым и известным способом. Сама методика восстановления ПКС принципиально не изменилась в плане фиксации и проведения каналов в бедренной и большеберцовой кости, поэтому анализ клинических результатов должен был показать, что не имеет скрытых недостатков, которые ведут к ухудшению результатов лечения. Полученный нами высокий процент отличных и хороших результатов наглядно доказывает данную гипотезу.

2.2 Материал и методы экспериментального исследования

Для проведения экспериментального исследования на трупном материале было получено одобрение локального этического комитета (ЛЭК) и письменное разрешение главного судебно-медицинского эксперта г. Иркутска.

Исследование проводилось на базе ГБУЗ «Иркутское областное бюро судебно-медицинской экспертизы», согласно постановлению Правительства РФ № 750 от 21.07.2012 (в соответствии с Федеральным законом № 323-ФЗ от 21.11.2011).

Объектом исследования являлись:

- 60 сухожилий полусухожильной мышцы (средняя длина – $26 \pm 1,7$ см);
- 60 сухожилий длинной малоберцовой мышцы (средняя длина – $27 \pm 2,1$ см).

Материал был взят у тридцати трупов мужского пола, возраст которых составлял от 32 до 76 лет (в среднем – $51,7 \pm 14,5$ года). Они умерли от различных

травм и соматической патологии, которая не была связана с патологическим состоянием соединительной ткани. Взятие сухожилий производилось не позже, чем через 24 часа с момента наступления смерти.

Для выполнения забора сухожилий и подготовки из них моделей трансплантата необходимы следующие инструменты и оборудование:

1. Хирургический скальпель со съёмным одноразовым лезвием.
2. Пинцет хирургический.
3. Зажим типа «москит».
4. Ножницы тупоконечные, прямые.
5. Шовный материал Vicryl 2-0, полипропилен № 4.
6. Иглодержатель.
7. Ранорасширители: трёхзубые, острые крючки.
8. Иглы хирургические изогнутые, многоразовые, колющие, диаметром 0,68 мм, длиной 21 мм.
9. Стриппер из набора для реконструкции ПКС «Karl Storz» (Германия).
10. Специальный препаровочный столик для обработки трансплантатов.
11. Полукольца от аппарата Илизарова диаметром 160 мм.
12. Импровизированный зажим.

Для изготовления импровизированного зажима два полукольца соединяли между собой болтами так, что между ними фиксировался материал.

К зажиму из двух полуколец присоединяли третье полукольцо, которое фиксировали непосредственно к разрывной машине.

13. Медицинский лейкопластырь.
14. Металлический S-образный крючок длиной 52 мм, толщиной 3,5 мм для фиксации трансплантата.
15. Стол патологоанатомический секционный для аутопсии.
16. Испытательная машина «Autograph AG-X Series» (Shimadzu, Япония), зарегистрированная в Государственном реестре средств измерений и допущенная к применению в Российской Федерации (Рисунок 1).



НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

ГОСТ 28840-90 «Машины для испытаний материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования»;
 ГОСТ 8.065-85 ГСИ. «Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы»;
 МИ 2060-90 ГСИ «Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне $1 \cdot 10^{-5} - 50$ м и длин волн в диапазоне 0,2 – 50 мкм»;
 Техническая документация фирмы «SHIMADZU CORPORATION», Япония.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тип Машин испытательных универсальных AG модели AGS-X, AG-IC-X утверждён с техническими и метрологическими характеристиками, приведёнными в настоящем описании типа, метрологически обеспечен при ввозе в страну, в эксплуатации согласно государственному поверочным схемам.

ИЗГОТОВИТЕЛЬ: фирма «SHIMADZU CORPORATION», Япония
 (Nishinokio, Kwvabaracho Nakadyou-ku, Kyoto 604-8511)

Директор
 ООО «Аналит Продакс»
 (Представитель в России
 фирмы «SHIMADZU CORPORATION»)



Краева Г.И.



Рисунок 1 – Испытательная машина «Autograph AG-X Series»
 (Shimadzu, Япония)

Техника забора сухожилий и создание моделей трансплантатов

Труп находился на патологоанатомическом секционном столе в положении на спине в полном разгибании в тазобедренных и коленных суставах.

Техника забора цельного сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Учитывая поверхностное расположение сухожилия длинной малоберцовой мышцы, оно определялось пальпаторно позади малоберцовой кости и проксимальнее от голеностопного сустава на 3,0–3,5 см. Затем выполняли прямой разрез вдоль данного сухожилия длиной 3,5–4,5 см. Далее зажимом типа «москит» раздвигались мягкие ткани так, чтобы сухожилие длинной малоберцовой мышцы было видно; выделенный дистальный конец сухожилия прошивался обвивным швом лавсановыми нитями № 4, после чего его отсекали.

Затем с помощью специального инструмента для забора сухожилий проксимально на протяжении 26–28 см 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы отсекалось и выводилось в рану. После чего рана зашивалась нитями полиэстер № 1.

Описание техники забора сухожилия полусухожильной мышцы и формирование модели трансплантата стандартным способом по Lubowitz

Выполняем линейный разрез кожи продольно размером 4,5–5,0 см, отступя от бугристости медиально на 2,0 см, затем «москитом» разводили мягкие ткани до сухожилия полусухожильной мышцы и выполняли разрез длиной 2,0–3,0 см для его визуализации. Далее выделяли сухожилие, отсекали так называемые «ножки» сухожилия, и брали на держалку дистальную часть сухожилия полусухожильной мышцы.

Следующим этапом с помощью специального инструмента для забора сухожилий осуществляли забор сухожилия по методике R. R. Moore et al. [108]. Глубина погружения – не более 26 см.

Оставшийся свободный фрагмент сухожилия полусухожильной мышцы выводили в рану, а сама рана ушивалась с помощью лавсановой нити № 4.

Модель трансплантата из сухожилия формировалась следующим образом:

- 1) концы сухожилия сшивались техникой, предложенной Lubowitz или «конец в конец»;
- 2) сухожилие сгибали таким образом, чтобы получить четырёхпучковую модель трансплантата;
- 3) концы обшивались с помощью обвивного шва викриловыми нитями 2-0 по 15 мм с каждой стороны.

Техника забора и формирования модели трансплантата методом по Lubowitz из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Данные этапа забора сухожилия проводились так же, как и в технике забора целиком всего сухожилия длинной малоберцовой мышцы. Для этого формировалась модель трансплантата из 1/2 толщины сухожилия по следующей схеме:

- 1) сухожилие распределялось на две равные части;
- 2) концы сухожилий сшивались техникой по Lubowitz или «конец в конец» с помощью лавсановой нити № 4;

3) далее сухожилие загибали таким образом, чтобы получились четыре пучка трансплантата;

4) концы обшивали викриловыми нитями 2-0 по 1,5 см с каждой из сторон.

Забор и формирование трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы и 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы с помощью нового способа

Поэтапный забор сухожилия полусухожильной мышцы и сухожилия длинной малоберцовой мышцы подробно рассмотрен ранее.

Рассмотрим подробнее, как формировалась модель трансплантата. Для этого усиливали дистальные концы сухожилия с помощью накладного шва с двумя открытыми срезами лавсановой нитью № 4. Далее один конец сухожилия накладывался на другой, а выпуск среза при этом составил 5–6 мм.

Прошитый конец отворачивался на срез, и по всей ширине сухожилия накладывался второй ряд швов. Затем двумя рядами швов сгибали прошитую часть сухожилия таким образом, чтобы получить четырёхпучковый трансплантат, который прошивался обвивным швом викриловой нитью 2.0 на 1,5 см с каждой стороны.

Сухожилия и модели трансплантатов, которые были взяты из трупного материала, погружались в раствор Белякова, приготовленный по известной методике на основании патента № 2235462 [8]. Раствор хранился в холодильнике при средней температуре -25°C . Далее сухожилия применялись в лабораторном исследовании для изучения механической прочности трансплантатов.

Общий план экспериментального исследования

Первым этапом выполнялось определение механической прочности на разрыв сухожилия длинной малоберцовой мышцы целиком;

Вторым этапом выполнялось определение механической прочности на разрыв модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленной известным способом;

Третьим этапом выполнялось определение механической прочности на разрыв модели трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленной известным способом;

Четвертым этапом выполнялось определение механической прочности на разрыв модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленной новым способом;

Пятым этапом выполнялось определение механической прочности на разрыв модели трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленной новым способом;

Общие принципы определения механической прочности сухожилия и моделей трансплантатов

Исследование механических свойств сухожилия длинной малоберцовой мышцы и аллотрансплантатов проводили на универсальной разрывной машине настольного типа AGS-10kNXD (Shimadzu, Япония) с максимальной нагрузкой 10 кН. Метод определения: прямой высокоточный метод контроля деформации с постоянной скоростью посредством шарико-винтового привода без люфта. Данная машина позволяет испытывать образцы на растяжение и сжатие в одном направлении.

Измерение силы производилось с точностью в пределах $\pm 0,5\%$ от указанной величины в интервале от 1/1 до 1/500 от номинальной мощности нагрузочного элемента, что соответствует стандартам JIS B7721 Class 0.5, EN 10002*2 Grade 0.5, ISO 7500*1 Class 0.5, BS 1610 Class 0.5 и ASTM E4.

Калибровка испытательного усилия проводилась в автоматическом режиме.

Непосредственно перед исследованием механических свойств забранные сухожилия и модели трансплантатов размораживали при комнатной температуре в течение 2–2,5 часов.

Оба конца сухожилия или модели трансплантата фиксировали в импровизированных зажимах. Для жёсткой фиксации сухожилия поверхность металлических полуколец обматывали медицинским лейкопластырем.

Медицинский лейкопластырь относится к ленточным (слоистым) материалам, коэффициент его трения составляет 0,15 Н (Рисунки 2, 3).



Рисунок 2 – Вид фиксации сухожилия в импровизированных зажимах



Рисунок 3 – Вид фиксации модели трансплантата с помощью металлических крючков в импровизированных зажимах

Каждый зажим закрепляли к разрывной машине.

Определение механических свойств образцов проходило при одноосном растяжении следующим образом: противоположные концы образца помещали между зажимами испытательной машины; затем определяли геометрию образца, снимали размеры (длину и диаметр) и задавали скорость перемещения траверсы. После запуска испытания траверса с верхним зажимом перемещалась с заданной скоростью, растягивая образец. На экране монитора машины отображался график полициклических нагрузок – кривая «нагрузка – растяжение». Скорость растяжения составляла 20 мм/мин с точностью $\pm 0,1\%$. В результате эксперимента фиксировались значения прикладываемой нагрузки при разрыве образца. С помощью компьютерной программы TRAPEZIUMX задавались параметры растяжения.

Экспериментальные значения напряжения в направлении нагружения подсчитывались по формуле (предел прочности при растяжении):

$$\sigma = \frac{P}{S},$$

где P – нагрузка при разрыве (Н); S – площадь поперечного сечения образца (мм²).

Чувствительность определения точки разрыва

Чувствительность определяется как процентное (от полной шкалы) отношение силы испытания за 1 с. Точку разрыва определяли отбором значений силы испытания каждые 50 мс и нахождением точки, где рассчитанное отношение силы испытания равно или больше, чем относительная величина (Рисунок 4).

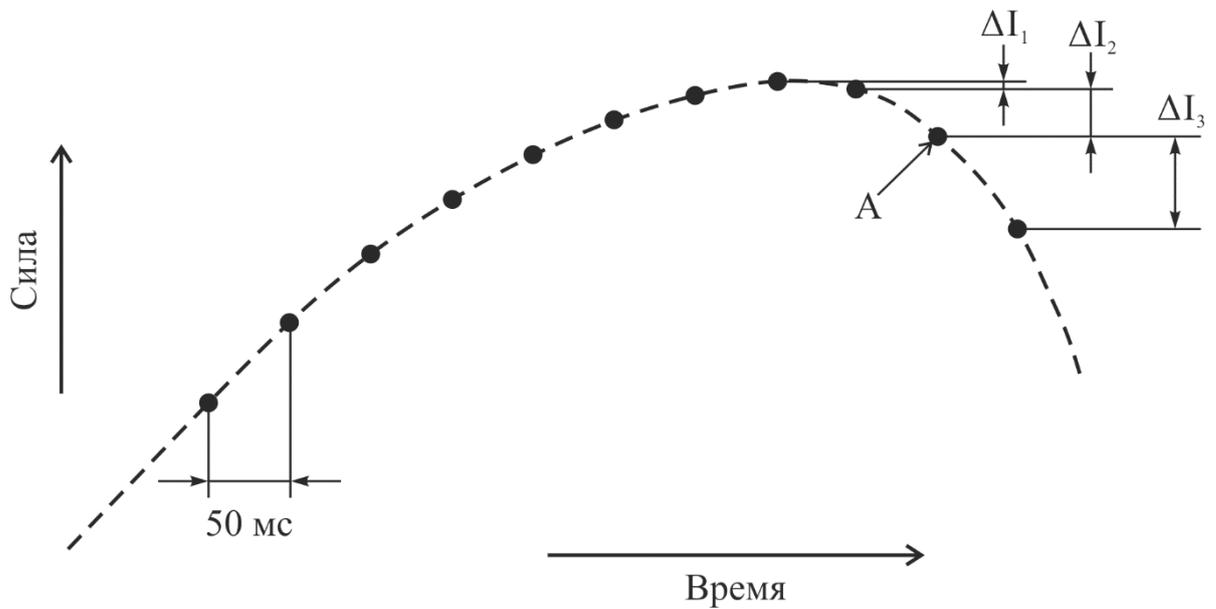


Рисунок 4 – Установочные параметры α (Н/с): A – номинальная мощность нагрузочного элемента

$$\beta = \frac{\alpha \times 50}{1000} (\%),$$

где β – установленная величина, преобразованная для 50 мс интервала $\Delta I_2 < \beta \leq I_3$; может быть установлено любое значение α в диапазоне $0 \leq \alpha \leq 1000 \%$ (в нашем случае установлено значение $\alpha = 10 \%$).

Уровень силы в точке разрыва

Точка разрыва определяется как точка, когда абсолютная величина испытательной силы уменьшается до определённого уровня (Рисунок 5).

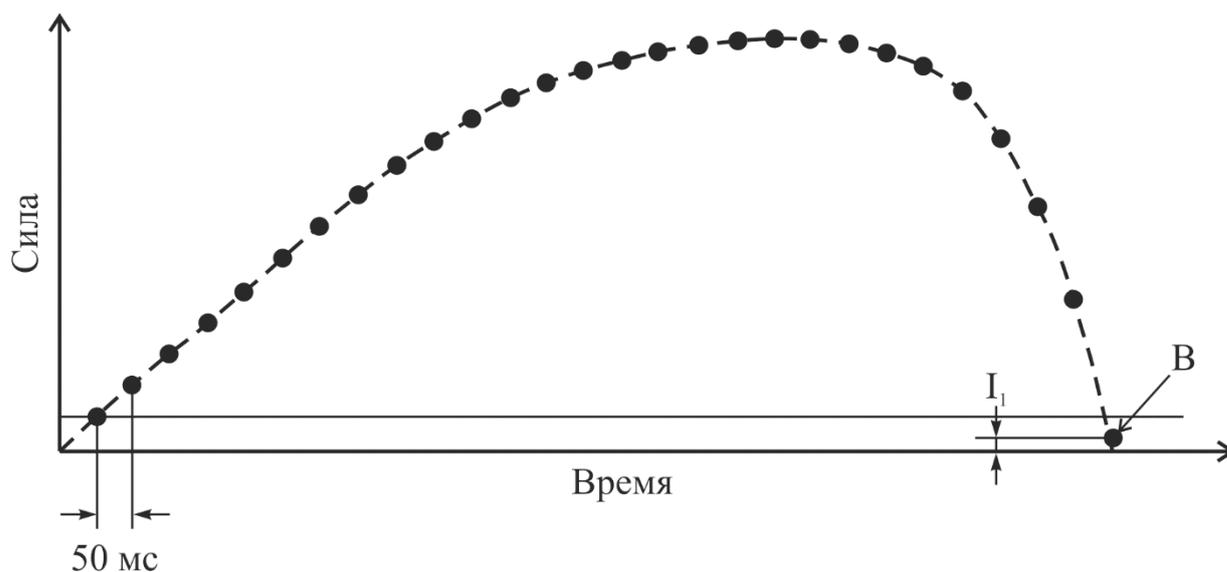


Рисунок 5 – Установочные параметры γ (Н)

Точка разрыва В определяется отбором значений силы испытания каждые 50 мс до тех пор, пока испытательная сила равна или меньше определяемой величины.

Уровень пика силы в точке разрыва

Точка разрыва определяется как точка, когда абсолютная сила теста уменьшается до определённого уровня от величины пика испытательной силы (Рисунок 6).

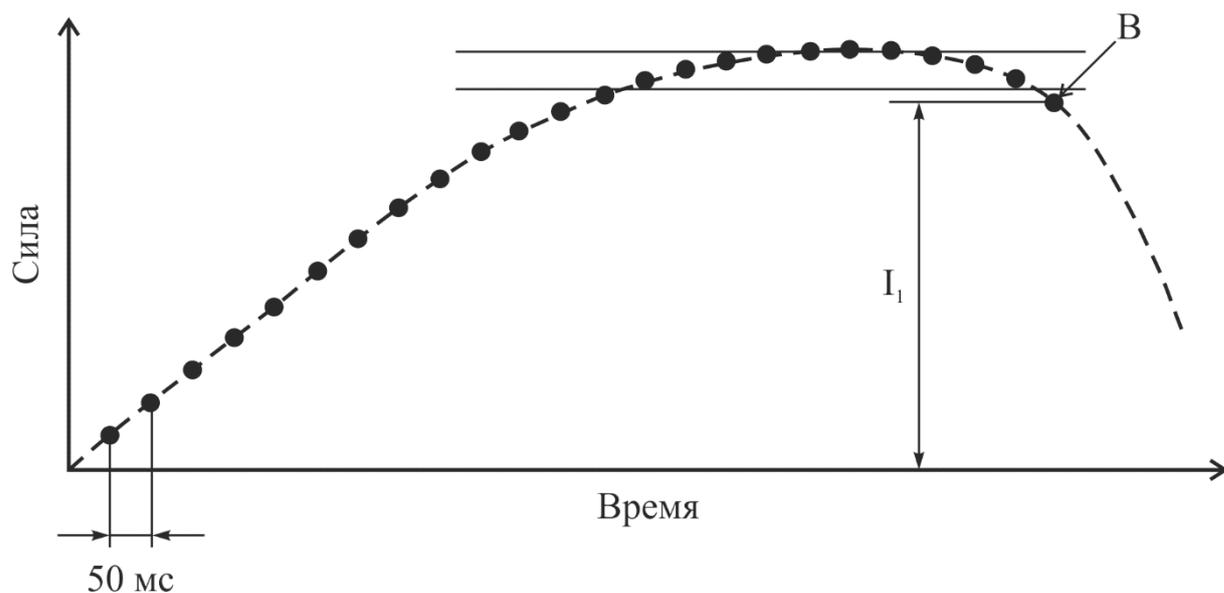


Рисунок 6 – Установочные параметры ϵ (%)

Точка разрыва «В» определяется отбором силы испытания каждые 50 мс до тех пор, пока испытательная сила равна или меньше определяемой величины.

Прочностью называется особое свойство материала, которое выражается в сопротивляемости к разрушению и изменениям формы материала. Данное свойство определяется толщиной и структурой материала, а кроме того – диаметром и методом плетения.

Прочность имеет три критерия оценки:

- выдерживание нагрузки на разрыв;
- то, как материал держит нагрузку на растяжение;
- прочность материала в узле.

Таким образом, нить должна держать нагрузку и быть прочнее раны на всех этапах заживления. Качественный материал отличается тем, что можно применять нить меньшего размера без ущерба для прочности и несостоятельности шва. Следовательно, чем тоньше и прочнее будет материал, тем меньшей реакции будет подвержена ткань.

Кроме того, исполненный шов должен иметь надёжность при минимальном количестве узлов. Отметим, что чем большую гладкость на поверхности нити мы имеем, тем меньшую прочность узла получим. Соответственно, чем больше узлов, тем выше воспалительная реакция на тканях.

Считается, что на разрыв большую нагрузку выдерживает плетёная нить. Она же сохраняет лучшую прочность в узле. Рассматривая моноплетёную нить, следует отметить, что она становится менее прочной в области узла, поэтому при эндоскопических манипуляциях применяют полифиламентные нити.

Такой подход связан в первую очередь с тем, что в эндохирургической практике применяются интракорпоральные методы формирования узлов. Это, в свою очередь, означает, что завязывание производится с помощью инструмента. Стоит отметить, что при этом моноплетёная нить в месте её сдавливания инструментом теряет прочность и может порваться.

В автоматическом режиме, производилась обработка экспериментальных данных. На рисунке 7 представлена распечатка экрана пользовательского интерфейса программы TRAPEZIUMX в типичном случае.

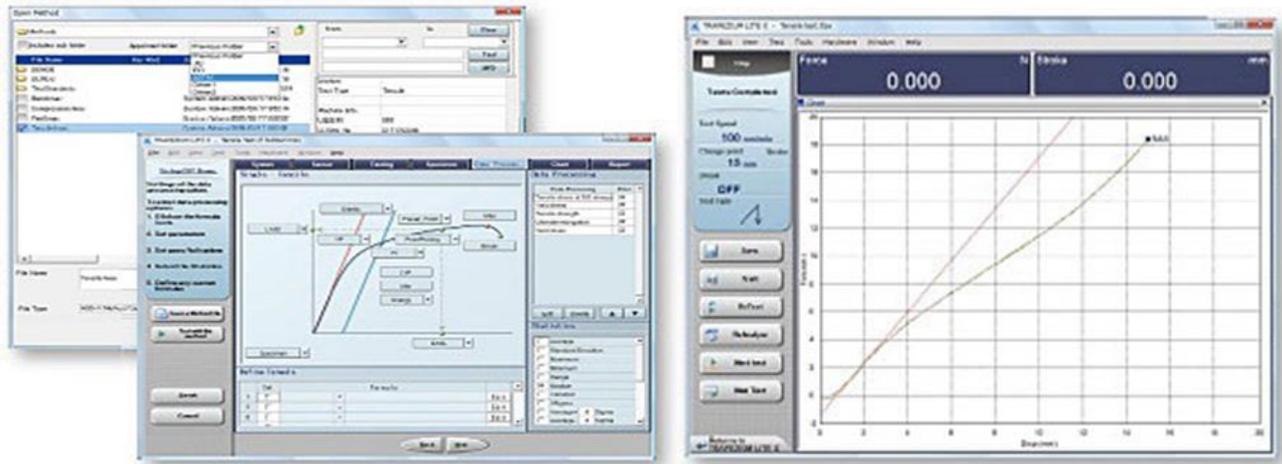


Рисунок 7 – Распечатка экрана пользовательского интерфейса программы TRAPEZIUMX

Методы статистической обработки количественных и качественных данных

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы SPSS Statistics 21 (IBM Corp., США). В исследовании используются непрерывные количественные, а также, порядковые, полученные по шкалам оценок, в баллах, переменные. Для их оценки использовались описательные статистики (среднее, стандартное отклонение, вариационный размах, квартили, асимметрия, эксцесс).

Был проведен предварительный факторный анализ для выявления главных компонент, определяющих вариацию исследуемых признаков. Для проверки гипотез в работе использовались непараметрические критерии (U-критерий Манна-Уитни, критерий Краскела-Уоллиса, T-критерий Уилкоксона), что связано с небольшими объемами оцениваемых выборок и отсутствием нормальности их распределения, предварительно оцененного критерием Колмогорова-Смирнова.

2.3 Материалы и методы клинического исследования

2.3.1 Материалы ретроспективного исследования

За период с 2014 по 2017 г. на базе ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (ИНЦХТ) обследованы и прооперированы 25 пациентов с первичным изолированным разрывом передней крестообразной связки, которые соответствовали критериям включения и смогли принять участие в данном исследовании. Всем пациентам была выполнена пластика ПКС по ретроградной методике с использованием сухожилия полусухожильной мышцы, аутотрансплантат готовили по известной технике J. H. Lubowitz.

Критерии включения в исследование:

1. Пациенты с полным первичным и изолированным повреждением передней крестообразной связки.
2. Отсутствие гонартроза или гонартроз I степени.
3. Возраст от 18 до 55 лет.

Критерии исключения:

1. Пластика ПКС в анамнезе.
2. Травмы, невропатии малоберцового нерва, ограничение движений в голеностопном суставе и стопе, нестабильность голеностопного сустава
3. Пациенты с гонартрозом II, III ст
4. Ожирение II, III, IV степени
5. Воспалительные процессы в коленном суставе.

Все 25 (100 %) пациентов в группе клинического сравнения (ГКС) были трудоспособного возраста – от 18 до 50 лет (средний возраст – 30,16 года). Мужчин было 15 (60 %), женщин – 10 (40 %).

По характеру травмы в ГКС у 15 (60 %) пациентов разрыв ПКС произошёл при спортивных травмах, у 8 (32 %) – при бытовой травме, у 2 (8 %) – в результате дорожно-транспортного происшествия (Рисунок 8).

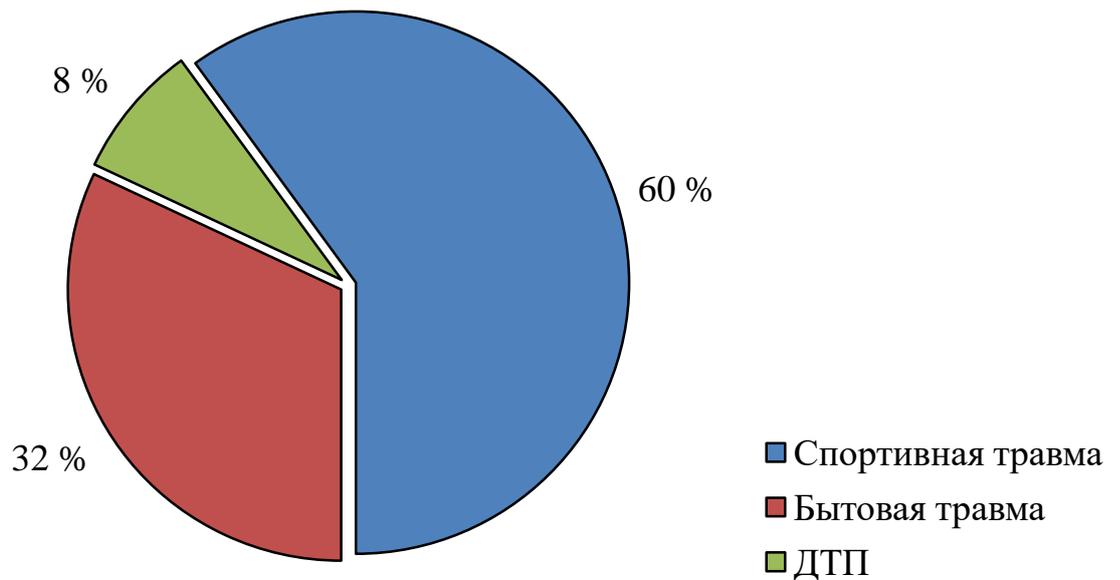


Рисунок 8 – Распределение пациентов по характеру травмы в ГКС

По стороне повреждения ПКС пациенты распределились следующим образом: 13 (52 %) случаев оперативное вмешательство проводилось на правом коленном суставе, 12 (48 %) пациентам – на левом.

Оперативное вмешательство выполнено в сроки от 1 до 120 месяцев с момента получения травмы. Средний срок, прошедший с момента травмы до операции, в ГКС составил 28,2 месяца (мода – 24, медиана – 21).

Выполнялся ретроспективный анализ результатов лечения, изучались причины развития остаточной передней нестабильности коленного сустава. Изучались следующие данные: анамнез заболевания, клинические, рентгенологические, данные МРТ и протоколы операции.

2.3.2 Материалы проспективного исследования

Пациенты, которым выполнена реконструкция ПКС по предлагаемому способу, составили основную группу (ОГ) исследования (19 пациентов). Набор пациентов проведён в клинике ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», после одобрения локального этического комитета, за период с апреля по ноябрь 2019 года.

Согласно международным требованиям «Протокола надлежащей клинической практики» (Good Clinical Practice; ГОСТ Р 52379-2005), все потенциальные участники исследования проходили процедуру определения соответствия на критерии включения и исключения.

Все пациенты имели достаточное количество времени для подробного и вдумчивого ознакомления с добровольным информированным согласием на участие в данном исследовании.

Средний возраст пациентов составил $33,3 \pm 7,8$ года. Доля пациентов мужского пола составила 78,9 % (15 человек), женского – 21,1 % (4 человека) (Рисунок 9).

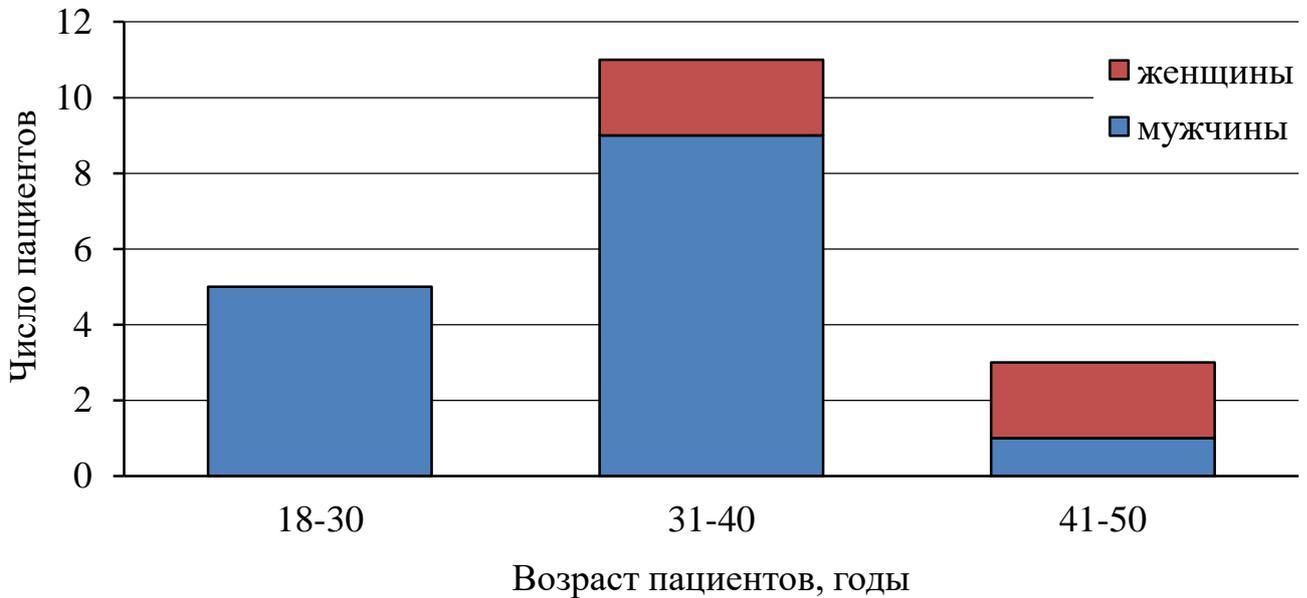


Рисунок 9 – Гистограмма распределения пациентов по полу и возрасту

Распределение по характеру получения травмы: на первом месте спортивная травма – у 11 (57,9 %) пациентов –, на втором месте – бытовая травма (у 8 (42,1 %) пациентов) (Рисунок 10).

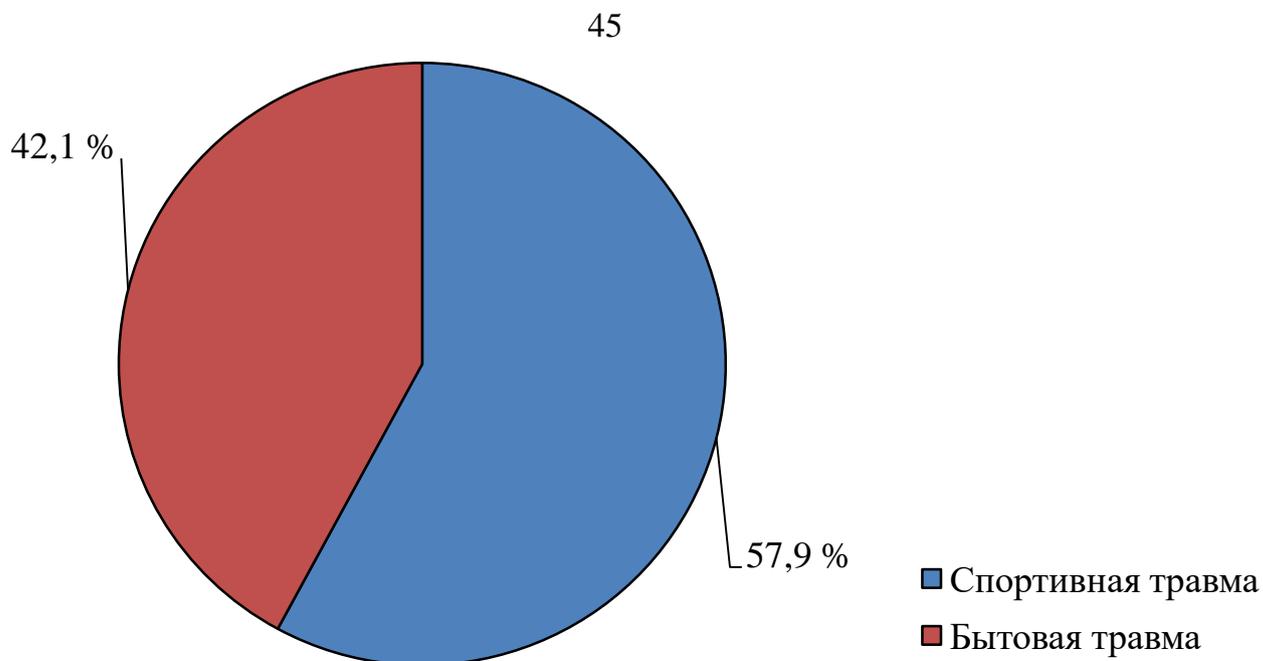


Рисунок 10 – Распределение пациентов по характеру травмы

У 9 (47,4 %) пациентов операция выполнена на правом коленном суставе, у 10 (52,6 %) – на левом (Рисунок 11).

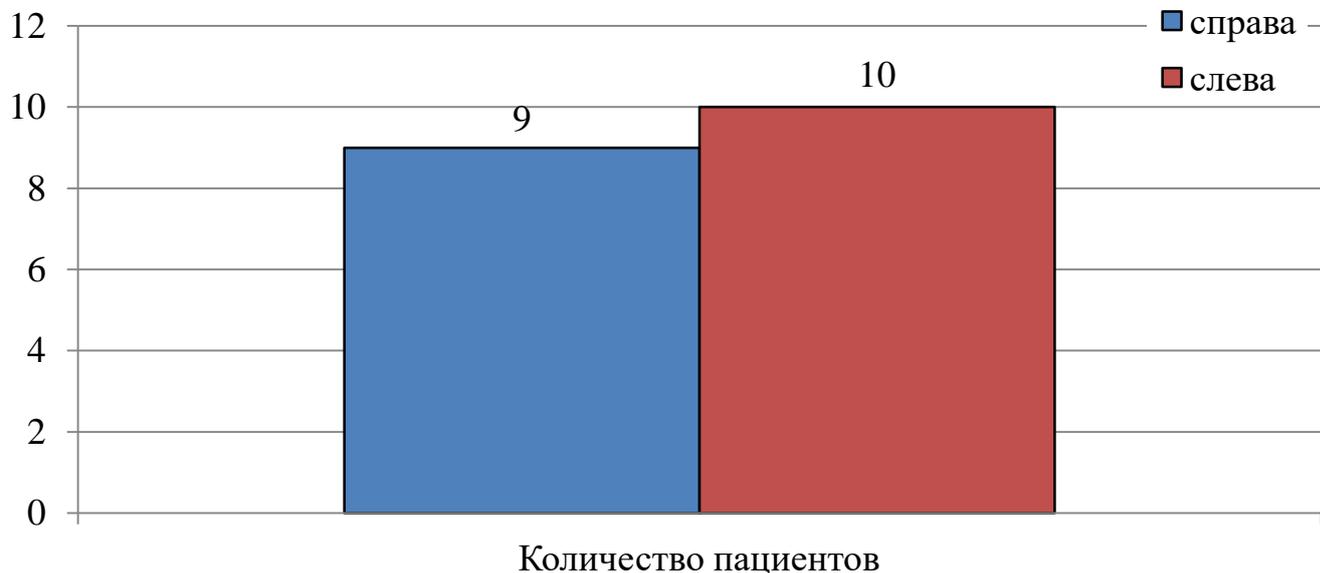


Рисунок 11 – Распределение пациентов по стороне повреждения

Операции выполнены в сроки от 9 месяцев до 13 лет с момента получения травмы. Среднее значение срока, прошедшего с момента травмы до операции, в представленной группе составило 34,68 месяца, стандартное отклонение – 39,15.

Медиана распределения прооперированных пациентов по времени с момента получения травмы, составила 21 месяц (Рисунок 12).

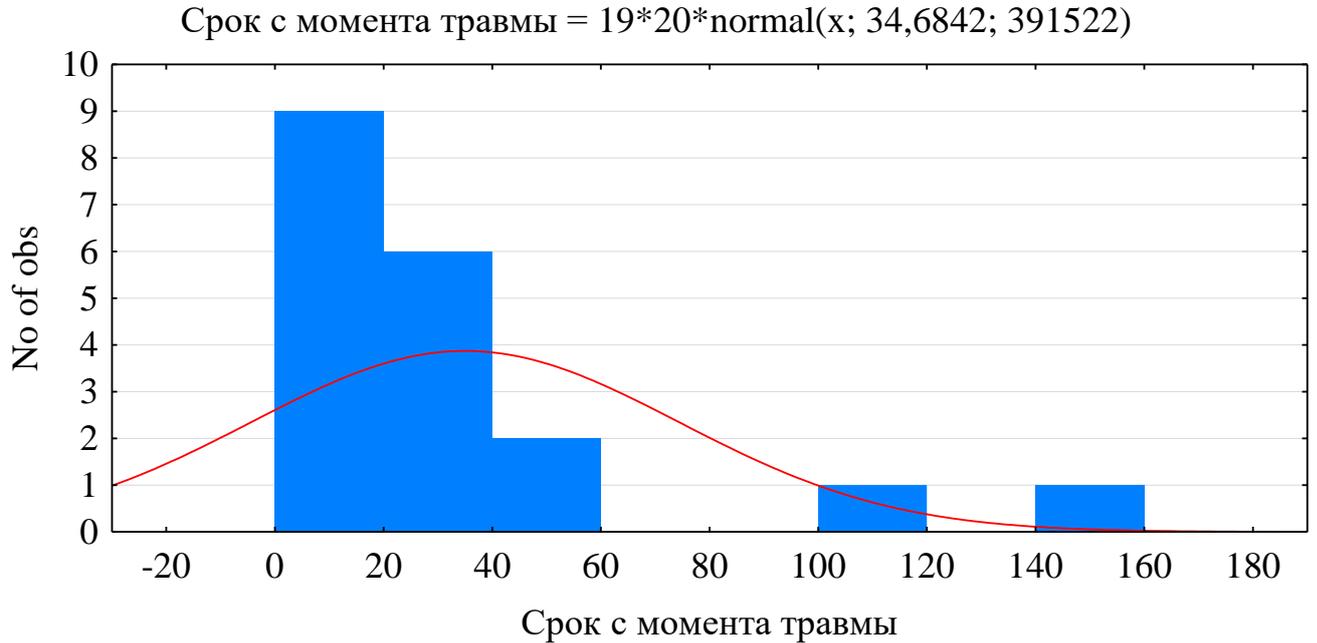


Рисунок 12 – Гистограмма распределения пациентов исследуемых групп по сроку, прошедшему с момента получения травмы

У данной группы пациентов также изучены результаты лечения: оценивали данные анамнеза, клинического осмотра, данные рентгенографии и МРТ, функциональное состояние голеностопного сустава по шкалам Американского общества хирургов стопы и голеностопного сустава AOFAS в модификации Kitaoka, коленного сустава по шкале Lysholm – Tegner, протоколы оперативного лечения.

Обращает на себя внимание большой разброс данных по возрасту пациентов и времени, прошедшему после получения травмы (Таблица 1). В этой связи не представляется возможным провести корректный анализ влияния указанных параметров на изменчивость измеряемых в двух выборках признаков.

Таблица 1 – Описательная статистика групп

Показатели	ОГ ($n = 19$)		ГКС ($n = 25$)	
	Возраст (лет)	время после травмы (мес.)	Возраст (лет)	время после травмы (мес.)
Среднее	34,26	34,68	30,16	28,2
Медиана	36	21	30	21
Мода	39	24	20	24
Минимум	20	9	18	1
Максимум	46	156	50	120

Был проведён предварительный факторный анализ для выявления главных компонент, определяющих вариацию исследуемых признаков (Рисунок 13). Было показано, что на долю первой и второй компоненты приходится более 80 % вариации признаков.

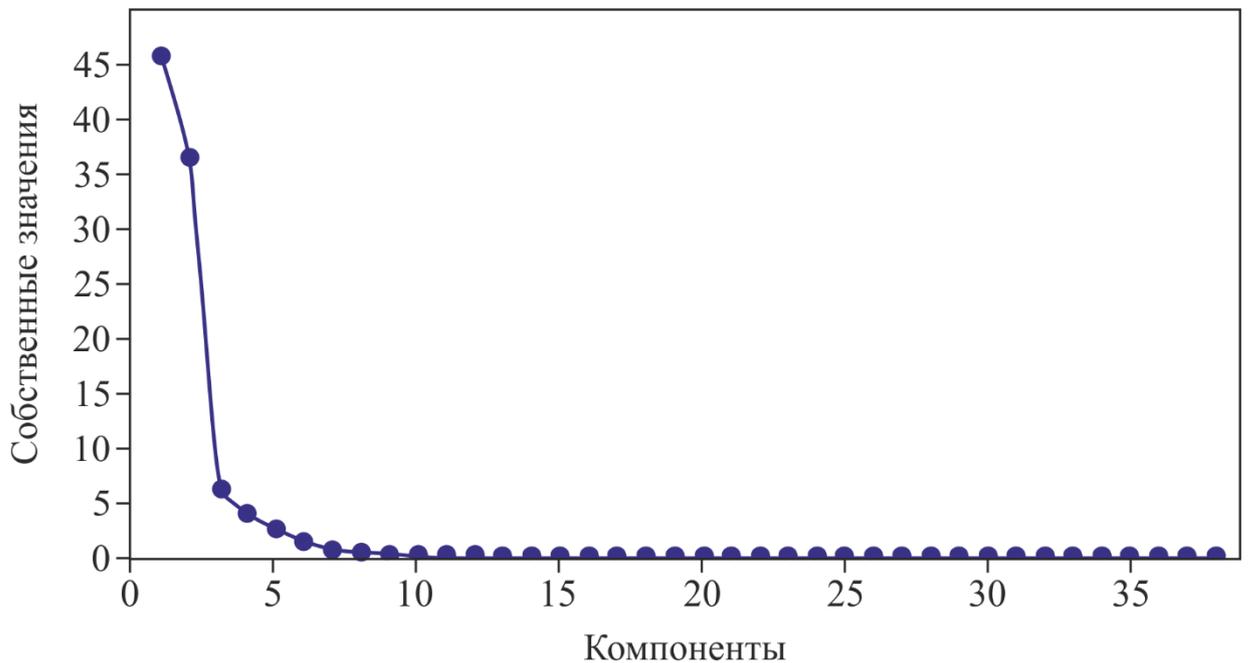


Рисунок 13 – Определение вариации исследуемых групп

Для проведения корректного анализа данных был использован «метод главных компонент», которая представляет технологию многомерного статистического анализа, которая используется для сокращения размерности

пространства признаков с минимальной потерей полезной информации. Данный метод представляет собой ортогональное линейное преобразование, которое отображает данные из исходного.

При этом первая ось новой системы координат строится таким образом, чтобы дисперсия данных вдоль неё была максимальной. Вторая ось строится ортогонально первой так, чтобы дисперсия данных вдоль неё была максимальной из оставшихся возможных, и т. д. Первая ось называется первой главной компонентой, вторая – второй, и т. д.

В пространстве этих двух выделенных компонент (1-й компонент – ось X; 2-й компонент – ось Y) было получено распределение двух выборок (D – основная выборка, S – выборка сравнения), представленное на Рисунке 14.

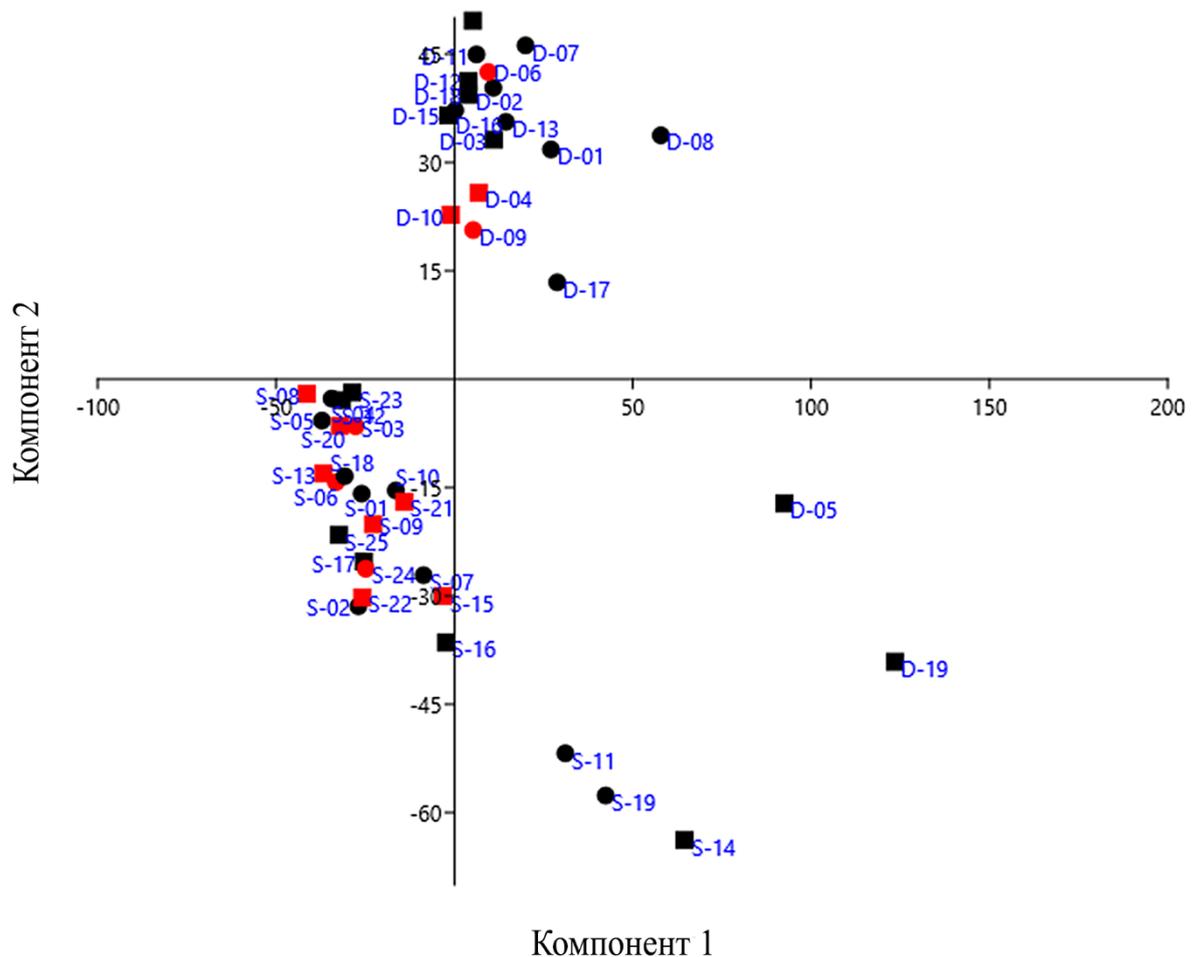


Рисунок 14 – Статистический анализ данных «Метод главных компонент»: черные маркеры – мужской пол; красные маркеры – женский; круглые маркеры – левая сторона повреждения; квадратные маркеры – правая сторона повреждения

В пространстве главных компонент (Рисунок 17) чётко разделились «облака» признаков для основной выборки (верхнее облако D) и выборки сравнения (облако внизу слева).

То, что в облаке снизу больше красных маркеров, отражает показанную ранее особенность данной выборки (больше пациентов женского пола).

По показателю «сторона повреждения» не обнаружено расхождений, т. е. предварительно данный показатель не влияет на изменчивость других изучаемых параметров.

2.3.3 Методы клинического исследования

Обследование пациентов проводилось с использованием следующих методов: анамнестический; клинический; рентгенологический; МРТ; метод оценки функциональных результатов и качества жизни; метод хирургического лечения больных; статистический метод исследования.

Анамнестический метод. Жалобы пациентов

Пациенты предъявляли жалобы на боль, дискомфорт и чувство нестабильности в коленном суставе.

Интенсивность болевого синдрома оценивалась по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) боли.

Уровень боли по ВАШ до операции в ОГ составил $2,847 \pm 1,406$ балла, в ГКС – $2,268 \pm 1,36$ балла. Между основной группой и группой клинического сравнения по указанному показателю не было показано статистически значимых отличий с использованием критерия Т ($P > 0,05$), что позволяет рассматривать группы как однородные и пригодные для анализа по следующим показателям.

Клинический метод исследования

Положение пациента при осмотре коленного сустава было на спине с разогнутыми нижними конечностями. Проводилась оценка объема движений в коленном суставе, силу мышц нижней конечности, измеряли окружность бедра

в нижней трети, оценивали анатомическую ось нижней конечности и визуальную деформацию коленного сустава.

Окружность бедра измеряли стандартной антропометрической сантиметровой лентой. Оценка окружности дистальной трети бедра оперированной конечности в сравнении с контрлатеральным бедром до операции в ОГ составила $1,7 \pm 1,24$ см, в ГКС – $1,06 \pm 1,28$ см (Таблица 3). Между группами ОГ и ГКС по указанному показателю статистически значимые отличия отсутствуют ($P > 0,05$).

Объём движения в коленных суставах оценивался с использованием нейтрального 0-проходящего метода, предложенного В. О. Марксом (1978). Объём движений в коленных суставах измеряли угломером и оценивали сгибание/разгибание. Сгибание коленного сустава до операции в основной группе составляло $124,21 \pm 8,9^\circ$, в группе клинического сравнения – $132,2 \pm 12,9^\circ$. Разгибание коленного сустава до операции было в полном объёме в обеих группах. Обе группы были сопоставимы по объёму движения в коленном суставе до операции.

Проводили специальные тесты, показывающие стабильность коленных суставов: тест «переднего выдвигающего ящика»; тест Лахмана; тест определения ротационной стабильности коленного сустава.

1. Тест «переднего выдвигающего ящика» является классическим достоверным провокационным тестом для выявления передней нестабильности в области коленного сустава. Пациент находится в положении лёжа, а исследователь проводит сгибание в нижней конечности в области коленного сустава под углом до 90° , тазобедренного – до 45° . Он обхватывает ногу в области головки большеберцовой кости и, когда пациент расслабляет сгибатели, тянет голень кпереди.

В случае пальпируемого переднего выдвигающего ящика и нечёткой конечной точки переднего смещения голени говорит о разрыве передней крестообразной связки.

2. Второй тест – тест Лахмана – проводится в следующем порядке. Пациент находится в положении лёжа на спине, далее исследователь проводит сгибание в коленном суставе до 30° , в это время удерживает бедро одной рукой, а другой осуществляет смещение голени кпереди.

Проводится оценка конечной точки и величины смещения голени. Результат теста зависит от ощущения того, как смещается голень кпереди, от величины смещения и того, как меняется конфигурация коленного сустава в области передней поверхности по отношению к связкам надколенника.

3. Тест на ротационную стабильность коленного сустава заключается в следующих манипуляциях. Человек, который проводит исследование, поднимает стопу и начинает ротировать голень и одновременно её отводить.

Если в конечности повреждены крестообразные связки, наблюдается подвывих латерального мыщелка в большеберцовой кости. Кроме того, сустав медленно сгибается. Результат считается положительным, если при сгибании сустава под углом до 30° исследователь ощущает смещение мыщелка кзади.

Рентгенографический метод исследования

Выполнение рентгенографии коленного сустава является стандартным методом диагностики в травматологии и ортопедии.

Рентгенография коленного сустава проводилась в рентгенкабинете отделения лучевой диагностики ФГБНУ «ИНЦХТ» на аппарате Siemens AG (Германия) в прямой и сагиттальной проекциях. Лучевая нагрузка на пациента в среднем составляла 0,6 мЗв.

При помощи рентгенографического исследования оценивали целостность костной структуры, ориентацию костных каналов и положение металлических фиксаторов (Рисунок 15).



Рисунок 15 – Рентгенограмма коленного сустава после операции:
положение системы подвешивающих фиксаторов аутотрансплантата

Магнитно-резонансная томография

МРТ коленного сустава так же выполнялась в отделении лучевой диагностики ФГБНУ «ИНЦХТ», нами использовался аппарат Siemens MAGNETOM Espree (Германия) (Рисунки 16, 17). МРТ-исследование выполнялось в T-2 взвешенном режиме.

По данным МРТ оценивалась структура аутотрансплантата, ход волокон аутотрансплантата в коленном суставе, ориентация аутотрансплантата и взаимодействие с другими структурами в коленном суставе (наличие или отсутствие возможного конфликта).

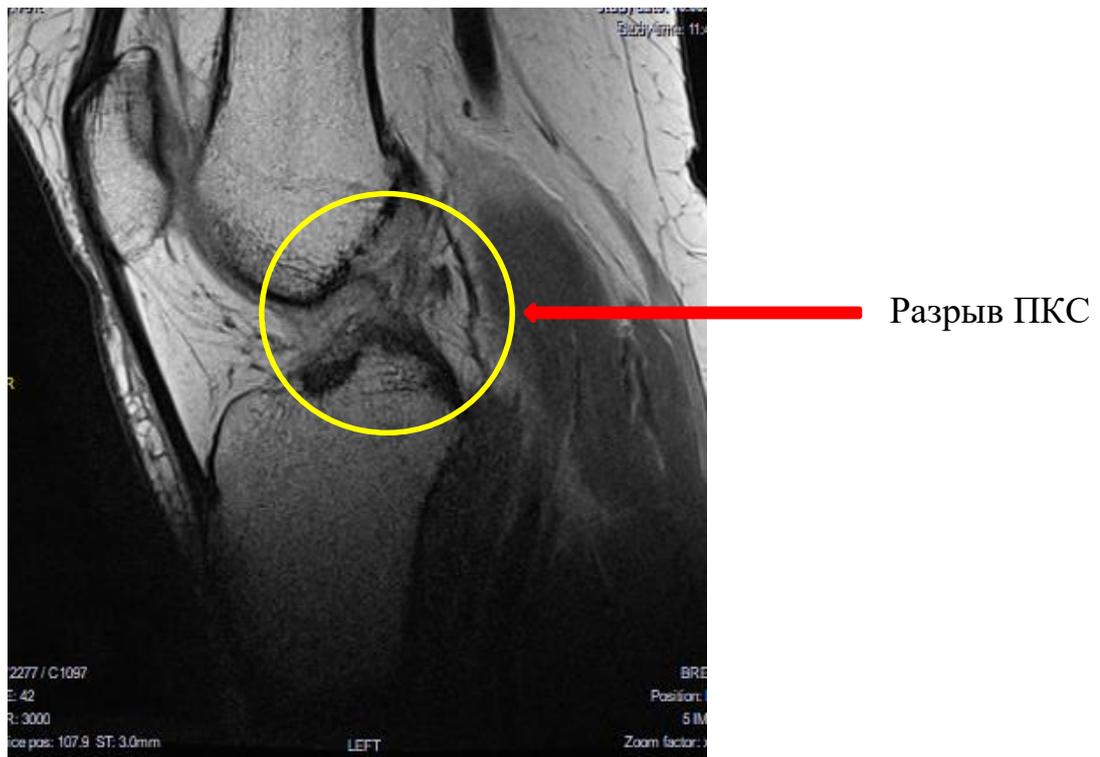


Рисунок 16 – МРТ-картина разрыва передней крестообразной связки коленного сустава

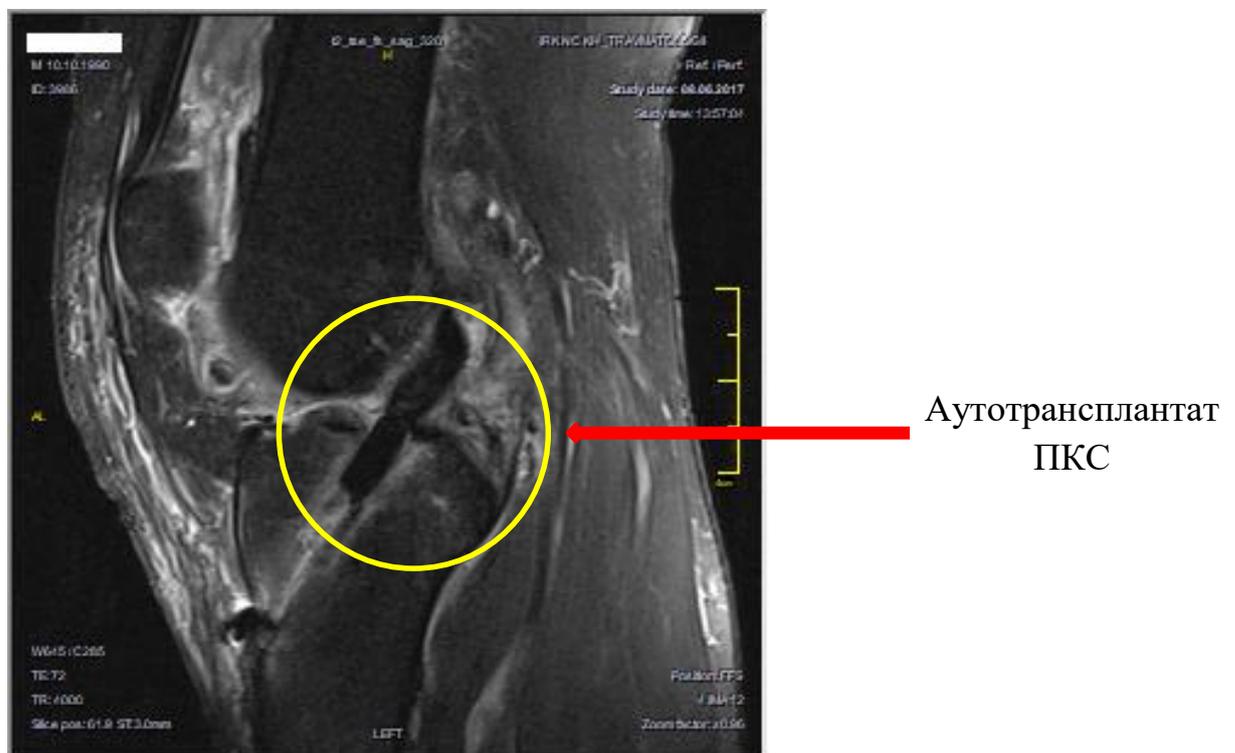


Рисунок 17 – МРТ-картина коленного сустава после реконструкции ПКС

Методы оценки функциональных результатов и качества жизни

Оценку функционального состояния голеностопного сустава и стопы проводили с помощью адаптированного опросника AOFAS (Таблица 2). Опросник представляет собой нормализованную шкалу, предложенную Н. Kitaoka с соавторами в 1994 году. Результат лечения с использованием шкалы AOFAS оценивали следующим образом: 95–100 баллов – отличный результат; 75–94 балла – хороший результат; 74 балла – удовлетворительный результат; 50 баллов и менее – плохой результат.

По шкале Lysholm – Tegner (Таблица 3) проводили анализ функционального состояния коленного сустава в баллах по следующим параметрам: хромота; использование дополнительной опоры при ходьбе; боль в коленном суставе; нестабильность; блокировка сустава; неустойчивость; отёчность при физической нагрузке; ходьба по лестнице; возможность садиться на корточки.

Таблица 2 – Оценка функционального состояния голеностопного сустава и стопы по шкале AOFAS

Показатели	Баллы
<i>Боль (40 баллов)</i>	
Нет боли	40
Слабая, иногда	30
Умеренная, почти каждый день	20
Сильная, почти постоянно	0
<i>Функциональный результат (50 баллов)</i>	
Нет ограничений / нет необходимости использовать вспомогательные средства	10
Нет ограничений в повседневной активности, затруднены занятия спортом / нет необходимости использовать вспомогательные приспособления	7
Ограничение в повседневной деятельности / необходима трость	4
Значимые ограничения в повседневной активности / требуются средства дополнительной опоры.	0
<i>Требование к обуви</i>	
Удобная, модельная, не требующая стелек	10
Комфортная с ортопедическими стельками	5
Только специально подобранная или брейс	0

Таблица 2 (продолжение)

Показатели	Баллы
<i>Движения в плюсне-фаланговых суставах (сгибание/разгибание)</i>	
Полный или небольшое ограничение (объём – 75° или больше)	10
Умеренное ограничение (объём – 30–74°)	5
Значительное ограничение (объём – менее 30°)	0
<i>Объём движений в межфаланговых суставах (сгибание)</i>	
Нет ограничений	5
Значительное ограничение (объём – менее 10°)	0
<i>Стабильность в межфаланговом и плюснефаланговом суставах (все направления)</i>	
Стабильны	5
Нестабильны	0
<i>Гиперкератоз или мозоль под плюснефаланговым суставом / над межфаланговым суставом</i>	
Нет/есть, бессимптомные	5
Есть, болезненные	0
<i>Ось конечности</i>	
Восстановлена	15
Удовлетворительная	8
Неудовлетворительная	0
Максимально возможный результат	100

Таблица 3 – Оценка функционального состояния коленного сустава по шкале Lysholm – Tegner

Показатель	Баллы
<i>Хромота в коленном суставе</i>	
Нет	5
Незначительная (периодическая)	3
Выраженная (постоянная)	0
<i>Дополнительная опора при ходьбе</i>	
Нет	5
С помощью трости или костыля	2
Невозможно наступать на ногу	0
<i>Боль в коленном суставе</i>	
Нет	25
Непостоянная или незначительная при длительной ходьбе	20
Умеренная, при длительной ходьбе	15
Появляется при ходьбе более 2 км	10

Таблица 3 (продолжение)

Показатель	Баллы
Появляется при ходьбе менее 2 км	5
Постоянная	0
<i>Нестабильность в коленном суставе</i>	
Никогда не появляется	25
Редко, во время занятий спортом или других сильных напряжениях	20
Часто, во время занятий спортом или других сильных напряжениях	15
Периодически, в обычной жизни	10
Часто, в обычной жизни	5
При каждом шаге	0
<i>Блокировка коленного сустава</i>	
Не блокируется (или не улавливается ощущение)	15
Улавливается ощущение, но не блокируется	10
Периодически блокируется	6
Часто блокируется	2
Колено заблокировано постоянно	0
<i>Отёк мягких тканей коленного сустава</i>	
Не появляется	10
Появляется при тяжёлых нагрузках	6
Появляется при обычных нагрузках	2
Постоянно	0
<i>Ходьба по лестнице</i>	
Без проблем	10
С незначительным ограничением	6
Один шаг за раз	2
Невозможна	0
<i>Возможность садиться на корточки</i>	
Без проблем	5
С незначительным ограничением	4
Сгибание в колене не более 90°	2
Невозможно	0
<i>Результаты</i>	
Отлично	91–100
Хорошо	84–90
Удовлетворительно	65–83
Неудовлетворительно	≤ 64

Метод хирургического лечения больных

Общие этапы оперативного восстановления ПКС коленного сустава были следующие – операции проводились под СМА, реконструкция ПКС выполнялась артроскопически, сначала удаляли фрагменты поврежденной ПКС, готовили место footprint для дальнейшего формирования каналов в бедренной и большеберцовой костях.

В группе клинического сравнения оперативное лечение по реконструкции ПКС коленного сустава выполняли по ретроградной методике с использованием фиксаторов TightRope (Arthrex, США) под спинномозговой анестезией.

Техника забора сухожилия полусухожильной мышцы (*m. semitendinosus*) была следующей. Доступ к сухожилию выполняли из косо-линейного разреза 3–5 см по переднемедиальной поверхности в верхней трети голени. Глубина раны до достижения искомого сухожилия составляла 1–2 см. Непосредственно для забора сухожилия использовали инструмент из набора для пластики ПКС коленного сустава «Arthrex» (США), который погружали, согласно методике, на глубину не более 26 см до тех пор, пока не исчезало сопротивление. После забора сухожильного ауто трансплантата выполняли очистку его от сопутствующих мягких тканей (фрагменты мышц и сухожильных перемычек). Очистка выполнялась на специальном столике для препарирования сухожилий. В фиксаторах препаровочного столика устанавливали кортикальную пуговицу с затягивающейся во время установки петлей для последующей бедренной фиксации и петлю нити, используемой для дальнейшей фиксации на голени, в результате чего формировались 2 петли друг напротив друга. Взятые сухожилие проводили через каждую петлю дважды, чтобы получился трансплантат из 4 пучков и свободные концы сухожилий сшивали между собой, который называется в дальнейшем базовым швом. Данная методика формирования трансплантата была описана J. H. Lubowitz в 2012 г. [94]. Следующим этапом в положении сгибания коленного сустава под углом 90°, отступив 5–7 мм от нижнего края внутренней поверхности наружного мыщелка бедренной кости и разделив пополам расстояние внутренней поверхности наружного мыщелка

в передне-заднем направлении, определяли точку установки бедренной насадки на универсальный направитель «Arthrex» (США). Затем устанавливали эндоскопическое оборудование в передне-медиальный доступ, а в передне-латеральный доступ устанавливали универсальный направитель «Arthrex» (США) с бедренной насадкой и по нему от бедренной кости внутрь в коленный сустав (антеградно) при помощи дрели ретроградным медицинским сверлом FlipCutter (Arthrex, США) высверливали канал длиной 25 мм и диаметром, соответствующим диаметру аутотрансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы. Затем удаляли универсальный направитель «Arthrex» и ретроградное медицинское сверло FlipCutter. В подготовленный бедренный канал устанавливали спицу-направляющую, в ушко которой была продета нить-проводник. Затем зажимом для артроскопических операций через передне-медиальный доступ к коленному суставу забирали нить-проводник и удаляли спицу-направляющую из бедренного канала. На наружный край медиального межмышечкового возвышения большеберцовой кости, отступив 5–7 мм кпереди от задней крестообразной связки, устанавливали тиббиальный направитель. В большеберцовой кости по тиббиальному направлению от большеберцовой кости внутрь в коленный сустав (ретроградно) при помощи дрели ретроградным медицинским сверлом FlipCutter высверливали канал длиной 25 мм и диаметром, соответствующим диаметру аутотрансплантата. Удаляли тиббиальный направитель и ретроградное медицинское сверло FlipCutter. В подготовленный большеберцовый канал устанавливали спицу-направляющую, в ушко которой продета нить-проводник. Затем зажимом для артроскопических операций через передне-медиальный доступ к коленному суставу забирали нить-проводник и удаляли спицу-направляющую из большеберцового канала. Обе нити-проводники выводили из коленного сустава через один передне-медиальный доступ. Через установленные нити-проводники последовательно проводили концы аутотрансплантата в каналы бедренной и большеберцовой кости. Затем последовательно фиксировали и натягивали на бедренной и большеберцовой кости двумя самозатягивающимися фиксаторами TightRope (Arthrex, США). Обязательно проводили контроль аутотрансплантата, оценивая изометричность, натяжение

и наблюдая за возможным конфликтом, так называемым «импиджментом», между структурами коленного сустава и аутотрансплантатом. Удаляли тубус и оптическую трубку 30° диаметром 4 мм для артроскопии и заканчивали операцию наложением швов на кожу и асептической повязки.

В основной группе пациентам выполняли реконструктивную операцию ПКС коленного сустава по предлагаемой методике формирования трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

Техника забора сухожилия малоберцовой мышцы была следующей. При внутренней ротации голени на 30–45° чрескожно пальпировали сухожилие длинной малоберцовой мышцы на уровне голеностопного сустава, позади малоберцовой кости, отступив кзади на 1,5 см. Для забора сухожильного материала выполняли разрез кожи размером 3,5–5,0 см. Выделяли 1/2 толщины данного сухожилия, которую брали на держалку (Рисунок 18)

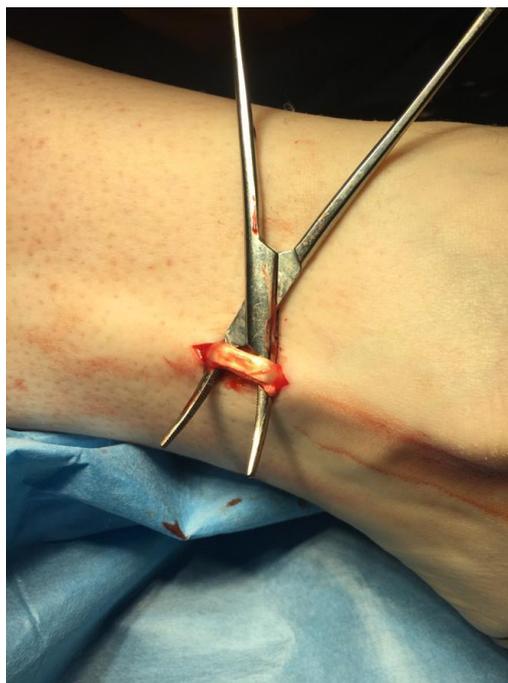


Рисунок 18 – Забор 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Специальным инструментом (стриппером) забирали 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы. Полученная часть сухожилия длинной малоберцовой мышцы имела длину 26–30 см (Рисунок 19)



Рисунок 19 – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

После забора 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы приступали к усилению его свободных концов с помощью накладного шва, который имеет два среза лавсановой нити № 4 (Рисунок 20).



а



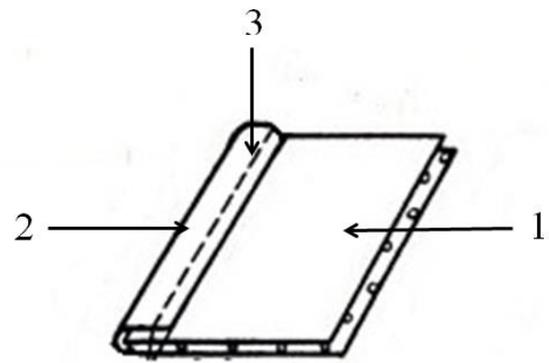
б

Рисунок 20 – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы: а – фото этапа операции; б – схема этапа операции; 1 – верхний конец; 2 – нижний конец

Затем один из свободных концов сухожилия накладывался на другой таким образом, чтобы свободный конец второго сухожилия получился длиной 5-6 мм. Далее конец, который был уже прошит, отворачивался на срез (Рисунок 21).



а



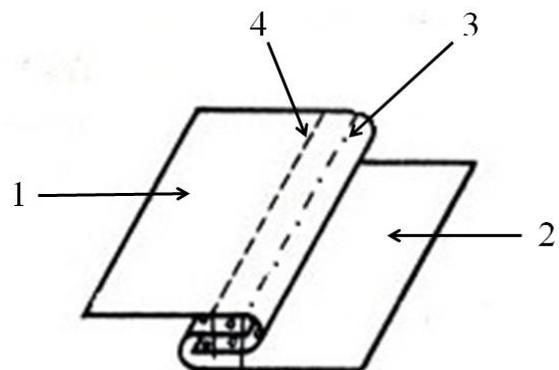
б

Рисунок 21 – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы:
 а – фото этапа операции; б – схема этапа операции; 1 – верхний конец;
 2 – нижний конец; 3 – первый ряд швов

По ширине сухожилия накладывали второй ряд швов (Рисунок 22).



а



б

Рисунок 22 – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы:
 а – фото этапа операции; б – схема этапа операции; 1 – верхний конец;
 2 – нижний конец; 3 – первый ряд швов; 4 – второй ряд швов

Далее прошивают часть сухожилия длинной малоберцовой мышцы с помощью двух рядов швов сгибают пополам таким образом, чтобы получился трансплантат из четырёх пучков, и прошивают его обвивным швом на 1,0–1,5 см с обоих концов нитями Vicryl 2-0 (Рисунок 23).



Рисунок 23 – Готовый аутографт из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Этапы проведения и фиксации сформированного аутографтата для восстановления ПКС коленного сустава в данной группе были аналогичны этапам в группе с использованием ретроградной методики с системой фиксации TightRope (Arthrex, США).

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение прочности сухожилия длинной малоберцовой мышцы

В ходе 1-го этапа экспериментального исследования была поставлена цель: изучить прочность сухожилия длинной малоберцовой мышцы в связи с отсутствием данных в научной литературе.

Были получены следующие показатели: среднее значение силы, достаточной для разрыва, составило $755,6 \pm 180,5$ Н; среднее удлинение, после которого осуществлялся разрыв – $13,1 \pm 4,6$ мм (Рисунок 24).

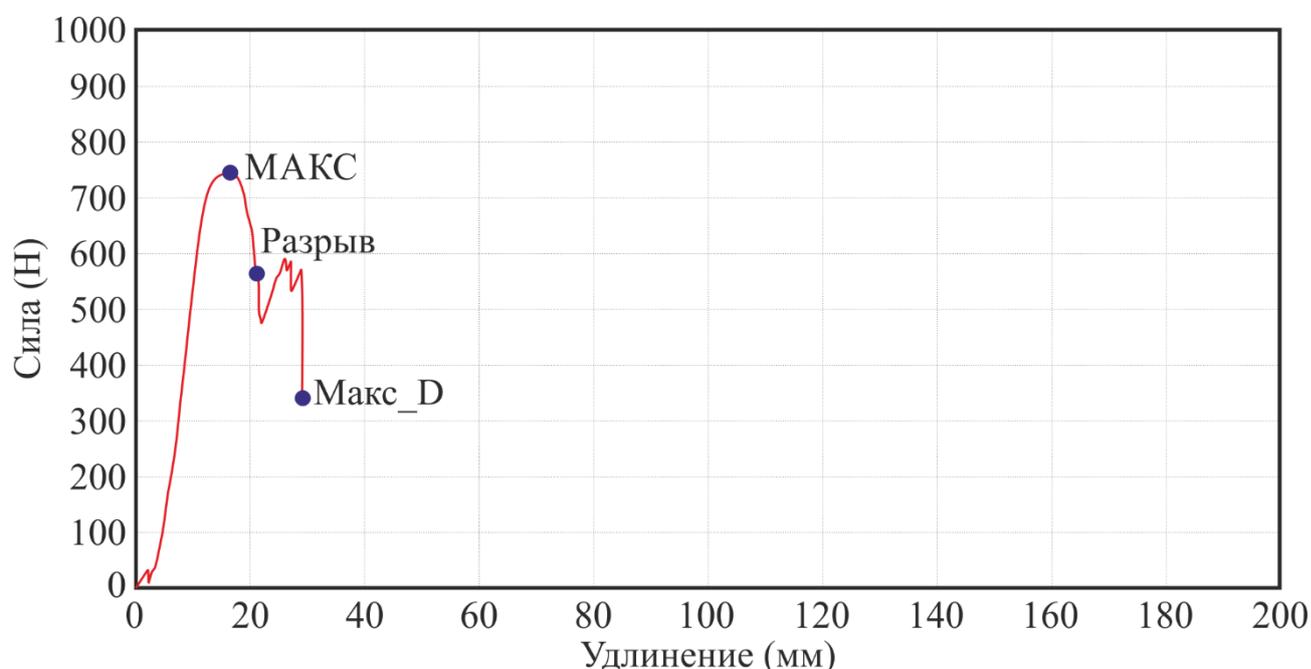


Рисунок 24 – Диаграмма механической прочности цельного сухожилия

Определение механической прочности модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленной по известному способу Lubowitz

На *втором этапе* экспериментального исследования нами было выявлено две фазы разрыва. В 1-ю фазу наблюдается разрыв свободного конца модели трансплантата; во 2-ю фазу оставшиеся порции тендотрансплантата выдерживали нагрузку, и происходило их растяжение, а затем полный разрыв.

На данном этапе экспериментального исследования получены следующие результаты: механическая прочность на разрыв составила $351,8 \pm 132,9$ Н, среднее растяжение при котором происходил разрыв, составило $26,4 \pm 14,9$ мм (Рисунок 25).

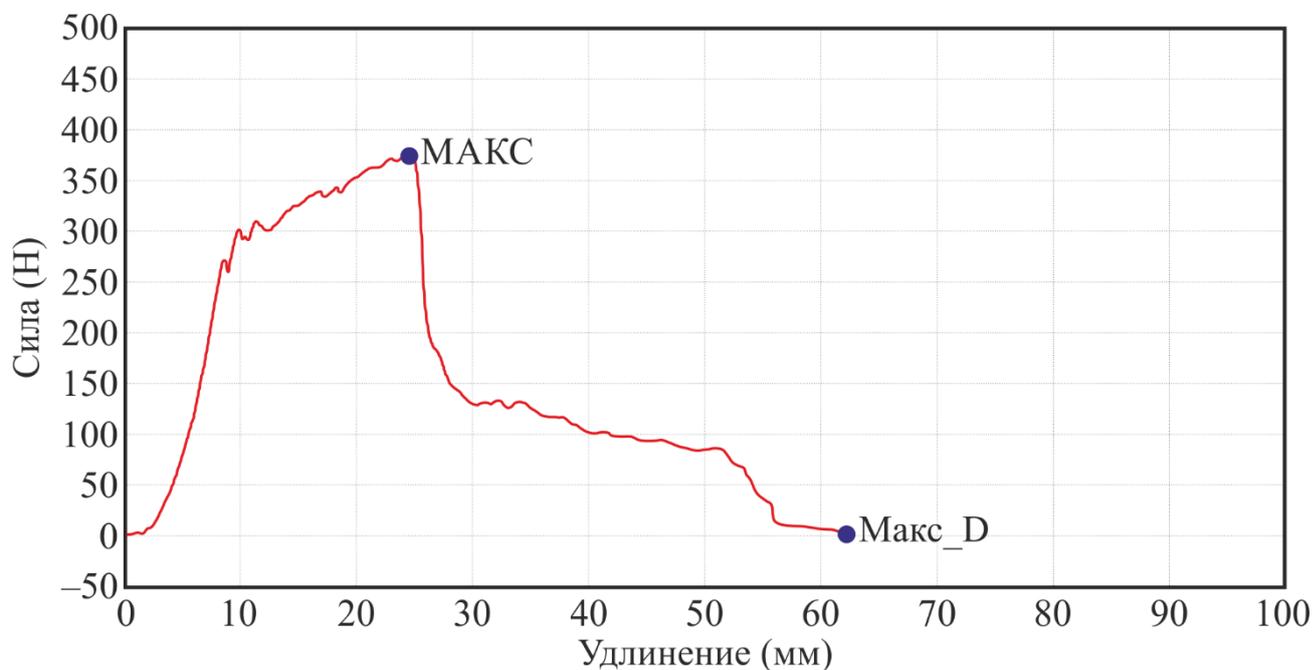


Рисунок 25 – Показатели механической прочности на разрыв модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленной по известному способу Lubowitz

Определение механической прочности модели трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленной по известному способу Lubowitz

На данном, *третьем этапе*, исследования результаты исследования были следующие: механическая прочность на разрыв составила $607,8 \pm 101,2$ Н, среднее растяжение при котором происходил разрыв, составило $51,38 \pm 35,7$ мм (Рисунок 26)

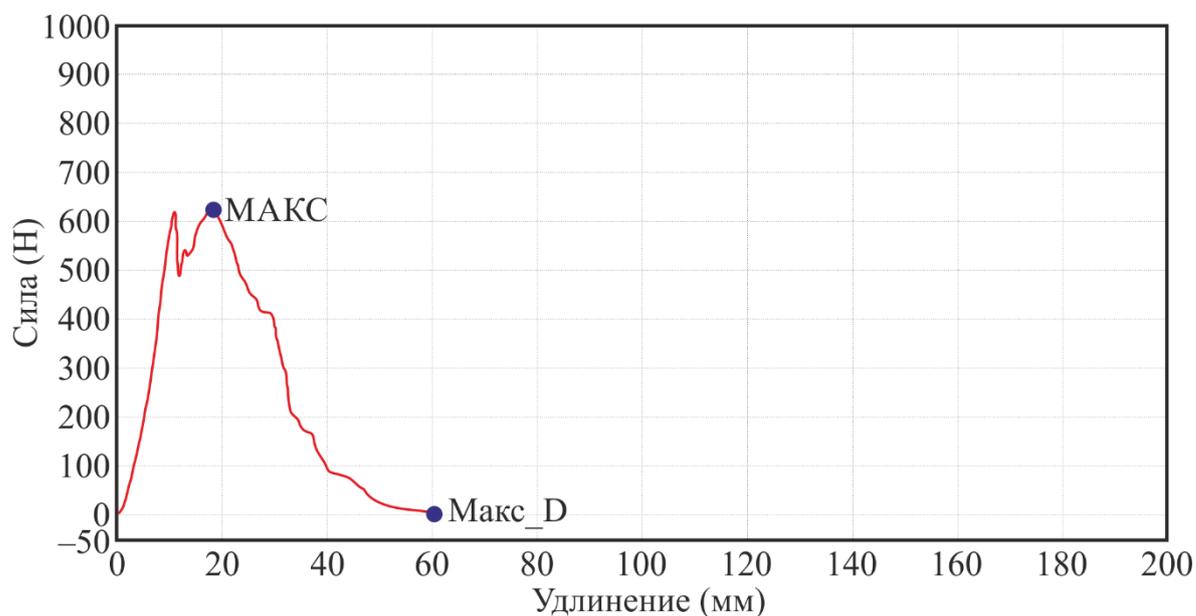


Рисунок 26 – Показатели механической прочности на разрыв модели трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленной по известному способу Lubowitz

Определение механической прочности модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленного новым способом

По итогу выполненного исследования определены следующие значения: механическая прочность на разрыв составила $633,0 \pm 193,45$ Н, среднее растяжение при котором происходил разрыв, составило $27,07 \pm 29,2$ мм (Рисунок 27).

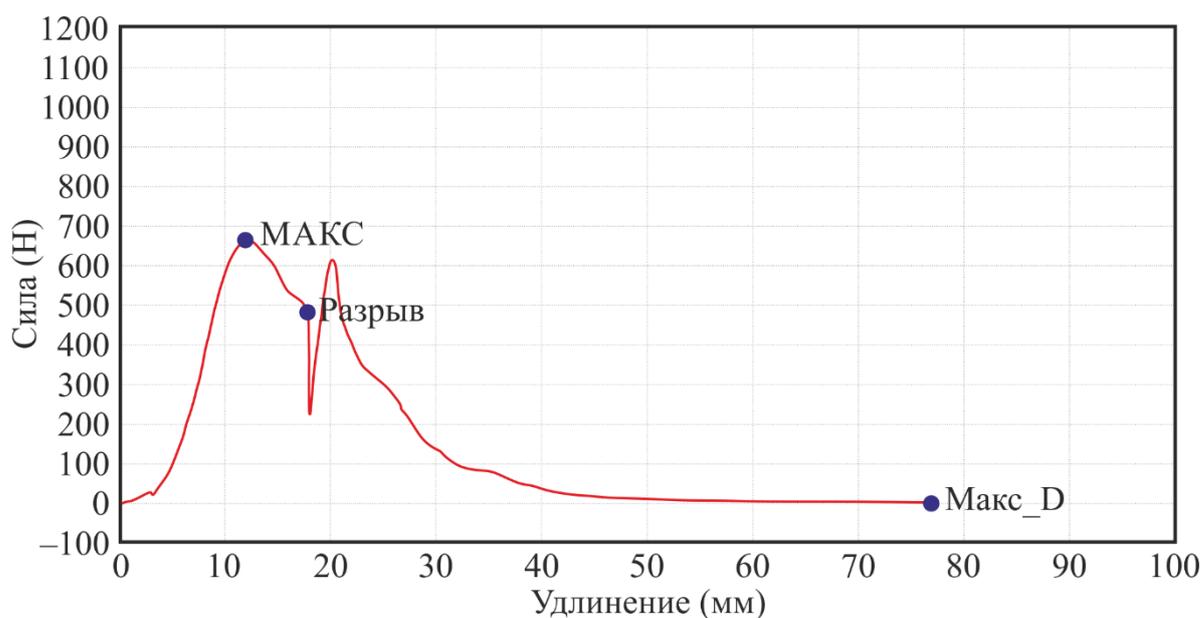


Рисунок 27 – Показатели механической прочности на разрыв модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленной новым способом

**Определение механической прочности модели трансплантата
из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы,
подготовленной новым способом**

Получены следующие данные нового исследования: среднее значение силы, достаточной для разрыва, составило $820,5 \pm 140,6$ Н; среднее удлинение – $17,96 \pm 7,52$ мм (Рисунок 28).

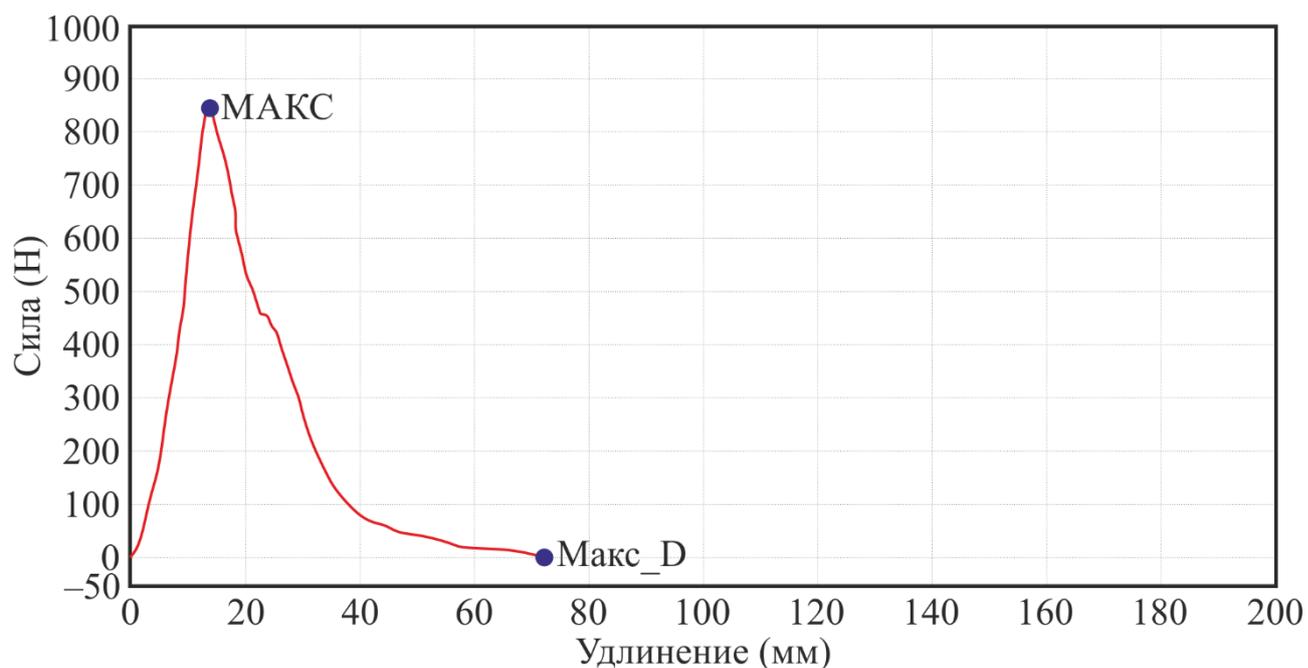


Рисунок 28 – Диаграмма прочности трансплантата из 1/2 сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленного с использованием нового способа

В начале экспериментального исследования нами были сформированы две группы:

В первой группе трансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы был подготовлен с помощью техники J. H. Lubowitz.

Во второй группе трансплантат из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы также был подготовлен с помощью техники J. H. Lubowitz.

В результате I этапа экспериментального исследования были продемонстрированы существенные отличия в группах по обоим критериям

исследования – силе и удлинению. На данном этапе исследования нами было выявлено две фазы разрыва. В 1-ю фазу происходил разрыв свободного конца модели трансплантата. Во 2-ю фазу оставшиеся порции трансплантата выдерживали нагрузку, и происходило их растяжение, а затем полный разрыв. Но учитывая данные литературы, где средняя нагрузка на разрыв нативной ПКС составляет 650 Н, нами было принято решение разработать и опробовать новый метод для подготовки трансплантатов, усиливающий базовый шов на свободных концах трансплантата (Таблица 4).

Таблица 4 – Данные экспериментального исследования по определению механической прочности и растяжимых свойств моделей трансплантатов, подготовленных по известной технике

Модель трансплантата	<i>n</i>	Среднее	Стандартное отклонение	<i>U</i>
Сила СПМ (GraftLink)	30	351,84	132,99	53,0**
Сила СДМ (GraftLink)		607,80	14,99	
Растяжение СПМ (GraftLink)	30	26,44	101,19	285,0*
Растяжение СДМ (GraftLink)		51,38	35,70	

Примечание: СПМ – сухожилие полусухожильной мышцы; СДМ – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы; *U* – критерий Манна – Уитни, * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$

В результате полученного патента РФ № 2717369 «Способ пластики передней крестообразной связки коленного сустава» нами были сформированы дополнительные 2 группы экспериментального исследования, в которых трансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленный по новой методике, сравнивали с моделью трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, также подготовленного по новой технике.

Согласно результатам этой части исследования, выявлены существенные отличия между группами по критерию силы: максимальные значения получены в четвертой группе (трансплантат из 1/2 толщины сухожилия длинной

малоберцовой мышцы, подготовленный по новой методике) – $820,52 \pm 140,63$ Н (Таблица 5).

Таблица 5 – Данные экспериментального исследования по определению механической прочности и растяжимых свойств моделей трансплантатов, подготовленных по новой технике

Модель трансплантата	<i>n</i>	Среднее	Стандартное отклонение	<i>U</i>
Сила СПМ (new)	30	633,00	193,45	190,0**
Сила СДММ (new)		820,52	29,20	
Растяжение СПМ (new)	30	27,07	140,63	60,0
Растяжение СДММ (new)		17,96	7,52	

Примечание: СПМ – сухожилие полусухожильной мышцы; СДММ – 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы; *U* – критерий Манна – Уитни, * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$

Стоит отметить, что во всех случаях выявлены статистически значимые отличия между выборками ($p < 0,01$).

Таким образом, исследование показало, что целиком сухожилие длинной малоберцовой мышцы оказалось малорастяжимым (средний показатель длины, достаточной для разрыва, составил $13,1 \pm 4,6$ мм). Среднего значения силы $755,6 \pm 180,5$ Н достаточно, чтобы использовать лишь половину толщины сухожилия для проведения пластики ПКС.

На основании данных исследования мы приходим к выводу, что практическое применение предлагаемого нами способа подготовки трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы с помощью усиливающего шва даёт возможность обеспечить лучшую прочность по сравнению с известным способом Lubowitz.

Кроме того, предполагается, что с учётом двух фаз разрыва и усиления базового конца трансплантата существует возможность значительного снижения риска рецидива и повторного разрыва в период реабилитации.

В этой связи можно с уверенностью предположить, что применение нового метода подготовки трансплантата даст возможность улучшить результаты лечения больных с исследуемой проблемой.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

На основании данных, полученных в экспериментальной части диссертационного исследования, для проведения хирургической операции у пациентов с повреждением передней крестообразной связки была применена оригинальная методика формирования аутотрансплантата с высокой механической прочностью. На предложенную методику получен патент РФ № 2717369 «Способ пластики передней крестообразной связки коленного сустава», а также была разработана новая медицинская технология по алгоритму разработки коленного сустава после операции [2]. По разработанной технологии реабилитацию проходили пациенты только в основной группе; в группе клинического сравнения пациенты реабилитировались по общепринятому алгоритму, разработанному Р. М. Тихиловым и соавт. в 2009 г. «Восстановительное лечение после реконструкции ПКС» [2].

Весь период реабилитации пациентов в основной группе был разделён на три этапа.

Первый этап – стационарный. В первую неделю стационарного лечения пациентам проводились криотерапия, смещение надколенника и лимфодренаж, изометрическая гимнастика четырёхглавой мышцы бедра. На следующие сутки после оперативного лечения пациентам разрешалось давать нагрузку на оперированную нижнюю конечность примерно 50 % веса тела. Пациенты передвигались при помощи костылей 3 суток, затем отказывались от костылей с постепенным переходом к полной нагрузке к 4 суткам после оперативного лечения.

На вторую неделю стационарного лечения добавляли упражнения на координацию, а также электромиостимуляцию мышц бедра и голени, активное сгибание в коленном суставе в «замкнутом контуре» до угла 50–60°.

Второй этап – амбулаторный. Через 3 недели после операции должны быть достигнуты угол сгибания в коленном суставе 90° и более и полный отказ от ношения брейса. Включаются занятия на велотренажёре (с высокой посадкой, минимальным сопротивлением и максимальной скоростью), а также упражнения, направленные на разработку движений в суставе. Для возобновления проприоцептивных связей трансплантата ПКС с мышцами бедра делают упор на усиление упражнений на координацию.

К 4-й неделе после операции добавляются занятия на степпере, неглубокие приседания на оперированной конечности $0-45^\circ$ без дополнительной нагрузки (только вес тела), спуск и подъём по ступеням лестницы.

По прошествии 5-ти недель после операции пациенты начинают активное разгибание и сгибание в коленном суставе с сопротивлением (занятия на блоковых тренажёрах, направленные на укрепление мышц бедра), а также продолжают выполнение упражнений на координацию с увеличением нагрузок.

К 6–7-й неделе после операции добавляются плавание – кролем и на спине, активное сгибание-разгибание в суставе с сопротивлением (жгут, блоковый тренажёр), быстрая ходьба, бег по беговой дорожке.

Третий этап – тренировочный. Через 13–30 недель после операции пациенты возвращаются к активным занятиям спортом, в том числе контактными видами спорта.

Для оценки результатов хирургического лечения пациентов с повреждением ПКС в основной и контрольной группах оценивались следующие критерии: сила и длительность боли в зоне хирургического вмешательства; сроки отказа вспомогательных средств для опоры; окружность бедра в дистальной трети; объём движений к коленному суставу после операции; оценка стабильности сустава; функциональная оценка коленного сустава по шкале Lysholm – Tegner; функциональная оценка голеностопного сустава и стопы после операции по шкале AOFAS (модификация Kitaoka).

4.1 Определение уровня болевого синдрома в области оперированного коленного сустава по визуально-аналоговой шкале (ВАШ)

Уровень болевого синдрома оценивался на сроках 3, 6, 12 месяцев после операции. Среднее значение данного критерия в основной группе составило $1,08 \pm 0,629$ балла, в группе клинического сравнения – $1,18 \pm 0,8$ балла. Статистически значимых отличий на данном сроке выявлено не было.

В основной группе наблюдения через 6 месяцев после восстановления ПКС, боли в области оперированного коленного сустава были минимальны, средний показатель боли составил $0,18 \pm 0,25$ балла. В группе клинического сравнения показатель боли составил $0,38 \pm 0,56$ балла. Статистически значимых отличий между группами через 6 месяцев после операции не выявлено.

В основной группе наблюдения через 12 месяцев после операции болевой синдром отсутствовал у всех пациентов, все пациенты вернулись к привычной физической активности. А в группе клинического сравнения уровень боли составил $0,18 \pm 0,38$ балла, но также статистически значимых отличий на данном сроке не было.

Таким образом, интенсивность болевого синдрома не влияет на сроки реабилитации в основной группе, что позволяет пациенту раньше приступать к реабилитации и в более интенсивном режиме ее проходить. При этом ускоряются сроки реабилитации пациентов после восстановления ПКС (Таблица 6).

Таблица 6 – Определение уровня боли по ВАШ по срокам

Сроки	ОГ ($n = 19$)	ГКС ($n = 25$)	T
3 месяца после операции	$1,08 \pm 0,629$	$1,18 \pm 0,8$	3,83
6 месяцев после операции	$0,18 \pm 0,25$	$0,38 \pm 0,56$	3,83
12 месяцев после операции	0	$0,18 \pm 0,38$	–

Примечание: T – критерий Уилкоксона

При оценке однородности выборки «12 месяцев после операции» обнаружен один выброс с отклонением от средней на 4,12 стандартного отклонения, эта варианта была удалена из анализа и поэтому проведение сравнения между группами ОГ и ГКС не представляется возможным.

4.2 Срок отказа от средств дополнительной опоры

В основной группе пациентам разрешалась на следующий день нагрузка на оперированную нижнюю конечность до 60% веса тела, пациенты использовали костыли с опорой на локоть с постепенным увеличением нагрузки до полной к 3-му дню после операции и отказом от средств дополнительной опоры, который в среднем составил $3,2 \pm 1,1$ суток.

Во второй группе, группе клинического сравнения, пациентам разрешалось давать нагрузку на оперированную нижнюю конечность на следующий день лишь до 20–25 % веса тела, ходили пациенты с использованием костылей в течение 6–7 дней с постепенным переходом к полной нагрузке. Пациенты отказывались от костылей в среднем через $7,4 \pm 1,3$ суток после операции (Таблица 7).

Таблица 7 – Различия в исследуемых группах по срокам отказа от средств дополнительной опоры (сутки)

Критерий (сутки)	ОГ ($n = 19$)	ГКС ($n = 25$)	p
Отказ от средств дополнительной опоры	$3,2 \pm 1,1$	$7,4 \pm 1,3$	0,003*

Примечание: p – статистическая значимость различий между группами; * – различия между ОГ и ГКС статистически значимы при $p \leq 0,05$

4.3 Измерение окружности дистальной трети бедра в сравнении с контрлатеральной стороной

Оценка окружности дистальной трети бедра оперированной конечности в сравнении с контрлатеральным бедром через 3 месяца после операции показала

следующее. Средняя разница окружности дистальной трети бедра в основной группе составила $1,57 \pm 1,162$ см (асимметрия 0,666; эксцесс $-0,487$). В группе клинического сравнения в среднем разница окружности бедра составила $4,74 \pm 1,7207$ (асимметрия 0,149; эксцесс 0,793). Выявлены статистически значимые отличия по критерию T ($p < 0,01$).

Статистически значимая разница окружности дистальной трети бедра между основной группой и группой клинического сравнения на сроке 3 месяца после операции, вероятнее всего, связана со сроком иммобилизации в ортезе оперированной нижней конечности. В основной группе ортез снимали уже через 3–4 недели после операции, тогда как в группе клинического сравнения – на сроке 8–9 недель после операции.

Через 6 месяцев после операции средняя разница окружности дистальной трети бедра в основной группе составила $1,37 \pm 1,270$ см (асимметрия 0,776; эксцесс $-0,612$). В группе клинического сравнения разница окружности дистальной трети бедра в среднем составила $3,26 \pm 1,5487$ см (асимметрия 0,281; эксцесс $-0,445$). Выявлены статистически значимые отличия по критерию T ($p < 0,01$).

На сроке 12 месяцев после операции в основной группе средняя разница окружности бедра в дистальной трети составила $1,32 \pm 1,317$ см (асимметрия 0,726; эксцесс $-0,728$), в группе клинического сравнения – $1,6 \pm 1,0104$ см (асимметрия 0,461; эксцесс $-1,039$). Статистически значимых отличий по критерию T выявлено не было ($p = 0,22$) (Таблица 8).

Таблица 8 – Различия в исследуемых группах по гипотрофии дистальной трети бедра

Сроки	ОГ ($n = 19$)	ГКС ($n = 25$)	T
3 месяца после операции	$1,57 \pm 1,162$	$4,74 \pm 1,7207$	4,35**
6 месяцев после операции	$1,37 \pm 1,270$	$3,26 \pm 1,5487$	4,05**
12 месяцев после операции	$1,32 \pm 1,317$	$1,6 \pm 1,0104$	1,54

Примечание: T – критерий Уилкоксона; ** – $p < 0,01$

4.4 Амплитуда движений коленного сустава

Измерение объёма движений в коленном суставе проводили через 0-проходящий метод.

Сгибание коленного сустава через 3 месяца после операции в основной группе в среднем составило $128,42 \pm 9,287^\circ$ (асимметрия 0,169; эксцесс $-0,283$), разгибание – 0° . В группе клинического сравнения сгибание коленного сустава в среднем составило $109,6 \pm 9,120^\circ$ (асимметрия $-0,185$; эксцесс $-0,470$), разгибание – 0° . Для оценки статистической значимости различий окружности дистальной трети бедра использовался *T*-критерий Уилкоксона ($p < 0,01$). По данному критерию были выявлены статистически значимые отличия.

На сроке 6 месяцев после операции отмечалось статистически значимое улучшение сгибания в коленном суставе в основной группе – в среднем $137,89 \pm 5,353^\circ$ (асимметрия 0,378; эксцесс 0,092), разгибание – 0° . В группе клинического сравнения сгибание коленного сустава на данном сроке в среднем составило $124,8 \pm 8,098^\circ$ (асимметрия $-0,186$; эксцесс $-0,711$), разгибание – 0° . На данном сроке после операции также получены статистически значимые отличия между группами по *T*-критерию ($p < 0,05$). Согласно полученным результатам сравнения, уже через 3 месяца, со дня операции, в основной группе зарегистрированы лучшие результаты по сравнению с группой клинического сравнения, в которой эти же показатели были достигнуты только к 6 месяцам.

Через 12 месяцев после операции объём движений в коленном суставе также показал статистически значимое улучшение и составил в основной группе в среднем $145,79 \pm 3,441^\circ$ (асимметрия $-0,021$, эксцесс $-0,662$), разгибание – 0° . В группе клинического сравнения в среднем сгибание коленного сустава составило $134,6 \pm 6,110^\circ$ (асимметрия $-0,431$; эксцесс $-0,163$), разгибание – 0° . На сроке 12 месяцев после операции результаты у пациентов группы клинического сравнения соответствуют результатам пациентов основной группы на сроке 6 месяцев после операции (Таблица 9).

Таблица 9 – Определение различий в исследуемых группах по амплитуде движения коленного сустава

Сроки	ОГ ($n = 19$)	ГКС ($n = 25$)	T
3 месяца после операции	128,42 ± 9,287	109,6 ± 9,120	4,16**
6 месяцев после операции	137,89 ± 5,353	124,8 ± 8,098	2,25*
12 месяцев после операции	145,79 ± 3,441	134,6 ± 6,110	0,26

Примечание: T – критерий Уилкоксона; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$

4.5 Оценка стабильности коленного сустава после оперативного вмешательства

Оценку стабильности сустава после проведённой операции проводили при помощи трёх специфических тестов:

- тест «переднего выдвигающего ящика»;
- тест Лахмана;
- тест ротационной стабильности коленного сустава (pivot-shift test).

По прошествии трёх месяцев после оперативного вмешательства передняя нестабильность коленного сустава III степени в группе практически не наблюдалась; переднюю нестабильность I–II степени наблюдали у 7 (36,8 %) пациентов. Тест ротационной стабильности коленного сустава через 3 месяца после операции был отрицательным у всех пациентов. В группе клинического сравнения на данном сроке передняя нестабильность III степени коленного сустава не была выявлена, а передняя нестабильность I–II степени выявлена у всех 25 (100 %) пациентов, в том числе нестабильность I степени – у 10 пациентов, II степени – у 15 пациентов.

На сроке 6 месяцев после операции в основной группе передняя нестабильность коленного сустава III степени не выявлена; также сохраняется передняя нестабильность I–II степени у тех же 7 пациентов. В группе клинического сравнения на сроке 6 месяцев после операции передней нестабильности коленного сустава III степени не было выявлено. Передняя

нестабильность I–II степени выявлена у 24 (96 %) пациентов, в том числе нестабильность I степени – у 14 пациентов, II степени – у 10 пациентов.

Через 12 месяцев после операции в основной группе показатели стабильности коленного сустава не изменились. В группе клинического сравнения у 20 (80 %) пациентов остаётся остаточная передняя нестабильность коленного сустава I–II степени.

4.6 Оценка функциональных результатов по шкале

Lysholm – Tegner

Различий функциональных результатов коленного сустава до операции по шкале Lysholm – Tegner в обеих группах выявлено не было (Т-критерий; $p < 0,05$).

Функциональные результаты через 3 месяца после операции, в сравнении с данными до операции, в основной группе показали статистически значимые отличия $T = 3,70$ ($p < 0,01$). Во второй группе (клинического сравнения), также было выявлено статистически значимое улучшение результатов через 3 месяца после операции в сравнении с дооперационным периодом $T = 4,38$ ($p < 0,01$).

Функциональные результаты через 6 месяцев после операции были статистически значимо лучше, чем функциональные результаты через 3 месяца после операции $T = 3,70$ ($p < 0,01$). Аналогичное статистически значимое отличие получено в группе клинического сравнения на сроке 6 и 3 месяца после операции $T = 4,38$ ($p < 0,01$).

К 12 месяцам после операции так же отмелось значимое улучшение результатов, чем до операции $T = 3,82$ ($p < 0,01$). Аналогичные результаты получены и в группе клинического сравнения на сроке 12 месяцев после операции $T = 4,27$ ($p < 0,01$).

Через 6 месяцев после операции функциональные результаты в основной группе (Рисунок 29) были сопоставимы с функциональными результатами в группе клинического сравнения (Рисунок 30) на сроке 12 месяцев после операции (Таблица 10).

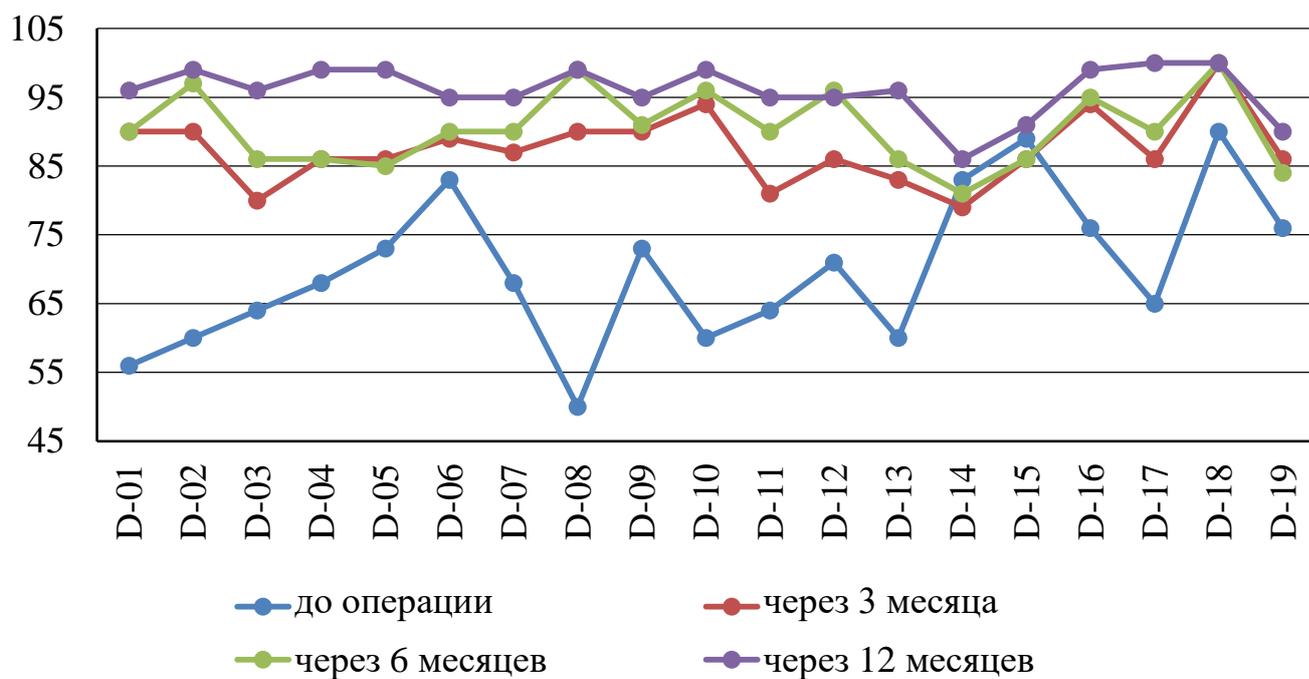


Рисунок 29 – Функциональные результаты по шкале Lysholm – Tegner
в основной группе

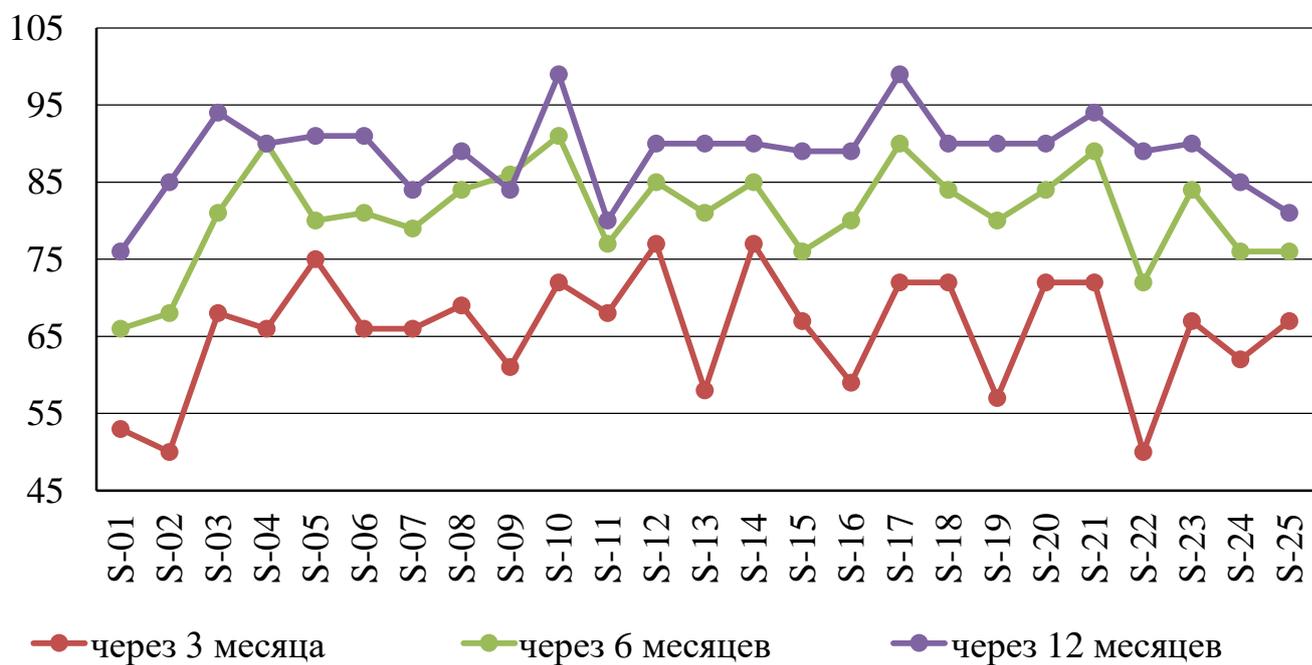


Рисунок 30 – Функциональные результаты по шкале Lysholm – Tegner
в группе клинического сравнения

Таблица 10 – Различия в исследуемых группах по функциональной шкале Lysholm – Tegner

Сроки	Медиана ОГ (<i>n</i> = 19)	Медиана ГС (<i>n</i> = 25)	<i>T</i>
3 месяца после операции	86,0	67,0	4,38**
6 месяцев после операции	90,0	81,0	4,38**
12 месяцев после операции	96,0	90,0	4,27**
12 месяцев после операции	96,0	90,0	4,27**

Примечание: *T* – критерий Уилкоксона; ** – $p < 0,01$

Таким образом, шкала Lysholm – Tegner позволяет оценить функциональный результат хирургической операции хронической передней нестабильности коленного сустава в различные сроки послеоперационного лечения пациентов с застарелым полным разрывом передней крестообразной связки коленного сустава, где материалом для пластики служит 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

4.7 Функциональные результаты состояния голеностопного сустава и стопы по шкале AOFAS

В предоперационном периоде у 19 пациентов при оценке функционального состояния голеностопного сустава и стопы по шкале AOFAS на стороне забора 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы результат составил 100 баллов, т. е. патологии со стороны голеностопного сустава и стопы на момент осмотра не было.

Через 3 месяца после операции у 19 пациентов оценка функционального состояния голеностопного сустава и стопы также составила 100 баллов. Жалоб на нарушения со стороны забора 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы и функционального состояния голеностопного сустава и стопы пациенты не предъявляли.

Новый способ подготовки трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы по шкале AOFAS (модификация Kitaoka) дает значимое субъективное улучшение состояния пациента, повышая качество его жизни. Пациент на следующие сутки после операции передвигается без средств дополнительной опоры, приступая к ранней реабилитации. Использование 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы не приводит к утрате функции голеностопного сустава и стопы. Взятие предложенной 1/2 толщины сухожилия длиной малоберцовой мышцы значительно проще и безопаснее, чем сухожилий «гусиной лапки».

В соответствии с результатами анализа шкалы AOFAS (модификация Kitaoka), пациенты, которым выполнялась реконструкция ПКС предлагаемым способом, в более ранние сроки снимали ортез и отказывались от костылей, раньше приступали к реабилитационным мероприятиям, что способствовало к ускоренному восстановлению коленного сустава.

4.8 Клинический пример

Больной К., 31 года, поступил в клинику ИНЦХТ на плановое оперативное лечение с Диагнозом: застарелое полное повреждение ПКС коленного сустава слева. Посттравматическая передняя нестабильность левого коленного сустава III степени. Повреждению сопутствовал артроз коленного сустава I–II степени и контрактура (тугоподвижность) коленного сустава. Имел место умеренно выраженный болевой синдром.

Пациент предъявлял жалобы на дискомфорт и боль в суставе во время и после физической нагрузки, которые уменьшались при приёме нестероидных анальгетиков. Также отмечались чувство нестабильности в коленном суставе и потеря возможности осуществлять привычные движения левой конечностью.

В анамнезе заболевания имелась травма сустава, которая была получена больным за 8 месяцев до поступления в клинику во время футбольной игры. Был получен удар в область сустава. После повреждения пациент обратился

в травматологический пункт, где ему поставили диагноз: гемартроз с повреждением капсульно-связочного аппарата.

Для снятия симптомов было назначено медикаментозное лечение, которое не привело к желаемым результатам и имело низкую эффективность. Далее больной получил направление в клинику ИНЦХТ, где прошёл полное инструментальное обследование. Были проведены рентгенография, МРТ коленного сустава и поставлен предварительный диагноз: повреждение передней крестообразной связи левого сустава и посттравматическая нестабильность III степени.

Клинический осмотр показал, что больной может передвигаться без дополнительных средств опоры, хромота отсутствует. Осмотр наружных кожных покровов показал сглаженные контуры сустава; отёк в данной области отсутствовал. Дальнейший осмотр выявил гипертрофическое состояние мышц бедра, которое составляло:

- в верхней трети – до 4 мм;
- в средней трети – до 7 мм;
- в нижней трети – до 13 мм.

Присутствовали симптомы «переднего выдвигающего ящика»; тесты Лахмана и ротационной нестабильности показали положительные результаты.

Болезненность ощущалась при движении в коленном суставе при сгибании и разгибании под углом 120/0/0 слева и 145/0/0 справа. При осевой нагрузке болевые ощущения не наблюдались. Оценка по шкале Lysholm – Tegner составила 71 балл, по шкале AOFAS – 100 баллов.

По итогу рентгенографического исследования был выявлен гонартроз I–II степени в левом суставе. Комплексное обследование дало основание поставить предварительный диагноз: повреждение ПКС в левом коленном суставе застарелого характера и передняя посттравматическая нестабильность III степени, гонартроз II степени с умеренным болевым синдромом. Для более точной постановки диагноза больному дополнительно выполнено МРТ-исследование (Рисунок 31).



Рисунок 31 – МРТ-визуализация разрыва ПКС: стрелка – разрыв ПКС

Согласно протоколу исследования, выполнена операция по предлагаемому хирургическому способу. Все манипуляции проводились под спинномозговой анестезией; через два парапателлярных разреза в полости сустава был введён артроскоп под углом 30° . С помощью визуализации были выявлены разрыв передней крестообразной связки и её отрыв от латерального мыщелка бедренной кости.

С помощью продольного разреза величиной до 3,5 см по задне-наружной поверхности в нижней левой части голени были рассечены мягкие ткани, затем послойно выделили сухожилие длинной малоберцовой мышцы. Далее от него была отделена часть $1/2$ толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы длиной 28,0 см (Рисунок 32).

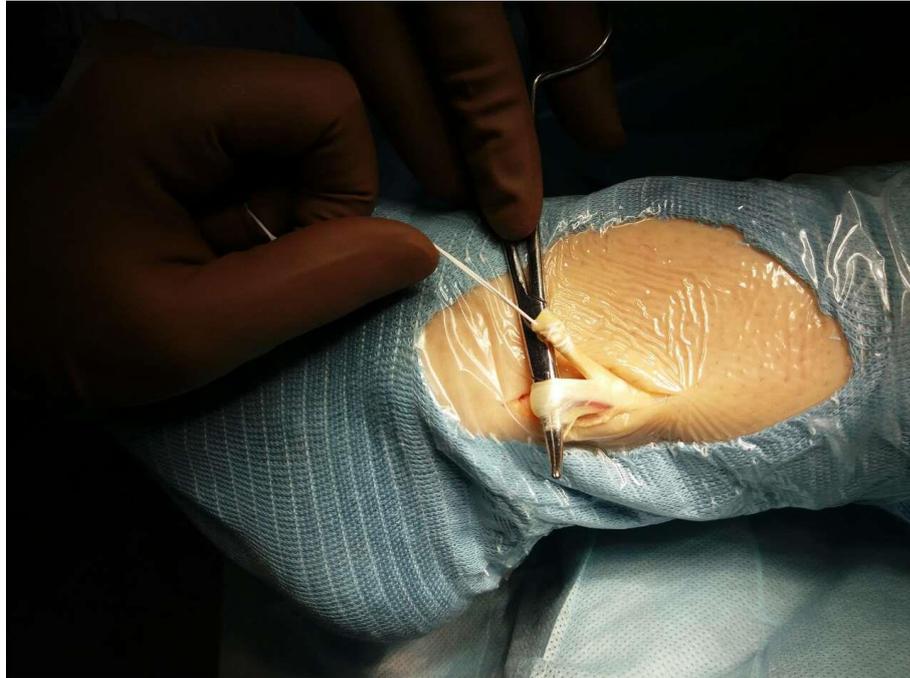


Рисунок 32 – Доступ на голени, выделение 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

С помощью стриппера выполнен забор 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы (Рисунок 33).



Рисунок 33 – Забор 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы при помощи стриппера

Затем на препаровочном столике дистальные концы сухожилия прошили по предложенной методике (Рисунок 34).

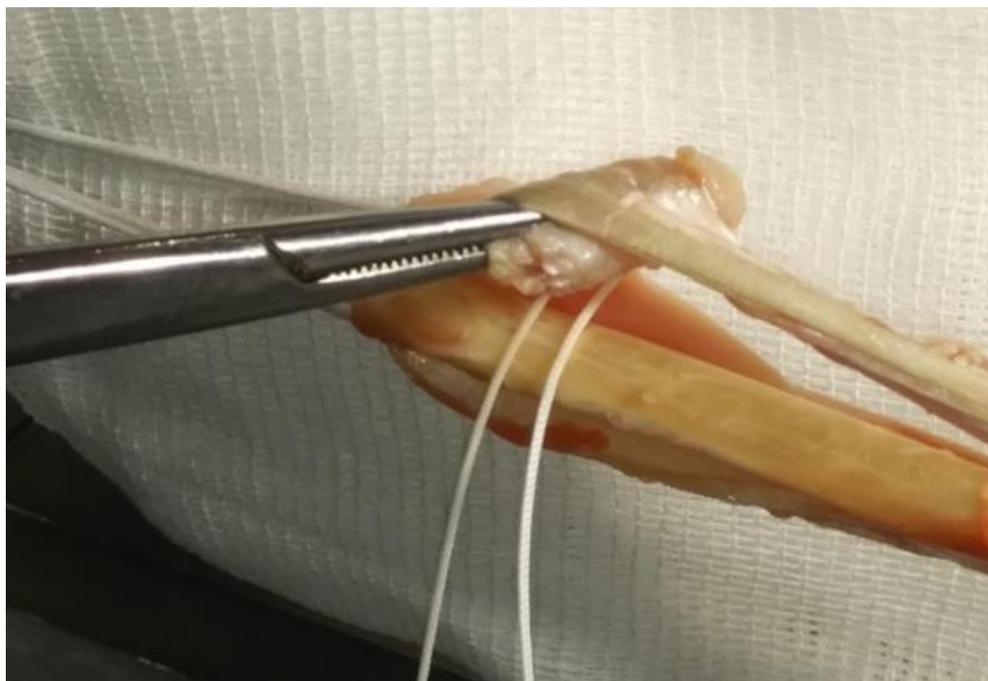


Рисунок 34 – Усиление свободного конца (шов «в замок») ауто трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Полученный четырёхпучковый ауто трансплантат прошили с двух концов на 1,5 см обвивным швом. Длина готового ауто трансплантата составила 6,0 см, диаметр – 9,0 мм (Рисунок 35).



Рисунок 35 – Готовый ауто трансплантат из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы

На следующем этапе операции с помощью аблятора был выполнен дебриджмент сустава. Затем при помощи артроскопического доступа и сверла Flipcutter (Arthrex, США) был сформирован сквозной канал диаметром 3,5 мм и слепой канал диаметром 9 мм и длиной 25 мм.

С использованием сверла Flipcutter был выполнен сквозной тиббиальный канал размером 3,5 мм и далее слепой канал диаметром 9,0 и длиной 30 мм. После протяжки аутотрансплантата в бедренном и тиббиальном каналах его зафиксировали системой TightRope (Arthrex, США). После всех проведённых манипуляций не выявлено ограничений объёма движений в суставе; конфликта трансплантата с задней крестообразной связкой и мышечковой вырезкой бедренной кости не наблюдалось.

С помощью артроскопического крючка проверяли ориентацию и натяжение трансплантата (в норме); проводили тесты Лахмана и «переднего выдвигающего ящика», которые показали отрицательный результат.

Выполнен гемостаз по ходу операции; доступы послойно ушиты. Проведён дренаж сустава по Редону и наложена асептическая повязка. Для профилактики тромбоза глубоких вен и тромбоэмболии лёгочных артерий нижние конечности были забинтованы эластичным бинтом. Также выполнена фиксация коленного сустава ортезом в положении разгибания (Рисунок 36).

После оперативного вмешательства проводились рентгенологическое исследование коленного сустава в нескольких проекциях (Рисунок 37) и МРТ-исследование коленного сустава (Рисунок 38).



Рисунок 36 – Фиксация коленного сустава после операции



а

б

Рисунок 37 – Рентгенография коленного сустава после операции
в прямой (а) и боковой (б) проекциях

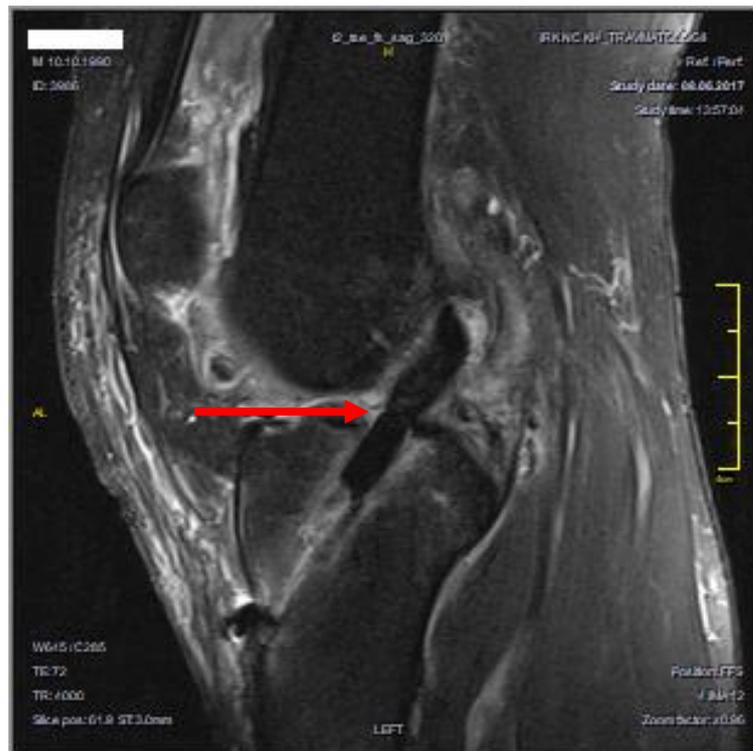


Рисунок 38 – МРТ коленного сустава после операции:
 стрелка – ауто трансплантат из 1/2 толщины сухожилия длинной
 малоберцовой мышцы

Через 3 суток после хирургической операции пациент жаловался на боль слабой интенсивности в области вмешательства. Общее время нахождения пациента на стационарном лечении составило 7 дней, и к моменту выписки общее состояние включало следующие показатели:

- отсутствовали болевые ощущения на прооперированном коленном суставе;
- температура тела не превышала норму;
- опорная способность нижней конечности полностью восстановилась в условиях фиксации брейсом в положении полного разгибания;
- согласно проведённой ультразвуковой доплерографии сосудов, не наблюдалось венозных тромбозов;
- признаки синовита и гемартроза в суставе отсутствовали.

Через 1 месяц и 2 дня с момента операции пациенту был снят ортез коленного сустава, и начался активный этап его реабилитации. Также

по прошествии этого времени не выявлены жалобы, отёк и признаки, указывающие на нестабильность в коленном суставе. Согласно проведённому исследованию, объём движений в суставе составил: активное сгибание/разгибание – 115/0/0 (Рисунок 39).



Рисунок 39 – Активное сгибание (а) и разгибание (б) коленного сустава через 1 месяц после операции

Объём движения в голеностопном суставе по 0-проходящему методу составил: сгибание/разгибание – 45/0/30 (Рисунок 40).



а

б

Рисунок 40 – Активное сгибание (а) и разгибание (б) стопы

Показатели пронации/супинации стопы составили 25/0/45 (Рисунок 41).
Болевой синдром не выражен.



а

б

Рисунок 41 – Пронация (а) и супинация (б) стопы

По прошествии 2 месяцев с момента проведённой операции пациент вернулся к прежнему ритму повседневной жизни и восстановил работоспособность. На контрольном осмотре через 3 месяца с момента операции, пациент жалоб не предъявлял; передвигался самостоятельно, не используя средства дополнительной опоры.

Послеоперационные рубцы при осмотре не имели признаков воспаления и отёка; боль при пальпации не ощущалась. Симптомы Байкова, Штеймана и Перельмана показали отрицательный результат. Кроме того, связочный комплекс оставался стабильным, отсутствовали симптомы переднего и заднего выдвигающего ящика, а тест Лахмана показал отрицательный результат.

После измерения дефицит окружности бедра в сравнении со здоровой ногой составил не более 0,8 см по всей протяжённости. Движения в суставе наблюдались в полном объёме и без болезненных ощущений. Каких-либо сосудистых, двигательных нарушений и патологий нервной проводимости не выявлено. Результат функциональной пробы по шкале Lysholm – Tegner составил 86 баллов, по шкале AOFAS – 100 баллов.

Пациент возобновил занятия любительским спортом.

Контрольный осмотр, который был проведён через полгода после хирургической операции, показал, что пациент передвигается самостоятельно, без вспомогательных средств, полностью опираясь на конечность. Внешний осмотр не выявил отёков, покраснений и воспалений со стороны рубцов.

Повторные тесты связочного комплекса показали его стабильность, отсутствие симптома выдвигающего ящика, внутреннего и наружного бокового качания. Также не выявлен дефицит окружности прооперированной конечности по сравнению со здоровой.

Пациент продолжил полноценно заниматься любительским спортом; остаточной передней нестабильности, повторного разрыва - не было.

Ещё один контрольный осмотр через 1 год после операции показал способность пациента передвигаться полностью самостоятельно, без вспомогательных средств. Внешний осмотр не выявил отклонений

и патологических процессов в области оперированной конечности. Как и на прошлом измерении, повторные тесты связочного комплекса показали его стабильность, отсутствие симптомов выдвижного ящика, внутреннего и наружного бокового качания; тест Лахмана отрицательный. Также не выявлен дефицит окружности прооперированной конечности по сравнению со здоровой.

Следовательно, можно сделать вывод, что новый хирургический способ лечения больных с полным изолированным разрывом передней крестообразной связи демонстрирует свою клиническую эффективность и целесообразность.

Заключение

В данной главе оценивались клинические результаты пациентов, пролеченных с применением подготовки аутотрансплантата для реконструкции ПКС по предлагаемому способу, в сравнении с известным способом подготовки аутотрансплантата. При оценке болевого синдрома в области оперативного вмешательства, по шкале ВАШ, не было выявлено статистически значимых отличий, из чего можно сделать заключение, что интенсивность болевого синдрома на сроке 3, 6 месяцев после операции не оказывает негативного влияния на реабилитацию, а на сроке 12 месяцев после операции болевой синдром и вовсе отсутствует.

В основной группе пациенты отказывались от средств дополнительной опоры на сроке $3,2 \pm 1,1$ дня после операции, что в 2 раза быстрее, чем в группе клинического сравнения, где пациенты отказывались от костылей через $7,4 \pm 1,3$ дней после операции, что, безусловно, оказывало положительное влияние на психологические аспекты реабилитации пациентов.

По степени гипотрофии окружности бедра на оперированной стороне различия на сроке 3 и 6 месяцев после операции были статистически значимы. Вероятнее всего это было связано со сроками иммобилизации оперированной нижней конечности в ортезе, так как в основной группе ортез снимали уже через 3–4 недели после операции, тогда как в группе клинического сравнения – на сроке 2–2,5 месяца после операции.

Субъективная оценка послеоперационной реабилитации оценивалась по шкале Lysholm – Tegner. Уже через 3 месяца после операции результаты в основной группе были значимо лучше, чем в группе клинического сравнения, в которой аналогичные результаты были достигнуты лишь на сроке 6 месяцев с момента операции. А к 6 месяцам после операции в основной группе результаты были сопоставимы с результатами группы клинического сравнения на сроке 12 месяцев с момента операции. Это указывает на то, что пациенты в основной группе гораздо раньше вернулись к занятию спортом и к своей трудовой деятельности.

Таким образом, предлагаемый новый способ подготовки аутотрансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы для реконструкции ПКС наглядно продемонстрировал свою клиническую эффективность.

ГЛАВА 5 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленное диссертационное исследование было предпринято в качестве необходимости улучшения клинических результатов реконструкции передней крестообразной связки. Несмотря на тот факт, что данное вмешательство является одним из наиболее распространённых среди ортопедических операций, частота неудовлетворительных клинических исходов продолжает оставаться на высоком уровне: так, только в США свыше 200 000 человек в год страдают от разрыва ПКС.

Известные хирургические методики реконструкции ПКС направлены на восстановление анатомии утраченной ПКС, анатомическое проведение каналов на бедренной и большеберцовой кости и на наш взгляд недостаточно внимания уделяется подготовке трансплантата. В некоторых исследованиях описывают причины растяжения и разрыва трансплантата, которые имеют непосредственное отношение к способу подготовки трансплантата. Значимое место выделяется слабости или недостаточной прочности свободных концов трансплантата, так называемый «базовый шов». По данным некоторых авторов разрыв базового шва свободных концов трансплантата происходит в 90 % случаев [34, 55, 75, 78, 82, 114].

В связи с чем мы попытались найти оптимальный трансплантат и способ его подготовки для дальнейшей реконструкции ПКС, имеющий достаточную механическую прочность в зоне базового шва свободных концов трансплантата, и минимизирующий негативные последствия для биомеханики нижней конечности и способствующий возможности ранней активизации пациентов в послеоперационном периоде.

Для этого было принято решение использовать сухожилие длинной малоберцовой мышцы, которое располагается вне проекции коленного сустава, что играет немаловажную роль в ранней реабилитации пациентов. Важно отметить, что нами было решено забирать лишь 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, при этом полностью сохранив функцию голеностопного

сустава и стопы, так как длинная малоберцовая мышца является сгибателем и пронатором стопы.

С целью подтверждения выдвигаемой нами гипотезы, мы провели экспериментальное исследование, с целью определения механической прочности изучаемых сухожилий и моделей трансплантатов, подготовленных двумя разными вариантами: в технике J. H. Lubowitz и с помощью предлагаемой техники с усиливающим швом свободных концов трансплантата. Исследование проводилось на трупном материале после получения одобрения ЛЭК для проведения экспериментального исследования на трупном материале и письменного разрешения главного судебно-медицинского эксперта г. Иркутска.

Первым этапом мы определяли механическую прочность целиком сухожилия длинной малоберцовой мышцы. Сила, при которой происходил разрыв целого сухожилия длинной малоберцовой мышцы, составляет $755,6 \pm 180,5$ Н. Полученной силы достаточно, чтобы использовать для реконструкции ПКС лишь 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

Следующим этапом мы изучали прочность трансплантатов из сухожилия полусухожильной и 1/2 толщины длинной малоберцовой мышц, подготовленных двумя разными способами (способ, предложенный Lubowitz и предлагаемый способ с усиливающим швом свободных концов трансплантата). Разрыв трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленного предлагаемым новым способом, происходил при усилии $820,5 \pm 140,6$ Н, что в 1,4–2,3 раза выше в сравнении с другими моделями трансплантатов, подготовленных с помощью разных способов.

На основании данных, полученных в экспериментальной части диссертационного исследования, была разработана оригинальный способ формирования ауто трансплантата, позволяющий увеличить механическую прочность ауто трансплантата. На предложенную методику получен патент РФ № 2717369 «Способ пластики передней крестообразной связки коленного сустава».

Следующим этапом оригинальный способ формирования аутотрансплантатов для реконструкции ПКС был внедрен нами в травматолого-ортопедические отделения № 1 и № 2 клиники ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии».

У пациентов отмечалась статистически значимая разница окружности средней трети бедра между основной группой и группой клинического сравнения через 3 месяца после операции, что, вероятнее всего, связано со сроком иммобилизации в ортезе оперированной нижней конечности. Так, в основной группе ортез снимали уже через 3–4 недели после операции, тогда как в группе клинического сравнения – на сроке 8–9 недель после операции.

Оценка стабильности коленного сустава после операции проводилась, как и до операции, при помощи клинических тестов, «переднего выдвигающего ящика», Лахмана и теста определения ротационной стабильности коленного сустава. У 7 пациентов основной группы как через 3 месяца, так и через 12 месяцев после операции сохранялась остаточная передняя нестабильность в коленном суставе I–II степени, тогда как в группе клинического сравнения передняя остаточная нестабильность I–II степени через 3 месяца после операции была отмечена у всех 25 пациентов, а в отдалённые сроки после операции – у 20 пациентов.

Предложенная нами методика ускоряет процессы реабилитации пациентов, которая подтверждается результатами объема движений и комплексной оценкой результатов по шкале Lysholm – Tegner. Так в группе клинического сравнения через 6 месяцев после операции результаты объема движений соответствовали результатам основной группы, достигнутым уже к 3 месяцам после операции. Функциональные результаты коленного сустава по шкале Lysholm – Tegner в основной группе через 6 месяцев после операции соответствовали результатам в группе клинического сравнения на сроке 12 месяцев после операции.

Таким образом, период реабилитации пациентов в послеоперационном периоде сокращался от 3-х до 6-ти месяцев. Что происходило за счёт того, что швы свободных концов трансплантата, подготовленного по новой методике,

на ранних этапах реабилитации выдерживают кинетическую силу сгибания коленного сустава, и не происходит разрыва свободного конца трансплантата и его растяжения.

Функциональное состояние голеностопного сустава и стопы в основной группе оценивали по шкале AOFAS (модификация Kitaoka). Через 3, 6 и 12 месяцев после операции у всех 19 пациентов результаты по данной шкале составили 100 баллов, как и до операции. Это говорит о том, что использование 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы не только не нарушает, но и полностью сохраняет функции голеностопного сустава и стопы.

Таким образом, предложенный нами способ реконструкции ПКС с использованием трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленного оригинальным способом, является более надёжным и эффективным, чем реконструкция ПКС с использованием трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленного по технике J. H. Lubowitz.

ВЫВОДЫ

1. Современные способы подготовки трансплантата для пластики передней крестообразной связки позволил выявить следующие недостатки: реконструкция передней крестообразной связки с подготовкой трансплантата способом J. H. Lubowitz показала высокий процент остаточной передней нестабильности коленного сустава после операции, которая в 90 % случаев связана с разрывом базового шва в области свободных концов трансплантата.

2. Механическая прочность целого сухожилия длинной малоберцовой мышцы, определенной в экспериментальном исследовании, составила $755,6 \pm 180,5$ Н. Полученной механической прочности достаточно, чтобы использовать лишь 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы.

3. Экспериментально доказано, что прочность модели трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленного по разработанному способу ($820,5 \pm 140,6$ Н), в 2,3 раза превышает прочность модели трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, подготовленного по известному способу J. H. Lubowitz ($351,8 \pm 133,0$ Н).

4. Анализ результатов хирургического лечения пациентов с полным разрывом передней крестообразной связки с применением ауто трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, подготовленной новым способом, показал сокращение срока реабилитации на 3 месяца в сравнении с группой клинического сравнения. Функциональные результаты по субъективной шкале оценки Lysholm – Tegner через 6 месяцев (медиана – 90 баллов) после операции у пациентов, оперированных по предлагаемому способу, сопоставимы с результатами пациентов группы клинического сравнения через 12 месяцев (медиана – 90 баллов) после операции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При выявленном у пациента разрыве передней крестообразной связки, подтвержденном клиническими и инструментальными методами рекомендовано выполнение артроскопической реконструкции ПКС с использованием 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы, так как анатомически данное сухожилие расположено вне области коленного сустава, а использование 1/2 толщины не оказывает негативного влияния на функцию голеностопного сустава и стопы.

2. На этапе формирования трансплантата из 1/2 толщины сухожилия длинной малоберцовой мышцы для увеличения его прочностных характеристик рекомендуется использовать предложенный способ формирования, что доказано в ходе экспериментального изучения его механической прочности.

3. В послеоперационном периоде следует придерживаться следующих рекомендаций: коленный сустав фиксируется в ортезе в положении полной экстензии, на 2-е сутки после операции разрешается ходьба без костылей, активные движения в коленном суставе разрешаются со 2-х суток после операции до 40°, к концу 1-й недели пациенты активно сгибают коленный сустав до 90°, к концу 2-й недели после операции пациенты активно сгибают коленный сустав до 110°, снятие ортеза происходит через 3–4 недели после операции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АOFAS** – Американское общество хирургов стопы и голеностопного сустава
(англ. American Orthopaedic Foot & Ankle Society)
- ВТВ** – трансплантат из собственной связки надколенника с двумя костными блоками (англ. bone – tendon – bone)
- QT** – сухожилие латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра
(англ. quadriceps tendon)
- SGT** – сухожилие полусухожильной и тонкой мышц
(англ. semitendinosus & gracilis tendon)
- ВАШ** – визуально-аналоговая шкала
- ГКС** – группа клинического сравнения
- ИНЦХТ** – ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»
- ЛФК** – лечебная физкультура
- ЛЭК** – локальный этический комитет
- МРТ** – магнитно-резонансная томография
- ОГ** – основная группа
- ПКС** – передняя крестообразная связка
- УЗИ** – ультразвуковое исследование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров, В. И. Программа реабилитации пациентов, перенесших пластику передней крестообразной связки коленного сустава / В. И. Айдаров, Э. Р. Хасанов, И. Ф. Ахтямов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2020. – Т. 97, № 2. – С. 29–35.

2. Алгоритм ведения пациентов после реконструкции передней крестообразной связки : методические рекомендации по использованию новой медицинской технологии / И. Н. Михайлов, Н. В. Тишков, М. Э. Пусева [и др.]. – Иркутск : Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 2019. – 24 с.

3. Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки ауто трансплантатом собственной связки надколенника / Б. С. Убайдуллаев, Р. Н. Хакимов, Ш. Х. Азизов, О. А. Ганиев // Вестник экстренной медицины. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 28–33.

4. Ахтямов, И. Ф. Современные методы восстановительного лечения пациентов после артроскопической реконструктивной пластики передней крестообразной связки коленного сустава: обзор литературы / И. Ф. Ахтямов, В. И. Айдаров, Э. Р. Хасанов // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 121–127. – DOI: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-121-127

5. Банцер, С. А. Возможно ли анатомичное размещение костных туннелей при использовании чрезбольшеберцовой техники реконструкции передней крестообразной связки? / С. А. Банцер, А. П. Трачук, О. Е. Богопольский // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии : Материалы конференции молодых ученых Северо-Западного федерального округа, Санкт-Петербург (Санкт-Петербург, 14 апреля 2017 г.). – СПб., 2017. – С. 13–16.

6. Восстановительное лечение после реконструкции ПКС: методические рекомендации / Р. М. Тихилов, А. П. Трачук, О. Е. Богопольский, Т. В. Серебряк. – СПб., 2009. – 46 с.

7. Добрынина, Л. А. Физическая реабилитация спортсменов после пластики передней крестообразной связки в период восстановления

/ Л. А. Добрынина // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2019. – Т. 2, № 168. – С. 115–117.

8. Жидкая среда для низкотемпературной консервации биологических трансплантатов : Пат. № 2235462 Рос. Федерация ; заявитель и патентообладатель Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена / Савельев В. И., Губин А. В. – № 2001126413/15 ; заявл. 28.09.2001 ; опубл. 10.09.2004. – Бюл. № 25.

9. Жирнова, Т. Т. Диагностика разрывов передней крестообразной связки у военнослужащих различными методами лучевой диагностики / Т. Т. Жирнова, С. В. Городничий, Э. Ю. Дмитриева // Главный врач Юга России. – 2017. – Т. 4, № 57. – С. 14–16.

10. К вопросу о КТ анатомии мягких тканей коленного сустава / Д. А. Пихута, Ю. А. Абович, О. Ю. Бронов [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 81–84.

11. Кожевников, Е. В. Пластическое восстановление передней крестообразной связки свободным ауто трансплантатом из сухожилия длинной малоберцовой мышцы / Е. В. Кожевников, П. А. Баженов // Политравма. – 2011. – № 1. – С. 76–81.

12. Комогорцев, И. Е. Артроскопическое лечение нестабильности коленного сустава с применением полиэфиров имплантатов / И. Е. Комогорцев // Сборник статей X Юбилейного артроскопического конгресса Российского артроскопического общества. – СПб., 2013. – С. 102–104.

13. Копытина, П. А. Сравнение анатомической и транстибиальной методик артроскопической реконструкции передней крестообразной связки / П. А. Копытина, Е. А. Юрьева // Вестник научных конференций. – 2019. – № 6-2(46). – С. 59–61.

14. Механическая прочность фиксации имплантатов передней крестообразной связки / В. Б. Богатов, А. В. Лычагин, А. Р. Дрогин, Е. А. Чекулаев // Российский журнал биомеханики. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 390–397. – DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2018.3.09

15. Орлецкий, А. К. Результаты пластики передней крестообразной связки с использованием трансплантата из сухожилий полусухожильной и тонкой мышц и связки надколенника / А. К. Орлецкий, Л. Л. Буткова, Д. О. Тимченко // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2011. – № 4. – С. 16–18.

16. Орлецкий, А. К. Совершенствование методов фиксации трансплантатов при реконструкции передней крестообразной связки / А. К. Орлецкий, Д. О. Тимченко // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2008. – № 9. – С. 1–6.

17. Оценка состояния биорезорбируемых винтов и костной ткани в отдаленном периоде после пластики передней крестообразной связки / Е. А. Звездкина, А. А. Ахпашев, Е. А. Джамбинова [и др.] // Opinion Leader. – 2020. – № 6(35). – С. 86–93.

18. Поиск критериев несостоятельности ауто- и аллотрансплантатов передней крестообразной связки коленного сустава в раннем послеоперационном периоде / А. В. Рыбин, И. А. Кузнецов, В. П. Румакин [и др.] // Актуальные проблемы травматологии и ортопедии : Сборник научных статей, посвященный 110-летию РНИИТО им. Р. Р. Вредена. – СПб., 2016. – С. 236–242.

19. Прогноз развития переднего импинджмент-синдрома трансплантата передней крестообразной связки при предоперационном планировании / В. В. Заяц, А. К. Дулаев, А. В. Дыдыкин [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – Спецвып. – С. 110.

20. Прохоренко, В. М. Хирургическое лечение нестабильности коленного сустава (обзор литературы) / В. М. Прохоренко, С. М. Фоменко, Р. О. Симагаев // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 2. – С. 60.

21. Результаты применения двухпучковой пластики передней крестообразной связки синтетическим имплантатом при ее полном разрыве / А. М. Шорманов, Н. Х. Бахтеева, Р. Ш. Садыков [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2015. – Т. 11, № 4. – С. 566–569.

22. Роль артроскопии в комплексной диагностике последствий травм коленного сустава у детей / Е. В. Ворончихин, В. В. Кожевников,

Л. Г. Григоричева, В. В. Тимофеев // Практическая медицина. – 2017. – № 6(107). – С. 22-26.

23. Сапрыкин, А. С. Структура операций ревизионной пластики передней крестообразной связки: анализ 257 наблюдений / А. С. Сапрыкин, М. В. Рябинин, Н. Н. Корнилов // Травматология и ортопедия России. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 29–37. – DOI: 10.17816/2311-2905-1783

24. Сапрыкин, А. С. Эпидемиологическая характеристика пациентов с повреждениями передней крестообразной связки, проходивших лечение в РНИИТО им. Р.Р. Вредена / А. С. Сапрыкин, М. В. Рябинин, Н. Н. Корнилов // Современные достижения травматологии и ортопедии : Сб. науч. статей. – СПб. : Российский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, 2018. – С. 218–220.

25. Сластинин, В. В. Использование трансплантата из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки (преимущества, проблемы и пути их решения) / В. В. Сластинин, А. М. Файн, А. Ю. Ваза // Трансплантология. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 317–324. – DOI: 10.23873/2074-0506-2017-9-4-317-324

26. Способ пластики крестообразных связок коленного сустава : Пат. № 2631107 Рос. Федерация ; МПК А61В 17/00 (2006.01) / Умханов Х. А., Умханов Х. Х. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет». – № 2016117782 ; заявл. 05.05.2016 ; опубл. 18.09.2017. – Бюл. № 26.

27. Ультразвуковое исследование при повреждении мягкотканых структур коленного сустава / Д. Ж. Якубов, Д. М. Муродуллаева, О. А. Хамидов, Г. М. Мардиева // Достижения науки и образования. – 2020. – Т. 2, № 56. – С. 96–100.

28. Федулова, Д. В. Применение средств и форм ЛФК в реабилитации людей после операции на крестообразных связках коленного сустава

/ Д. В. Федулова, Д. А. Давыдов, Н. Б. Серова // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2016. – Т. 1, № 4. – С. 59–64.

29. Функциональные результаты реконструкции передней крестообразной связки у военнослужащих с применением различных аутотрансплантатов / Р. А. Федоров, О. В. Рикун, Р. В. Гладков [и др.] // Хирургия повреждений, критические состояния. Спаси и сохрани : Сборник материалов Пироговского форума (Москва, 25–26 мая 2017 г.); под ред. В. И. Зоря [и др.]. – М. : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2017. – С. 464.

30. Хирургическое лечение передней нестабильности коленного сустава у спортсменов и людей с активным образом жизни / С. М. Фоменко, В. М. Прохоренко, В. И. Шевцов, Р. О. Симагаев // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. – С. 166.

31. Экспериментально-морфологические аспекты несостоятельности сухожильных ауто- и аллотрансплантатов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава в раннем послеоперационном периоде / А. В. Рыбин, И. А. Кузнецов, В. П. Румакин [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 60–75. – DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75

32. Эффективность использования искусственной связки Lars при протезировании передней крестообразной связки коленного сустава / В. В. Гурьев, М. В. Паршиков, С. Ф. Гнетецкий [и др.] // Хирургия повреждений, критические состояния. Спаси и сохрани : Сборник материалов Пироговского форума (Москва, 25–26 мая 2017 г.); под ред. В. И. Зоря [и др.]. – М. : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2017. – С. 318.

33. A bigger suture diameter for anterior cruciate ligament all-inside graft link preparation leads to better graft stability: An anatomical specimen study / T. M. Tiefenboeck, L. Hirtler, M. Winnisch [et al.] // Knee. – 2018. – Vol. 25, № 3. – P. 427–433. – DOI: 10.1016/j.knee.2018.03.010

34. A biomechanical comparison of all-inside cruciate ligament graft preparation techniques / C. R. Wichern, K. C. Skoglund, J. G. O'Sullivan [et al.] // J. Exp. Orthop. – 2018. – Vol. 5, № 1. – P. 42. – DOI: 10.1186/s40634-018-0158-0

35. A comprehensive scoping review of tibial cysts after anterior cruciate ligament reconstruction / N. C. Barbosa, J. P. Campos, V. Capelão [et al.] // *J. Exp. Orthop.* – 2021. – Vol. 8, № 1. – P. 40. – DOI: 10.1186/s40634-021-00356-9

36. A systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of MRI for suspected ACL and meniscal tears of the knee / N. Phelan, P. Rowland, R. Galvin, J. M. O’Byrne // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, № 5. – P. 1525–1539. – DOI: 10.1007/s00167-015-3861-8

37. A systematic review of single- versus double-bundle ACL reconstruction using the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction scoring checklist / N. Desai, E. Alentorn-Geli, C. F. van Eck [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, № 3. – P. 862–872. – DOI: 10.1007/s00167-014-3393-7

38. ACL injury: How do the physical examination tests compare? / C. H. Koster, A. M. Harmsen, M. C. Lichtenberg, F. W. Bloemers // *J. Fam. Pract.* – 2018. – Vol. 67, № 3. – P. 130–134.

39. ACL reconstruction: Choosing the graft / G. Cerulli, G. Placella, E. Sebastiani [et al.] // *Joints.* – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 18–24.

40. ACL reconstruction with adjustable-length loop cortical button fixation results in less tibial tunnel widening compared with interference screw fixation / R. Mayr, V. Smekal, C. Koidl [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2020. – Vol. 28, № 4. – P. 1036–1044. – DOI: 10.1007/s00167-019-05642-9

41. Age, gender, quadriceps strength and hop test performance are the most important factors affecting the achievement of a patient-acceptable symptom state after ACL reconstruction / R. Cristiani, C. Mikkelsen, G. Edman [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2020. – Vol. 28, № 2. – P. 369–380. – DOI: 10.1007/s00167-019-05576-2

42. Allograft donor characteristics significantly influence graft rupture after anterior cruciate ligament reconstruction in a young active population / S. Shumborski, L. J. Salmon, C. Monk [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 48, № 10. – P. 2401–2407. – DOI: 10.1177/0363546520938777

43. Allograft tendons are a safe and effective option for revision ACL reconstruction: A clinical review / V. Condello, U. Zdanowicz, B. Di Matteo [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2019. – Vol. 27, № 6. – P. 1771–1781. – DOI: 10.1007/s00167-018-5147-4

44. Anatomical anterior cruciate ligament reconstruction: transtibial versus outside-in technique: SIGASCOT Best Paper Award Finalist 2014 / F. Matassi, L. Sirleo, C. Carulli, M. Innocenti // *Joints.* – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 6–14.

45. Anatomy and biomechanics of the native and reconstructed anterior cruciate ligament: Surgical implications / M. J. Kraeutler, R. M. Wolsky, A. F. Vidal, J. T. Bravman // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2017. – Vol. 99, № 5. – P. 438–445. – DOI: 10.2106/JBJS.16.00754

46. Anterior cruciate ligament laxity related to the menstrual cycle: An updated systematic review of the literature / L. Belanger, D. Burt, J. Callaghan [et al.] // *J. Can. Chiropr. Assoc.* – 2013. – Vol. 57, № 1. – P. 76–86.

47. Anterior cruciate ligament reconstruction: A comparative clinical study between adjustable and fixed length suspension devices / B. Uribe-Echevarria, J. A. Magnuson, A. Amendola [et al.] // *Iowa Orthop. J.* – 2020. – Vol. 40, № 1. – P. 121–127.

48. Anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis of outcomes for quadriceps tendon autograft versus bone-patellar tendon-bone and hamstring-tendon autografts / D. Mouarbes, J. Menetrey, V. Marot [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2019. – Vol. 47, № 14. – P. 3531–3540. – DOI: 10.1177/0363546518825340

49. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: A review of graft choice / D. A. Shaerf, P. S. Pastides, K. M. Sarraf, C. A. Willis-Owen // *World J. Orthop.* – 2014. – Vol. 5, № 1. – P. 23–29. – DOI: 10.5312/wjo.v5.i1.23

50. Anterior cruciate ligament reconstruction – Rehabilitation research methodological quality: A systematic review with world region comparisons / A. Proniewicz, P. Mazzone, J. Nyland [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, № 9. – P. 2960–2965. – DOI: 10.1007/s00167-015-3588-6

51. Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. A review of literature / C. Legnani, A. Ventura, C. Terzaghi [et al.] // *Int. Orthop.* – 2010. – Vol. 34, № 4. – P. 465–471. – DOI: 10.1007/s00264-010-0963-2

52. Anterior cruciate ligament ruptures in German elite soccer players: Epidemiology, mechanisms, and return to play / E. Schiffner, D. Latz, J. P. Grassmann [et al.] // *Knee.* – 2018. – Vol. 25, № 2. – P. 219–225. – DOI: 10.1016/j.knee.2018.01.010

53. Autografts vs synthetics for cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis / J. Sun, X. C. Wei, L. Li [et al.] // *Orthop. Surg.* – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. 378–387. – DOI: 10.1111/os.12662

54. Bioabsorbable versus metallic interference screws for graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction / P. Debieux, C. E. Franciozi, M. Lenza [et al.] // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2016. – Vol. 7, № 7. – CD009772. – DOI: 10.1002/14651858.CD009772.pub2

55. Biomechanical comparison of different tendon suturing techniques for three-stranded all-inside anterior cruciate ligament grafts / J. S. Yoo, S. J. Lee, J. E. Jang [et al.] // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2019. – Vol. 105, № 6. – P. 1101–1106. – DOI: 10.1016/j.otsr.2019.06.007

56. Biomechanical comparisons of current suspensory fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction / C. Jin, S. V. Paluvadi, S. Lee [et al.] // *Int. Orthop.* – 2018. – Vol. 42, № 6. – P. 1291–1296. – DOI: 10.1007/s00264-018-3780-7

57. Bone ingrowth into open architecture PEEK interference screw after ACL reconstruction / M. Lind, T. Nielsen, O. G. Sørensen [et al.] // *J. Exp. Orthop.* – 2020. – Vol. 7, № 1. – P. 68. – DOI: 10.1186/s40634-020-00285-z

58. Bone-patellar tendon-bone autograft could be recommended as a superior graft to hamstring autograft for ACL reconstruction in patients with generalized joint laxity: 2- and 5-year follow-up study / S. J. Kim, C. H. Choi, S. H. Kim [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2018. – Vol. 26, № 9. – P. 2568–2579. – DOI: 10.1007/s00167-018-4881-y

59. Brady, M. P. Clinical diagnostic tests versus MRI diagnosis of ACL tears / M. P. Brady, W. Weiss // *J. Sport Rehabil.* – 2018. – Vol. 27, № 6. – P. 596–600. – DOI: 10.1123/jsr.2016-0188
60. Brown, M. J. ACL allograft: Advantages and when to use / M. J. Brown, T. Carter // *Sports Med. Arthrosc. Rev.* – 2018. – Vol. 26, № 2. – P. 75–78. – DOI: 10.1097/JSA.0000000000000194
61. Cemented versus cementless fixation in total knee arthroplasty / F. Matassi, C. Carulli, R. Civinini, M. Innocenti // *Joints.* – 2014. – Vol. 1, № 3. – P. 121–125.
62. Change in anterior cruciate ligament graft choice and outcomes over time / C. C. Kaeding, A. D. Pedroza, E. K. Reinke [et al.] // *Arthroscopy.* – 2017. – Vol. 33, № 11. – P. 2007–2014. – DOI: 10.1016/j.arthro.2017.06.019
63. Choi, N. H. Clinical and radiological outcomes after hamstring anterior cruciate ligament reconstructions: Comparison between fixed-loop and adjustable-loop cortical suspension devices / N. H. Choi, B. S. Yang, B. N. Victoroff // *Am. J. Sports Med.* – 2017. – Vol. 45, № 4. – P. 826–831. – DOI: 10.1177/0363546516674183
64. Comparison of clinical, MRI and arthroscopic assessments of chronic ACL injuries, meniscal tears and cartilage defects / L. Felli, G. Garlaschi, A. Muda [et al.] // *Musculoskelet. Surg.* – 2016. – Vol. 100, № 3. – P. 231–238. – DOI: 10.1007/s12306-016-0427-y
65. Comparison of clinical results of anteromedial and transtibial femoral tunnel drilling in ACL reconstruction / L. Metso, K. M. Nyrhinen, V. Bister [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2020. – Vol. 21, № 1. – P. 341. – DOI: 10.1186/s12891-020-03351-w
66. Comparison of graft failure rate between autografts placed via an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction technique: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression / C. M. Gabler, C. A. Jacobs, J. S. Howard [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, № 4. – P. 1069–1079. – DOI: 10.1177/0363546515584043
67. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations / L. Hughes, B. Paton,

F. Haddad [et al.] // *Phys. Ther. Sport.* – 2018. – № 33. – P. 54–61. – DOI: 10.1016/j.ptsp.2018.07.002

68. Culvenor, A. G. ACL injuries: The secret probably lies in optimising rehabilitation / A. G. Culvenor, C. J. Barton // *Br. J. Sports Med.* – 2018. – Vol. 52, № 22. – P. 1416–1418. – DOI: 10.1136/bjsports-2017-098872

69. Dandy, D. J. Anatomy of the medial suprapatellar plica and medial synovial shelf / D. J. Dandy // *Arthroscopy.* – 1990. – Vol. 6, № 2. – P. 79–85. – DOI: 10.1016/0749-8063(90)90002-u

70. Depression symptomatology and anterior cruciate ligament injury: Incidence and effect on functional outcome – A prospective cohort study / G. H. Garcia, H. H. Wu, M. J. Park [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, № 3. – P. 572–579. – DOI: 10.1177/0363546515612466

71. Direct interference screw anchorage of the “hamstring” tendon in cruciate ligament replacement – Preliminary experimental and clinical experiences [Die direkte Interferenzschraubenverankerung der “hamstring” Sehnen beim Kreuzbandersatz – Erste experimentelle und klinische Erfahrungen] / N. P. Sudkamp, R. F. G. Hoffmann, M. Wagner, A. Weiler // *Hefte zur der Unfallchirurg.* – 2000. – № 275. – P. 246–247.

72. Does anteromedial portal drilling improve footprint placement in anterior cruciate ligament reconstruction? / S. Arno, C. P. Bell, M. J. Alaia [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2016. – Vol. 474, № 7. – P. 1679–1689. – DOI: 10.1007/s11999-016-4847-7

73. Drogset, J. O. Endoscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament using bone-patellar tendon-bone grafts fixed with bioabsorbable or metal interference screws: A prospective randomized study of the clinical outcome / J. O. Drogset, T. Grøntvedt, A. Tegnander // *Am. J. Sports Med.* – 2005. – Vol. 33, № 8. – P. 1160–1165. – DOI: 10.1177/0363546504272264

74. Duchman, K. R. Graft selection in anterior cruciate ligament surgery: Who gets what and why? / K. R. Duchman, T. S. Lynch, K. P. Spindler // *Clin. Sports Med.* – 2017. – Vol. 36, № 1. – P. 25–33. – DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.013

75. Effect of the number of suture throws on the biomechanical characteristics of the suture-tendon construct / C. K. Hong, C. L. Lin, C. H. Chang [et al.] // *Arthroscopy.* – 2014. – Vol. 30, № 12. – P. 1609–1615. – DOI: 10.1016/j.arthro.2014.06.029

76. Effectiveness of accelerated recovery performance for post-ACL reconstruction rehabilitation / A. R. Wright, A. B. Richardson, C. K. Kikuchi [et al.] // *Hawaii J. Health Soc. Welf.* – 2019. – Vol. 78, № 11, Suppl. 2. – P. 41–46.

77. Efficacy of two techniques in anterior cruciate ligament reconstruction / J. A. Hurt 3rd, J. H. Berry, W. Replogle [et al.] // *J. Knee Surg.* – 2017. – Vol. 30, № 6. – P. 606–611. – DOI: 10.1055/s-0036-1593966

78. Evaluating different closed loop graft preparation technique for tibial suspensory fixation in ACL reconstruction using TightRope™ / T. Sasho, T. Sasaki, H. Hoshi [et al.] // *Asia Pac. J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol.* – 2018. – № 12. – P. 5–11. – DOI: 10.1016/j.asmart.2018.01.002

79. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial / L. Hughes, S. D. Patterson, F. Haddad [et al.] // *Phys. Ther. Sport.* – 2019. – № 39. – P. 90–98. – DOI: 10.1016/j.ptsp.2019.06.014

80. Femoral tunnel position on conventional magnetic resonance imaging after anterior cruciate ligament reconstruction in young men: Transtibial technique versus anteromedial portal technique / J. H. Noh, Y. H. Roh, B. G. Yang [et al.] // *Arthroscopy.* – 2013. – Vol. 29, № 5. – P. 882–890. – DOI: 10.1016/j.arthro.2013.01.025

81. Five-strand hamstring autograft versus quadruple hamstring autograft with graft diameters 8.0 millimeters or more in anterior cruciate ligament reconstruction: Clinical outcomes with a minimum 2-year follow-up / R. Calvo, D. Figueroa, F. Figueroa [et al.] // *Arthroscopy.* – 2017. – Vol. 33, № 5. – P. 1007–1013. – DOI: 10.1016/j.arthro.2016.10.028

82. Fritsch, B. Graft preparation technique to optimize hamstring graft diameter for anterior cruciate ligament reconstruction / B. Fritsch, F. Figueroa, B. Semay // *Arthrosc. Tech.* – 2017. – Vol. 6, № 6. – P. e2169–e2175. – DOI: 10.1016/j.eats.2017.08.011

83. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review / W. R. Lowe, R. J. Warth, E. P. Davis, L. Bailey // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2017. – Vol. 25, № 3. – P. 239–249. – DOI: 10.5435/JAAOS-D-15-00710

84. Gait and plantar sensation changes following massage and textured insole application in patients after anterior cruciate ligament reconstruction / K. A. Collins, M. J. Turner, T. Hubbard-Turner, A. C. Thomas // *Gait Posture.* – 2020. – № 81. – P. 254–260. – DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.08.117

85. Geeslin, A. G. Editorial commentary: All-inside anterior cruciate ligament reconstruction: In pursuit of ideal graft fixation / A. G. Geeslin // *Arthroscopy.* – 2019. – Vol. 35, № 3. – P. 919–920. – DOI: 10.1016/j.arthro.2018.12.007

86. Gender differences in the restoration of knee joint biomechanics during gait after anterior cruciate ligament reconstruction / M. Asaeda, M. Deie, N. Fujita [et al.] // *Knee.* – 2017. – Vol. 24, № 2. – P. 280–288. – DOI: 10.1016/j.knee.2017.01.001

87. Gillquist, J. Reconstruction of old anterior cruciate ligament tears with a Dacron prosthesis. A prospective study / J. Gillquist, M. Odensten // *Am. J. Sports Med.* – 1993. – Vol. 21, № 3. – P. 358–366. – DOI: 10.1177/036354659302100306

88. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction / K. M. Lin, C. Boyle, N. Marom, R. G. Marx // *Sports Med. Arthrosc. Rev.* – 2020. – Vol. 28, № 2. – P. 41–48. – DOI: 10.1097/JSA.0000000000000265

89. Graft selection in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction / E. Romanini, F. D'Angelo, S. De Masi [et al.] // *J. Orthop. Traumatol.* – 2010. – Vol. 11, № 4. – P. 211–219. – DOI: 10.1007/s10195-010-0124-9

90. Grood, E. S. Cruciate ligament prosthesis: Strength, creep, and fatigue properties / E. S. Grood, F. R. Noyes // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1976. – Vol. 58, № 8. – P. 1083–1088.

91. Hamstring autograft versus patellar tendon autograft for ACL reconstruction: Is there a difference in graft failure rate? A meta-analysis of 47,613 patients / B. T. Samuelsen, K. E. Webster, N. R. Johnson [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2017. – Vol. 475, № 10. – P. 2459–2468. – DOI: 10.1007/s11999-017-5278-9

92. Hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: Does gracilis tendon harvest matter? / B. Barenius, W. K. Webster, J. McClelland, J. Feller // *Int. Orthop.* – 2013. – Vol. 37, № 2. – P. 207–212. – DOI: 10.1007/s00264-012-1672-9

93. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques / D. L. Hamner, C. H. Brown Jr., M. E. Steiner [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1999. – Vol. 81, № 4. – P. 549–557. – DOI: 10.2106/00004623-199904000-00013

94. Hewett, T. E. Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review / T. E. Hewett, B. T. Zazulak, G. D. Myer // *Am. J. Sports Med.* – 2007. – Vol. 35, № 4. – P. 659–668. – DOI: 10.1177/0363546506295699

95. Histological analysis of ACL reconstruction failures due to synthetic-ACL (LARS) ruptures / P. Di Benedetto, P. Giardini, A. Beltrame [et al.] // *Acta Biomed.* – 2020. – Vol. 91, № 4-S. – P. 136–145. – DOI: 10.23750/abm.v91i4-S.9702

96. Impact of hamstring graft diameter on tendon strength: A biomechanical study / M. R. Boniello, P. M. Schwingler, J. M. Bonner [et al.] // *Arthroscopy.* – 2015. – Vol. 31, № 6. – P. 1084–1090. – DOI: 10.1016/j.arthro.2014.12.023

97. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: A 21-year population-based study / T. L. Sanders, H. Maradit Kremers, A. J. Bryan [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, № 6. – P. 1502–1507. – DOI: 10.1177/0363546516629944

98. Influence of different tibial fixation techniques on initial stability in single-stage anterior cruciate ligament revision with confluent tibial tunnels: A biomechanical laboratory study / B. Schliemann, M. Treder, M. Schulze [et al.] // *Arthroscopy*. – 2016. – Vol. 32, № 1. – P. 78–89. – DOI: 10.1016/j.arthro.2015.06.044

99. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest / T. Tashiro, H. Kurosawa, A. Kawakami [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2003. – Vol. 31, № 4. – P. 522–529. – DOI: 10.1177/31.4.522

100. Kaeding, C. C. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries / C. C. Kaeding, B. Léger-St-Jean, R. A. Magnussen // *Clin. Sports Med.* – 2017. – Vol. 36, № 1. – P. 1–8. – DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.001

101. Knee injuries in american football: An epidemiological review / P. Rothenberg, L. Grau, L. Kaplan, M. G. Baraga // *Am. J. Orthop.* (Belle Mead, NJ). – 2016. – Vol. 45, № 6. – P. 368–373.

102. Kohn, L. Verletzung des vorderen Kreuzbandes beim Erwachsenen: Diagnostik und Therapie [Anterior cruciate ligament injury in adults: Diagnostics and treatment] / L. Kohn, E. Rembeck, A. Rauch // *Orthopäde*. – 2020. – Vol. 49, № 11. – P. 1013–1028. – DOI: 10.1007/s00132-020-03997-3

103. Krupa, S. Factors influencing the choice of graft type in ACL reconstruction: Allograft vs autograft / S. Krupa, P. Reichert // *Adv. Clin. Exp. Med.* – 2020. – Vol. 29, № 10. – P. 1145–1151. – DOI: 10.17219/acem/124884

104. Lubowitz, J. H. All-inside anterior cruciate ligament graft link: Graft preparation technique / J. H. Lubowitz // *Arthrosc. Tech.* – 2012. – Vol. 1, № 2. – P. e165–e168. – DOI: 10.1016/j.eats.2012.06.002

105. Mechanical properties of suspensory fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison of the fixed-length loop device versus the adjustable-length loop device / A. Eguchi, M. Ochi, N. Adachi [et al.] // *Knee*. – 2014. – Vol. 21, № 3. – P. 743–748. – DOI: 10.1016/j.knee.2014.02.009

106. Mechanisms and risk factors for noncontact ACL injury in age mature athletes who engage in field or court sports: A summary of the literature since 1980

/ B. G. Serpell, J. M. Scarvell, N. B. Ball, P. N. Smith // *J. Strength Cond. Res.* – 2012. – Vol. 26, № 11. – P. 3160–3176. – DOI: 10.1519/JSC.0b013e318243fb5a

107. Medial unicondylar knee arthroplasty combined to anterior cruciate ligament reconstruction / A. Ventura, C. Legnani, C. Terzaghi [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2017. – Vol. 25, № 3. – P. 675–680. – DOI: 10.1007/s00167-015-3808-0

108. Moore, R. R. Method for using a tendon stripper and leader set : Patent US 4773417 A / R. R. Moore, S. Lamb, E. M. Wolf. – 1988.

109. Murgier, J. Cryotherapy with dynamic intermittent compression for analgesia after anterior cruciate ligament reconstruction. Preliminary study / J. Murgier, X. Cassard // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2014. – Vol. 100, № 3. – P. 309–312. – DOI: 10.1016/j.otsr.2013.12.019

110. Murray, A. W. 10–16 year results of Leeds – Keio anterior cruciate ligament reconstruction / A. W. Murray, M. F. Macnicol // *Knee.* – 2004. – № 11 (1). – P. 9–14. – DOI: 10.1016/S0968-0160(03)00076-0

111. Network meta-analysis of knee outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction with various types of tendon grafts / X. G. Yang, F. Wang, X. He [et al.] // *Int. Orthop.* – 2020. – Vol. 44, № 2. – P. 365–380. – DOI: 10.1007/s00264-019-04417-8

112. On capraz bağ yaralanmaları: otogreft ve allogreft seçenekleriyle cerrahi tedavi klinik sonuçları etkiler mi? [Anterior cruciate ligament injuries: Does surgical treatment with autograft versus allograft option affect the clinical results?] / A. Aslan, O. Ozer, M. L. Baydar [et al.] // *Ulus. Travma Acil. Cerrahi Derg.* – 2012. – Vol. 18, № 2. – P. 153–161. – DOI: 10.5505/tjtes.2012.90767

113. Papaloucas, N. All-inside technique for ACL-Reconstruction using a FlipCutter® and the TightRope® system / N. Papaloucas // *Surg. Technol. Int.* – 2018. – № 32. – P. 337–345.

114. Preparation techniques for all-inside ACL cortical button grafts: A biomechanical study / R. Mayr, C. H. Heinrichs, M. Eichinger [et al.] // *Knee Surg.*

Sports Traumatol. Arthrosc. – 2016. – Vol. 24, № 9. – P. 2983–2989. – DOI: 10.1007/s00167-015-3605-9

115. Primary ACL reconstruction using the LARS device is associated with a high failure rate at minimum of 6-year follow-up / S. J. Tulloch, B. M. Devitt, T. Porter [et al.] // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. – 2019. – Vol. 27, № 11. – P. 3626–3632. – DOI: 10.1007/s00167-019-05478-3

116. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results / H. S. Slone, S. E. Romine, A. Premkumar, J. W. Xerogeanes // Arthroscopy. – 2015. – Vol. 31, № 3. – P. 541–554. – DOI: 10.1016/j.arthro.2014.11.010

117. Quadrupled semitendinosus ACL reconstruction combining cortical button in femur and interference screw in tibia / J. P. Martinez-Cano, L. M. Zamudio-Castilla, J. A. Cuadros-Potes [et al.] // Arthrosc. Tech. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. e9–e14. – DOI: 10.1016/j.eats.2019.08.011

118. Radiographic osteoarthritis, clinical outcomes and re-injury 20 years after ACL reconstruction: A prospective study of hamstring and patellar tendon grafts / L. Pinczewski, L. Salmon, S. Thompson [et al.] // Orthop. J. Sports Med. – 2016. – Vol. 4, Suppl. 2. – P. 2325967116S00004. – DOI: 10.1177/2325967116S00004

119. Regional mechanical properties of human patellar tendon allografts / A. Yanke, R. Bell, A. Lee [et al.] // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. – 2015. – Vol. 23, № 4. – P. 961–967. – DOI: 10.1007/s00167-013-2768-5

120. Resorbable screw and sheath versus resorbable interference screw and staples for ACL reconstruction: A comparison of two tibial fixation methods / C. Carulli, F. Matassi, S. Soderi [et al.] // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. – 2017. – Vol. 25, № 4. – P. 1264–1271. – DOI: 10.1007/s00167-016-4135-9

121. Return to high school- and college-level football after anterior cruciate ligament reconstruction: A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) cohort study / K. A. McCullough, K. D. Phelps, K. P. Spindler [et al.] // Am. J. Sports Med. – 2012. – Vol. 40, № 11. – P. 2523–2529. – DOI: 10.1177/0363546512456836

122. Semi-automated detection of anterior cruciate ligament injury from MRI / I. Štajduhar, M. Mamula, D. Miletić, G. Ünal // *Comput. Methods Programs Biomed.* – 2017. – № 140. – P. 151–164. – DOI: 10.1016/j.cmpb.2016.12.006

123. Servant, C. Editorial commentary: Triple-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: More is more or less is more? / C. Servant // *Arthroscopy.* – 2019. – Vol. 35, № 3. – P. 906–908. – DOI: 10.1016/j.arthro.2018.12.008

124. Sex differences in common sports injuries / C. Y. Lin, E. Casey, D. C. Herman [et al.] // *PM R.* – 2018. – Vol. 10, № 10. – P. 1073–1082. – DOI: 10.1016/j.pmrj.2018.03.008

125. Shelbourne, K. D. Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction: How the loss of normal knee motion compounds other factors related to the development of osteoarthritis after surgery / K. D. Shelbourne, T. Gray // *Am. J. Sports Med.* – 2009. – Vol. 37, № 3. – P. 471–480. – DOI: 10.1177/0363546508326709

126. Single harvesting in the all-inside graft-link technique: Is the graft length crucial for success? A biomechanical study / M. Fabbri, E. Monaco, R. M. Lanzetti [et al.] // *J. Orthop. Traumatol.* – 2017. – Vol. 18, № 1. – P. 17–22. – DOI: 10.1007/s10195-016-0420-0

127. Skovgaard Larsen, L. P. Diagnosis of acute rupture of the anterior cruciate ligament of the knee by sonography / L. P. Skovgaard Larsen, O. S. Rasmussen // *Eur. J. Ultrasound.* – 2000. – Vol. 12, № 2. – P. 163–167. – DOI: 10.1016/s0929-8266(00)00109-9

128. Standards in der Nachbehandlung nach vorderem Kreuzbandersatz im deutschsprachigen Raum [Standards in rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction in the German-speaking world] / C. Valle, A. Hirschmüller, M. Schmitt-Sody [et al.] // *Sportverletz Sportschaden.* – 2018. – Vol. 32, № 2. – P. 103–110. – DOI: 10.1055/a-0583-3850

129. Surgical timing of anterior cruciate ligament reconstruction to prevent associated meniscal and cartilage lesions / S. Taketomi, H. Inui, R. Yamagami [et al.]

// J. Orthop. Sci. – 2018. – Vol. 23, № 3. – P. 546–551. – DOI: 10.1016/j.jos.2018.02.006

130. Synovitis and artificial ligaments / W. Klein, K. U. Jensen // *Arthroscopy*. – 1992. – Vol. 8, № 1. – P. 116–124. – DOI: 10.1016/0749-8063(92)90145-2

131. Synovitis following anterior cruciate ligament reconstruction using the LARS device / S. J. Tulloch, B. M. Devitt, C. J. Norworthy, C. Mow // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2019. – Vol. 27, № 8. – P. 2592–2598. – DOI: 10.1007/s00167-018-5280-0

132. Synthetic grafts in the treatment of ruptured anterior cruciate ligament of the knee joint / W. Satora, A. Królikowska, A. Czamara, P. Reichert // *Polim. Med.* – 2017. – Vol. 47, № 1. – P. 55–59. – DOI: 10.17219/pim/76819

133. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation / S. L. Woo, J. M. Hollis, D. J. Adams [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1991. – Vol. 19, № 3. – P. 217–225. – DOI: 10.1177/036354659101900303

134. The biochemical and histological effects of artificial ligament wear particles: In vitro and in vivo studies / E. J. Olson, J. D. Kang, F. H. Fu [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1988. – Vol. 16, № 6. – P. 558–570. – DOI: 10.1177/036354658801600602

135. The effects of the menstrual cycle on anterior knee laxity: A systematic review / B. T. Zazulak, M. Paterno, G. D. Myer [et al.] // *Sports Med.* – 2006. – Vol. 36, № 10. – P. 847–862. – DOI: 10.2165/00007256-200636100-00004

136. The fixation strength of six hamstring tendon graft fixation devices in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: Femoral site / P. Kousa, T. L. Järvinen, M. Vihavainen [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2003. – Vol. 31, № 2. – P. 174–181. – DOI: 10.1177/03635465030310020401

137. The influence of the intercondylar notch dimensions on injury of the anterior cruciate ligament: A meta-analysis / C. Zeng, S. G. Gao, J. Wei [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 4. – P. 804–815. – DOI: 10.1007/s00167-012-2166-4

138. The intrinsic risk factors for ACL ruptures: An evidence-based review / M. Posthumus, M. Collins, A. V. September, M. P. Schwellnus // *Phys. Sportsmed.* – 2011. – Vol. 39, № 1. – P. 62–73. – DOI: 10.3810/psm.2011.02.1863

139. The role of ultrasonography in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: A systematic review and meta-analysis / J. Wang, H. Wu, F. Dong [et al.] // *Eur. J. Sport Sci.* – 2018. – Vol. 18, № 4. – P. 579–586. – DOI: 10.1080/17461391.2018.1436196

140. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: The long-term functional disability in athletically active individuals / F. R. Noyes, P. A. Mooar, D. S. Matthews, D. L. Butler // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1983. – Vol. 65, № 2. – P. 154–162. – DOI: 10.2106/00004623-198365020-00003

141. The timing of rehabilitation commencement after reconstruction of the anterior cruciate ligament / M. Łyp, I. Stanisławska, B. Witek [et al.] // *Adv. Exp. Med. Biol.* – 2018. – № 1096. – P. 53–57. – DOI: 10.1007/5584_2018_210

142. The use of allograft tendons in primary ACL reconstruction / C. Hulet, B. Sonnery-Cottet, C. Stevenson [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2019. – Vol. 27, № 6. – P. 1754–1770. – DOI: 10.1007/s00167-019-05440-3

143. Tibial interference screw positioning relative to the bone plug in ACL reconstruction: A biomechanical comparison of cortical versus cancellous-sided placement / N. A. Marsh, I. J. Antosh, D. K. O’Conor [et al.] // *Orthopedics.* – 2018. – Vol. 41, № 6. – P. 337–342. – DOI: 10.3928/01477447-20180815-03

144. Timing of anterior cruciate ligament reconstruction and relationship with meniscal tears: A systematic review and meta-analysis / A. D. Prodromidis, C. Drosatou, G. C. Thivaos [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2021. – Vol. 49, № 9. – P. 2551–2562. – DOI: 10.1177/0363546520964486

145. Timing of anterior cruciate ligament reconstruction within the first year after trauma and its influence on treatment of cartilage and meniscus pathology / W. Krutsch, J. Zellner, F. Baumann [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2017. – Vol. 25, № 2. – P. 418–425. – DOI: 10.1007/s00167-015-3830-2

146. Torkaman, A. The results of single bundle versus double bundle ACL reconstruction surgery, a retrospective study and review of literature / A. Torkaman, H. Yazdi, M. G. Hosseini // *Med. Arch.* – 2016. – Vol. 70, № 5. – P. 351–353. – DOI: 10.5455/medarh.2016.70.351-353

147. Trends in treatment of anterior cruciate ligament injuries of the knee in the public and private healthcare systems of Brazil / D. C. Astur, R. F. Batista, A. Gustavo, M. Cohen // *Sao Paulo Med. J.* – 2013. – Vol. 131, № 4. – P. 257–263. – DOI: 10.1590/1516-3180.2013.1314498

148. US of the knee: Scanning techniques, pitfalls, and pathologic conditions / T. I. Alves, G. Girish, M. Kalume Brigido, J. A. Jacobson // *Radiographics.* – 2016. – Vol. 36, № 6. – P. 1759–1775. – DOI: 10.1148/rg.2016160019

149. Validity of sports-related diagnosis codes in the Danish National Patient Register / M. N. Gadeberg, A. Cramer, P. Hölmic, K. W. Barfod // *Dan. Med. J.* – 2021. – Vol. 68, № 3. – P. A08200580.

150. What is the true evidence for gender-related differences during plant and cut maneuvers? A systematic review / A. Benjaminse, A. Gokeler, G. S. Fleisig [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2011. – Vol. 19, № 1. – P. 42–54. – DOI: 10.1007/s00167-010-1233-y

151. When math meets surgery: How to improve femoral interference screw alignment in ACL reconstruction. A cadaveric study / A. Marmotti, A. Biondi, E. Bellato [et al.] // *J. Biol. Regul. Homeost. Agents.* – 2020. – Vol. 34, № 4, Suppl. 3. – P. 377–391.

152. Which ACL-reconstruction surgery is better? A comparative study of the complications of the bone-patellar tendon-bone (BTPB) and hamstring tendon (4-Strand) techniques (A review of the literature) / A. Rahimi, H. Minoonejad, A. Norouzi Fashkhami, S. Sohani // *World J. Sport Sci.* – 2009. – № 2. – P. 100–105.