

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Р.Р. ВРЕДЕНА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Трачук

Павел Александрович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ АНАТОМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ
ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСТНО-
СВЯЗОЧНО-КОСТНОГО АУТОТРАНСПЛАНТАТА

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН
Тихилов Рашид Муртузалиевич

Санкт-Петербург

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АНАТОМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС И МЕСТО КОСТНО-СВЯЗОЧНО-КОСТНОГО АУТОТРАНСПЛАНТАТА ИЗ СВЯЗКИ НАДКОЛЕННИКА В ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	16
1.1. Эпидемиология и последствия повреждений передней крестообразной связки.....	16
1.2. Современные представления об анатомии и функции ПКС	17
1.3. Актуальные тренды в выборе эффективных способов хирургического восстановления ПКС	21
1.4. Место костно-связочно-костного трансплантата из средней трети связки надколенника в реализации анатомической концепции реконструкции ПКС.....	27
1.5. Способы уменьшения несоответствия между трансплантатом из связки надколенника и туннелями	30
1.6. Послеоперационные изменения в донорской зоне после забора трансплантата из связки надколенника и способы их уменьшения	32
1.7. Резюме	34
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
2.1. Общая структура исследования.....	36
2.2. Материал исследования.....	39
2.3. Хирургическая техника	42
2.3.1. Транстибиальная техника	43
2.3.2. Традиционная двухдоступная анатомическая техника.....	50
2.3.3. Модифицированная техника двухдоступной анатомической реконструкции ПКС	64

2.4. Послеоперационное лечение и реабилитация.....	73
2.5. Методы клинического и лучевого обследования	75
2.5.1. Оценка позиции апертур туннелей по рентгенограммам	76
2.5.2. Методики лучевых исследований, проводимых у пациентов проспективных групп.....	79
2.5.3. Определение изменений связки надколенника после забора трансплантата с оставлением или закрытием донорских дефектов.....	84
2.6. Статистический анализ.....	86
ГЛАВА 3. ОТДАЛЕННЫЕ (10–13-ЛЕТНИЕ) РЕЗУЛЬТАТЫ	
ТРАНСТИБИАЛЬНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС.....	88
3.1. Характеристика пациентов 1-й ретроспективной группы.....	88
3.2. Оценка позиции туннелей после транстибиальной реконструкции ПКС.....	91
3.3. Клинические результаты	100
3.3.1. Субъективная оценка.....	101
3.3.2. Результаты очного объективного обследования	102
3.4. Резюме.....	105
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ 3–5-ЛЕТНИХ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ	
РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНИКИ АНАТОМИЧЕСКОЙ	
ДВУХДОСТУПНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС.....	108
4.1. Общая характеристика пациентов.....	108
4.2. Оценка позиции туннелей после двухдоступной анатомической реконструкции ПКС.....	112
4.3 Клинические результаты	115
4.3.1. Субъективная оценка.....	119
4.3.2. Результаты очного объективного обследования	122
4.3.3. Сравнительная оценка положения туннелей и костных блоков у пациентов 1-й и 2-й групп	125
4.4. Резюме.....	126

ГЛАВА 5. ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 1,5–2-ЛЕТНИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ ДВУХДОСТУПНОЙ АНАТОМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС	129
5.1. Общая характеристика пациентов.....	129
5.2. Обоснование и разработка модифицированной техники реконструкции ПКС.....	132
5.2.1. Разработка оригинального инструмента (направителя) для создания туннелей при реконструкции ПКС по методике снаружи внутрь.	134
5.3. Оценка позиции туннелей и наклона трансплантата у пациентов 3-й группы после модифицированной реконструкции ПКС	140
5.4. Результаты лечения пациентов проспективных подгрупп 3А и 3Б..	147
5.4.1. Субъективная оценка.....	147
5.4.2. Результаты очного объективного обследования	148
5.4.3. Результаты интраоперационных измерений длины трансплантата, туннелей и межтуннельной дистанции у пациентов подгрупп 3А и 3Б	153
5.4.4. Оценка послеоперационных изменений апертур туннелей и взаимоотношений трансплантата и туннелей у пациентов подгрупп 3А1 и 3Б1	154
5.4.5. Оценка послеоперационных изменений в связке надколенника в подгруппах 1-СН и 3-СН.....	161
5.5. Резюме.....	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	174
ВЫВОДЫ.....	184
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	186
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	188
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	189

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Выполненное диссертационное исследование посвящено проблеме совершенствования хирургического лечения повреждений передней крестообразной связки (ПКС), которые занимают одно из ведущих мест среди внутрисуставных травм коленного сустава. По данным Bergstein V.E. et al., 2025, частота разрывов ПКС в США составляет в среднем 75,19 случаев на 100 000 человек в год [41]. Повреждения ПКС неблагоприятно сказываются на функции коленного сустава, приводят к развитию нестабильности, увеличивают вероятность дальнейших повреждений менисков и хряща, вследствие чего повышают риск развития вторичного артроза [13,20,10,31,99,149].

К настоящему времени ПКС представляется единой лентообразной структурой из плотной волокнистой оформленной соединительной ткани, соединяющей мышелки коленного сустава посредством структурно организованного (прямого и непрямого) перехода от связки к кости [148,128]. Места прямого прикрепления ПКС несут основную нагрузку и занимают довольно узкие полосы непосредственно кзади от латерального межмышцелкового гребня на латеральной мышелке бедра и кнаружи от медиального межмышцелкового гребня на плато большеберцовой кости [13,17,18,44,61]. Размещение и приживление трансплантата в этих зонах считают необходимым условием для его нормального функционирования [28,75,65,44].

Современные тренды анатомической концепции реконструкции ПКС заключаются в том, чтобы трансплантат располагался в местах прикрепления связки и перекрывал не менее 50%–80% от общей площади волокон [61]. Поэтому хирурги стремятся использовать массивные (более 8 мм в диаметре) цилиндрические сухожильные трансплантаты [32,131]. Известно, что ось таких трансплантатов под действием силы натяжения может сдвигаться к передненижней стенке бедренного и к заднелатеральной стенке большеберцового

туннеля, т.е. в сторону областей прикрепления заднелатерального, менее изометричного, функционального пучка ПКС [77,125,43]. В результате сухожильный трансплантат даже в анатомично размещенных туннелях может занимать отличное от оси ПКС вертикально ориентированное положение [101], что может быть одной из причин сохранения после операции у значимой доли пациентов объективных признаков нестабильности [34].

В последние годы у пациентов с высокими функциональными требованиями и при ревизионной пластике снова стали применять способы дополнительной латеральной экстраартикулярной стабилизации. Тем не менее, полностью избежать остаточной нестабильности не удалось. Так, по данным систематического обзора Beckers L. et al., 2021, у 14% пациентов после первичной анатомической реконструкции ПКС выявляли явно положительный «pivot-shift» тест. У пациентов, которым дополнительно выполняли латеральную экстраартикулярную пластику, частота явной остаточной разболтанности сустава снижалась, но лишь до 6% [39].

Костно-связочно-костный трансплантат из средней трети связки надколенника широко используют, прежде всего, для пациентов, занимающихся контактными видами спорта [124,125]. Но поскольку связка надколенника обычно длиннее ПКС, то связочно-костные соединения трансплантата будут располагаться в глубине, по крайней мере, одного из костных туннелей. Поэтому ось трансплантата также может занимать неоптимальное вертикальное положение. Кроме того, возникающее при движениях в суставе раскачивание связочной части трансплантата во внутрисуставном участке туннеля не способствует его полноценному сращению с костными стенками апертуры [156]. Хирурги, которые размещали такой трансплантат в прямоугольных туннелях, наблюдали у большинства пациентов отличные ближайшие анатомо-функциональные результаты. Тем не менее, при осмотрах через 2 и более лет после операции те же авторы выявляли у 5%–8% пациентов положительные признаки нестабильности [152,113]. Формирование прямоугольных туннелей в проекции мест прямого прикрепления ПКС анатомически обосновано, но

увеличивает длительность операции, требует нескольких рассверливаний и применения ударной техники, создает риск растрескивания стенок туннелей, затрудняет интерферентную фиксацию [94]. Возможно поэтому она не получила широкого распространения и не заменила собой традиционную технику, при которой используют массивные костные блоки трансплантата и соответствующие им цилиндрические туннели [45,47].

Таким образом, применяемые в настоящее время способы анатомической реконструкции ПКС еще не позволяют полноценно восстановить поврежденную связку и предупредить развитие остаточной нестабильности у значимой доли пациентов. Поэтому вопросы совершенствования техники операции остаются актуальными.

Степень разработанности темы исследования

В конце 20-го и начале 21 века в основе хирургии ПКС лежала изометрическая концепция [129], для реализации которой наиболее привлекательной и технически обеспеченной была так называемая транстибиальная техника [82,162]. В этот период использование костно-связочно-костного ауто трансплантата из связки надколенника признавали золотым стандартом [78]. Однако накопленный клинический опыт и проведенные анатомические исследования показали, что основной проблемой транстибиальной техники было нередкое формирование туннелей в неанатомических зонах, что приводило к тому, что трансплантат чаще имел вертикальную ориентацию, отличную от оси ПКС. Это создавало биомеханические условия для развития контрактур и остаточной нестабильности у существенной доли пациентов. В частности, по данным американского проспективного мультицентрового исследования среди 433 пациентов, прооперированных в период с 2005 по 2010 год, через 2 года после операции выявляли скользящий «pivot-shift» тест у 41,7%, а явный – еще у 2,9% пациентов [109].

В настоящее время, когда анатомическая концепция реконструкции ПКС заняла ведущее место, роль трансплантата из связки надколенника не

уменьшилась. Это единственный трансплантат, который имеет два естественных костно-связочных соединения на концах и способен (при правильной ориентации) имитировать функцию обоих пучков ПКС [143]. В 2020 году 16,1% опрошенных хирургов из разных стран мира использовали для первичной реконструкции трансплантат из связки надколенника, среди респондентов из Северной Америки их доля составляла 45,5% [155]. Для профессиональных спортсменов, например, в Национальной Футбольной Лиге США, связку надколенника использовали в качестве трансплантата ПКС 97% спортивных хирургов-ортопедов [34]. Предложенная японским хирургом Konsei Shino техника размещения трансплантата из связки надколенника в прямоугольных туннелях должна была обеспечить более точную установку трансплантата в местах прикрепления ПКС и имитировать ориентацию ее двух функциональных пучков [143]. Но и с помощью такой техники полностью воспроизвести анатомическое положение поврежденной связки еще не удалось. Так, выполненные КТ-исследования показали, что через 6 месяцев после операции наблюдалось расширение входов в туннели преимущественно в направлении давления связочной части трансплантата на костный край [156]. Степень расширения прямо зависела от глубины расположения костного блока. Так, в условиях подвешивающей фиксации трансплантата при глубине залегания костного блока в 2,8 мм от апертуры, наблюдали расширение входа в бедренный туннель до 15%, а при дистанции 6 мм – до 50% [97].

Сегодня для пациентов с умеренными функциональными требованиями хирурги предпочитают использовать другие источники трансплантатов. По-видимому, это связано с известными и нерешенными до сих пор двумя проблемами: во-первых, наличием несоответствия длины трансплантата и туннеля, и, во-вторых, относительно более высокой частотой неблагоприятных последствий в области донорской зоны. Было предложено множество технических решений для устранения несоответствия длины трансплантата и туннеля [142,86,27,116,70]. Однако, как показали опубликованные в 2020 году результаты опроса 260 хирургов-ортопедов США – экспертов в области

спортивной медицины, консенсус в методах устранения данной проблемы еще не достигнут. Большинство опрошенных хирургов предлагали продвигать проксимальный костный блок в глубину бедренного туннеля. Около половины респондентов укорачивали трансплантат за счет ротации его вокруг продольной оси или просто отсекали выступающую часть большеберцового блока. Менее 5% хирургов применяли технику свободного костного блока и подшивали дистальный костный блок к связке [139]. Авторы, к сожалению, ограничивались в основном описанием технических приемов. Остаются не достаточно изученными послеоперационные изменения в туннелях и местах их контакта с костными блоками трансплантата, знание которых может быть полезным для разработки приемов улучшения техники хирургического лечения.

Известно, что использование трансплантата из связки надколенника может сопровождаться существенными изменениями в месте забора трансплантата [95,46,123,92,91,103]. Предложены пути снижения проблем донорского места, но их эффективность продолжает быть предметом обсуждения. До настоящего времени в литературе нет обоснованного мнения о наиболее рациональной технике забора трансплантата и закрытия связочных и костных дефектов [62,100,135,112]. Некоторые недавние сообщения указывают на то, что современные технологии реконструкции ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника могут давать меньше осложнений, чем предполагали раньше, однако связывали это в основном с улучшением системы оценки и с более правильной техникой пластики ПКС. Так, по данным Hacken V.A. et al., 2020, из 187 наблюдений после операции не могли стоять на коленях на твердой поверхности – 3,7% пациентов, средний балл по предложенной 100-балльной шкале оценки болезненности донорской зоны составил 98,6 [73]. В исследовании Janani G. et al., 2020, у 1250 пациентов после реконструкции ПКС не обнаружено достоверных различий в частоте боли в переднем отделе коленного сустава в сравнении с использованием подколенных сухожилий. Частота болезненности в переднем отделе коленного сустава в среднем не превышала 6,6% [85]. Естественно предположить, что если причиной клинических проблем являются

изменения в месте забора связки надколенника, то более полноценное восстановление связки приведет к лучшим результатам.

Таким образом, нерешенные вопросы повышения эффективности размещения трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС, а также поиск условий для уменьшения неблагоприятных изменений в месте забора трансплантата из связки надколенника послужили основанием для проведения настоящего диссертационного исследования. Оно было предпринято с тем, чтобы определить существенные особенности взаимоотношений костно-связочно-костного ауотрансплантата из средней трети связки надколенника и костных туннелей в условиях применения известных методик реконструкции ПКС и с их учетом обосновать и разработать усовершенствованную методику операции, которая позволила бы повысить уровень анатомо-функционального восстановления пациентов.

Цель исследования

Обосновать и разработать усовершенствованную технику анатомической реконструкции ПКС, включающую создание точек опоры костно-связочно-костного ауотрансплантата в местах прямого прикрепления ПКС и условий для заживления донорских дефектов в связке надколенника, и оценить ее эффективность.

Задачи исследования

1. Провести анализ отдаленных результатов, изучить особенности и выявить недостатки применявшейся ранее транстибиальной техники реконструкции ПКС.
2. Оценить анатомо-функциональные результаты известной техники двухдоступной анатомической реконструкции ПКС и определить возможные пути ее совершенствования.
3. Предложить модифицированную технику реконструкции ПКС, которая позволила бы обеспечить установку костно-связочного соединения

проксимального костного блока трансплантата на уровне бедренного туннеля, создание точки опоры трансплантата на уровне места большеберцового прикрепления ПКС и оптимизировать позицию трансплантата в суставе.

4. Изучить анатомо-функциональные результаты и характер послеоперационных изменений апертур туннелей, позиции и состояния костных блоков трансплантата после применения двух вариантов модифицированного способа анатомической двухдоступной пластики ПКС и определить более эффективный.

5. На основании изучения послеоперационных изменений в донорской зоне после забора трансплантата с оставлением или закрытием дефектов определить особенности техники, обеспечивающие более полноценное восстановление структуры и размеров связки надколенника.

Научная новизна исследования

1. Обоснована, разработана и апробирована модифицированная техника двухдоступной анатомической реконструкции ПКС с использованием костно-связочно-костного ауто трансплантата из связки надколенника, позволяющая создать точки опоры трансплантата непосредственно в местах прямого прикрепления ПКС.

2. Предложен оригинальный инструмент, который позволяет безопасно и точно провести ориентирующие спицы снаружи внутрь, применять спицы для чрескостного остеосинтеза.

3. Получены новые сведения о характере послеоперационных изменений апертур туннелей, позиции и состояния костных блоков трансплантата из средней трети связки надколенника в условиях интерферентной фиксации и ранней активной реабилитации.

4. Получены новые данные об особенностях послеоперационных изменений в донорской зоне и возможностях восстановления целостности и размеров связки надколенника в условиях предложенного варианта хирургической техники.

Теоретическая и практическая значимость работы

Сведения о послеоперационных изменениях взаимоотношений костных блоков аутотрансплантата ПКС и туннелей, состояния донорских зон в связке надколенника послужат расширению представлений о процессе регенерации реконструированной связки и основанием для улучшения техники операции и реабилитационных протоколов.

Предложенный способ анатомической двухдоступной реконструкции ПКС с использованием костно-связочно-костного трансплантата и закрытием дефектов в костных туннелях и донорских зонах позволит повысить эффективность хирургического лечения пациентов.

Разработанный инструмент (направитель) обеспечивает безопасное и точное использование спиц для чрескостного остеосинтеза в качестве ориентирующих для рассверливания туннелей при анатомической реконструкции ПКС, может быть воспроизведен в отечественной медицинской промышленности и эффективно использован хирургами в рамках импортозамещения зарубежных аналогов.

Методология и методы исследования

Объектом исследования являлись пациенты с первичными повреждениями ПКС после различных способов ее реконструкции с использованием костно-связочно-костного аутотрансплантата из средней трети связки надколенника. Предметом изучения были взаимоотношения между трансплантатом и костными туннелями, послеоперационные изменения в связке надколенника после различных вариантов пластики ПКС, а также анатомо-функциональные результаты у пациентов с неповрежденным трансплантатом ПКС. В качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение о том, что создание оптимальной позиции и точек опоры трансплантата ПКС в местах прямого прикрепления нативной связки, а также – условий для более полноценного восстановления поврежденной при заборе трансплантата связки надколенника будет способствовать улучшению анатомо-функциональных результатов.

В работе был проведен ретроспективный анализ результатов известных способов транстибиальной и анатомической двухдоступной реконструкции ПКС с использованием аутотрансплантата из средней трети связки надколенника, определены их недостатки и пути совершенствования техники операции. Обоснованы и предложены технические решения, направленные на максимально точное воссоздание поврежденной структуры – ПКС и на более полноценное восстановление целостности и размеров связки надколенника, поврежденной вследствие забора трансплантата. Затем было выполнено проспективное сравнительное исследование двух вариантов модифицированной улучшенной техники реконструкции ПКС. Определены анатомо-функциональные результаты и характер послеоперационных изменений апертур туннелей, позиции и состояния костных блоков трансплантата. Изучены послеоперационные изменения в донорской зоне связки надколенника после забора трансплантата с оставлением или закрытием дефектов для определения условий, обеспечивающих более полноценное восстановление структуры и размеров связки надколенника.

Для достижения достоверных результатов были применены следующие методы. У всех пациентов исследуемых групп выполняли анкетирование с использованием общепризнанных шкал-опросников IKDC-2000 и Lysholm'a, видеопротоколирование операций и послеоперационную рентгенографию. В репрезентативных выборках пациентов – очное клиническое субъективное и объективное обследование с использованием указанных шкал, гониометрии и мануальных тестов оценки функции трансплантата ПКС. Кроме того, в подгруппах углубленного обследования проводили МРТ перед операцией и через 12 месяцев после, КТ – на следующий день и через 6 месяцев после. По КТ оценивали изменения апертур туннелей, взаимоотношений костных блоков трансплантата и туннелей в динамике. По МРТ изучали ориентацию и состояние трансплантата ПКС, изменения в донорских зонах связки надколенника в исследуемых группах. При сравнительном анализе использовали методы медицинской статистики.

Положения, выносимые на защиту

1. Связочные части трансплантата из связки надколенника при натяжении принимают неоптимальное положение на уровне апертур цилиндрических костных туннелей, что приводит к меньшему, отличному от оси ПКС, наклону трансплантата и не позволяет полностью устранить проявления ротационной нестабильности у значимой доли пациентов.

2. Установка костно-связочного соединения трансплантата из связки надколенника на уровне апертуры бедренного туннеля, его анатомическая ориентация в суставе, вклинение вычисленного размера кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральным краем туннеля и трансплантатом, интерферентная фиксация позволяют оптимизировать позицию трансплантата в местах прямого прикрепления ПКС и улучшить анатомо-функциональные результаты.

3. Закрытие донорской зоны связки надколенника с помощью полнослойного сшивания пучков связки и заполнения дефектов губчатой аутокостью в условиях ранней послеоперационной мобилизации обеспечивает восстановление близкого к дооперационным параметрам состояния связки надколенника к 12 месяцам после операции.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность полученных фактов и сформулированных заключений подтверждается достаточным количеством и подбором сравнимых групп обследованных пациентов, применением современных методов обследования и выбором адекватных методик статистического анализа.

Основные положения диссертационного исследования были доложены на Всероссийской конференции Молодых ученых «Вреденовские игры» (Санкт-Петербург, 2024 г); IX Национальном конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах: новое в организации и технологиях. Осложнения и неблагоприятные последствия травм. Инновационные подходы в организации медицинской помощи и лечении пострадавших» (Санкт-Петербург,

2024 г.); X Юбилейном национальном конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях» (Санкт-Петербург, 2025 г.); IX Международном Конгрессе АСТАОР (Москва, 2025 г.).

По материалам диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации научных результатов диссертационных исследований, получен патент РФ на полезную модель №234028.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую работу клиники ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России. Материалы диссертации используют при обучении врачей, проходящих усовершенствование по программам дополнительного образования.

Личный вклад автора

Диссертант самостоятельно провел анализ профильной научной литературы и сбор клинических результатов, принимал участие в операциях в качестве ассистента и оператора, в соответствии с дизайном исследования изучил полученные материалы и провел статистическую обработку количественных параметров. Диссертант лично написал и оформил текст диссертации, участвовал в подготовке научных публикаций и докладов по теме исследования.

Объем и структура диссертации

Материалы диссертации представлены на 210 страницах текста и включают введение, обзор литературы, главу, посвященную описанию материалов и методов исследования, три главы собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации, список сокращений и список литературы. Диссертационная работа содержит 99 рисунков и 20 таблиц. Список литературы включает 163 источника, из них 28 – отечественных и 135 – зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АНАТОМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС И МЕСТО КОСТНО-СВЯЗОЧНО-КОСТНОГО АУТОТРАНСПЛАНТАТА ИЗ СВЯЗКИ НАДКОЛЕННИКА В ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Эпидемиология и последствия повреждений передней крестообразной связки

Повреждения ПКС занимают одно из ведущих мест среди внутрисуставных травм коленного сустава. По данным Bergstein V.E. et al., 2025, частота разрывов ПКС в США составляет в среднем 75,19 случаев на 100 000 человек в год [41]. Важную роль для оценки распространенности реконструкции ПКС на популяционном уровне играют национальные регистры ПКС, к которым относятся датский, люксембургский, новозеландский, норвежский, шведский, регистр Соединенного королевства Великобритании и данные крупных региональных многоцентровых исследований в США MOON (Multicenter Orthopedic Outcomes Network) и MARS (Multicenter ACL Revision Study) [89]. В частности, по данным регистра Новой Зеландии число зарегистрированных повреждений ПКС растет и в 2019 году составило 173 случая на 100 тысяч человек [136]. Эта тенденция отмечается во всем мире и связывается с распространением спорта среди населения [133,48,96,29,150].

Функциональная нестабильность коленного сустава, развивающаяся после повреждений ПКС, а нередко и остающаяся после хирургического лечения, увеличивает вероятность дальнейших повреждений менисков и хряща, вследствие чего повышает риск развития вторичного артроза, снижает качество жизни и уровень физической активности [31,99,149,10,13,23,14]. Данные систематического обзора, посвященного сравнительному анализу отдаленных исходов хирургического и нехирургического лечения, показал, что субъективные шкалы оценки давали близкие значения, после хирургического лечения частота

вторичных разрывов менисков была меньше, в то время как артроз развивался чаще [104].

Анализ данных о частоте повреждений ПКС и характере лечения в США за период с 2010 по 2020 год показал, что реконструкция ПКС была выбрана методом лечения лишь у 21,1% пациентов. Такая относительно высокая доля пациентов, которым применяли консервативное лечение, вероятно, свидетельствует о том, что многие пациенты в повседневной жизни были способны компенсировать функциональный дефицит коленного сустава при отказе от физических нагрузок, связанных с резкой переменной направления движений. Кроме того, уровень современного хирургического лечения все еще не позволяет всем пациентам вернуться к прежнему уровню спортивной активности [41].

1.2. Современные представления об анатомии и функции ПКС

В эмбриональном периоде развития ПКС формируется из клеток бластемы и идентифицируется на 7-й неделе беременности как уплотнение мезенхимы. С 9–10-й недели в ПКС наблюдали пролиферацию клеток, дифференцировку и созревание волокон, постепенное формирование организованного прикрепления к кости. В процессе эмбриологического развития сустава связка постепенно принимает вид организованной волокнистой структуры, окруженной синовиальной оболочкой, имеющей богатую сосудистую сеть и иннервацию [56].

К моменту рождения ПКС представляет собой сложно организованную структуру из оформленной плотной волокнистой соединительной ткани, находящуюся внутри коленного сустава, но отделенной от его полости синовиальной оболочкой, т.е. располагающуюся экстрасиновиально. Она представляет собой тонкую полоску соединительной ткани, которая у мест прикрепления значительно расширяется и примерно в 3,5 раза превышает площадь сечения на уровне середины своей длины [145,111]. Длина ПКС

варьирует в диапазоне от 22 до 41 мм, а ширина от 7 до 12 мм [49,146]. В разогнутом коленном суставе волокна ПКС ориентированы параллельно. При сгибании дистальная часть ее бедренного прикрепления смещается кпереди, и связка разворачивается вокруг своей оси, образуя складки, напоминающие два пучка волокон, получивших название переднемедиального и заднелатерального по месту прикрепления к плато большеберцовой кости [118,128]. В анатомических исследованиях после удаления поверхностной мембраны связка уже в 2 мм от мест прикрепления приобретает вид тонкой плоской прямоугольной пластины, форма которой некоторыми исследователями описывалась как «лента» или «лазанья» [118,148]. Ширина ПКС в 2 мм дистальнее бедренного прикрепления по данным препарирования 111 кадаверных препаратов колебалась между 12,7 и 18,1 мм и в среднем составляла 16,0 мм, толщина – между 2 и 4,8 мм, в среднем 3,54 мм [148]. Относительно тонкая лентообразная средняя порция ПКС несет в себе преимущественно волокна, которые входят практически под прямым углом в бедренную кость посредством прямого организованного многослойного перехода из связки в кость, который включает связку, неминерализованный хрящ, минерализованный хрящ и кость. Такое строение позволяет равномерно распределять нагрузку и поглощать силы, возникающие в месте прикрепления. Зона прямого прикрепления ПКС находится непосредственно кзади и вдоль латерального межмышечкового гребня (гребня резидента) [84,59,80], который располагается в 7–10 мм от заднего края суставного хряща латерального мыщелка бедра [144]. Часть волокон ПКС веерообразно распространяется кзади практически до края суставного хряща и прикрепляется более рыхло, параллельно к кости без зоны многослойного перехода. Прямые волокна, составляющие основу ПКС, меняют свою ориентацию при движениях в суставе, в то время как ориентация веерообразно расширяющихся волокон остается неизменной. Ширина прямого прикрепления составляла от 3,5 до 8 мм [148,141]. По данным недавних анатомических исследований, ширина прямого прикрепления была больше у лиц моложе 50 лет [120]. Ряд авторов выявляет существенные особенности строения ПКС в

зависимости от конституциональных и половых различий строения коленного сустава [163,3,18,54]. По данным проведенного кинематического анализа при пересечении не прямых волокон функция ПКС практически не страдает, в то время как пересечение прямых волокон вызывает значительное увеличение трансляции голени кпереди [132].

Большеберцовое прикрепление ПКС описывают как овальное [59], треугольное [17,8] или С-образное [148,145]. Сзади оно ограничено медиальным и латеральным межмышцелковыми бугорками, спереди – бугорком Парсона, медиально – медиальным межмышцелковым гребнем, латерально – латеральным межмышцелковым гребнем и передним рогом латерального мениска [137,161,40,127]. Небольшой выступ на плато большеберцовой кости, отделяющий место костного прикрепления переднего рога латерального мениска и волокна ПКС получил название центрального межмышцелкового гребня [161]. Прямые волокна переднемедиальной порции ПКС прикрепляются к наружному краю медиального межмышцелкового гребня и простираются от заднего ската бугорка Parson'a до гребня, соединяющего межмышцелковые бугорки. Заднюю (меньшую) часть волокон ПКС R. Siebold et al., 2015, назвали заднемедиальным пучком [145].

Таким образом, дистальное прикрепление несущих основную нагрузку волокон ПКС принимает L-образную или С-образную форму, его длина в среднем составляет 13,7 мм, а ширина – 3,3 мм. Этим размерам соответствует гистологическая зона прямого перехода волокон связки, в то время как волокна, имеющие не прямой тип прикрепления, простираются кпереди и к переднему рогу латерального мениска, напоминая гусиную лапку [130,161]. Имеются индивидуальные анатомические различия от 2 до 3 мм, как в длине, так и в ширине большеберцового прикрепления ПКС в зависимости от возраста, пола и расы [132,121].

Кровоснабжение ПКС получает преимущественно из средней коленной артерии, являющейся ветвью подколенной артерии. Она делится на эпифизарную и связочную ветви. Последняя образует поверхностную сосудистую сеть, которая

имеет анастомозы с терминальными ветвями медиальной нижней коленной артерии. Идущие в синовиальном покрове сосуды прободают ПКС перпендикулярно и проникают между волокнами в глубину связки. Плотность сосудов выше в области проксимального прикрепления [56,110].

Иннервацию ПКС обеспечивают задние суставные ветви большеберцового нерва, которые проникают через задний отдел капсулы сустава. Большинство нервных волокон сопровождают сосуды и обеспечивают вазомоторную функцию. Оставшиеся волокна выполняют проприоцептивную функцию. Механорецепторы ПКС имеют различную функцию и концентрируются в основном вблизи мест прикрепления. Рецепторы Руффини воспринимают удлинение и локализируются в верхней части ПКС. Рецепторы Фатера-Пачини воспринимают скорость и ускорение и расположены вблизи концов ПКС. Рецепторы Гольджи воспринимают растяжение и находятся вблизи мест прикрепления ПКС, а также на поверхности связки под синовиальной мембраной. Свободные нервные окончания обеспечивают ноцицепцию. Механорецепторы представляют начало афферентной дуги ПКС-рефлекса, который обеспечивает реакцию мышц, помогающих осуществлять динамическую стабилизацию сустава и мышечный контроль при физиологических нагрузках. Его действие не позволяет защитить сустав от повреждения ПКС, т.к. реакция мышц возникает примерно через 100 мс после сигнала, а скорость травмирующего воздействия может составлять около 40 мс. Однако он необходим для нормальной кинематики сустава [38,72,93].

Функцию ПКС обычно описывают на основе упрощенной двухпучковой модели, выделяя переднемедиальный и заднелатеральный пучки волокон, которые получили свое название по месту прикрепления к большеберцовой кости [33,107]. Проведенные биомеханические исследования поведения ПКС позволили швейцарским хирургам N.F. Friedrich и W.R. O'Brien в начале 1990-х годов выдвинуть теорию «функциональной изометрии», которая не утратила актуальности и сегодня. Исследователи показали, что при полностью разогнутом коленном суставе все волокна ПКС натянуты и располагаются параллельно друг другу, при сгибании и разгибании связка расслабляется и натягивается, т.е., в

целом, ПКС – не изометрична. Волокна переднемедиальной части ПКС соединяют так называемые изометрические точки, т.е. точки, расстояние между которыми практически не меняется при движениях в суставе. Эти «наиболее изометрические» волокна при приложении к ПКС силы всегда натягиваются первыми. Остальные «неизометрические» волокна расположены так, что они постепенно рекрутируются и переходят из расслабленного в натянутое состояние по мере того, как биомеханические требования возрастают. Следовательно, «изометричность» ПКС прогрессивно уменьшается спереди назад. Изучая поведение трансплантата ПКС, авторы сделали два важных для хирургов вывода: во-первых, трансплантат, установленный в центре анатомических мест прикрепления, будет не изометричным, и, во-вторых, размещение центров трансплантата в изометрических точках требует расширения межмышечкового пространства [63]. Проведенные в последующем исследования подтвердили утверждение, что наиболее изометричная область довольно широкого анатомически правильного места крепления ПКС находится в месте размещения прямого прикрепления переднемедиальных волокон ПКС [134].

1.3. Актуальные тренды в выборе эффективных способов хирургического восстановления ПКС

Хирургическое лечение пациентов с повреждениями ПКС ставит цель одновременно восстановить и функциональную стабильность, и нормальную подвижность травмированного коленного сустава. Необходимым условием для восстановления поврежденной структуры считают размещение и надежное приживание трансплантата в местах прикрепления ПКС [61,155].

Реконструкция является наиболее обоснованным методом хирургического лечения разрывов ПКС. В конце 20-го и начале 21 века в основе хирургии ПКС лежала изометрическая концепция [129,162], для реализации которой наиболее привлекательной и технически обеспеченной была так называемая

транстибиальная техника [82]. В этот период более 90% хирургов использовали для замещения поврежденной связки костно-связочно-костный трансплантат из средней трети связки надколенника. Поскольку данный способ операции позволял получать наилучшие для того времени результаты, его стали называть «золотым стандартом» [78]. Известно, что результаты таких операций были в 75–90% вполне благоприятными и позволяли многим пациентам вернуться к повседневной деятельности и даже к спортивной активности. Однако накопленный опыт показал, что нередко после операции сохранялась некоторая остаточная нестабильность. Признавая, по-видимому, это неизбежным, многие хирурги относили пациентов с отрицательными и слабopоложительными тестами несостоятельности ПКС к одной, условно благоприятной, группе. Кроме того, значительная доля пациентов предъявляла жалобы на стойкие контрактуры, а также на болезненность и чувствительные нарушения в области забора трансплантата [13,11,9,25,15,12].

В связи с этим хирурги все чаще стали использовать в качестве трансплантата пучок сухожилий из задней группы мышц бедра. Традиционная транстибиальная техника с применением более тонких сухожильных трансплантатов (обычно 7–8 мм в диаметре) еще более обострила проблему неудовлетворенности уровнем клинических исходов. Проведенные в то время многочисленные исследования показали, что характерным последствием такого способа реконструкции ПКС было размещение большей части трансплантата кпереди от анатомического места прикрепления ПКС на бедре, что приводило к тому, что трансплантат чаще имел вертикальную ориентацию, отличную от оси ПКС [43]. В таких случаях на операционном столе хирургам удавалось ликвидировать избыточную переднезаднюю разболтанность сустава, но ротационная нестабильность, пусть и в меньшей, чем до операции, степени, нередко сохранялась. Кроме того, у значительной доли пациентов наблюдали стойкие ограничения в разгибании и сгибании в суставе, а если нормальную подвижность в результате упорных и длительных реабилитационных мероприятий удавалось восстановить, то нестабильность обычно становилась

более выраженной. Так, проведенный через 10 лет после таких операций анализ объективных результатов показал, что у 62% пациентов вызывался положительный «pivot-shift» тест, в т.ч., скользящий – у 42% и явный – у 20% [81], признаки артроза наблюдали у 53,5% пациентов [87]. Среди пациентов, которым выполняли такую реконструкцию ПКС, уровень возвращения к занятиям футболом через 3 года составил не более 54% [140]. По данным американского проспективного мультицентрового исследования среди 433 пациентов, прооперированных в период с 2005 по 2010 год, через 2 года после операции выявляли скользящий «pivot-shift» тест у 41,7%, а явный - еще у 2,9% пациентов [109].

Многие хирурги прекратили выполнять транстибиальную реконструкцию, они перешли к техникам независимого сверления туннелей, позволяющим у всех пациентов (при правильной технике) формировать туннели в зонах анатомического прикрепления ПКС. Тем не менее, по данным международного опроса, проведенного в 2020 году, около 11% практикующих хирургов мира продолжали использовать трастибиальную технику [155]. Был предложен ряд мер по модификации методики транстибиального формирования бедренного туннеля.

Улучшение транстибиальной техники включало: 1) перенос точки входа для формирования большеберцового туннеля в точку перекреста переднего края большеберцовой коллатеральной связки и сухожилия гусиной лапки; 2) придание ноге определенного положения с помощью мануального маневра; 3) расположение внутрисуставной апертуры большеберцового туннеля ближе к центральной или к заднелатеральной зоне большеберцового прикрепления ПКС; 4) расширение межмышцелковой ямки за счет резекции межмышцелкового края латерального мыщелка бедра [102,55,74,79]. Проведенное анатомическое исследование вариантов транстибиального формирования туннелей продемонстрировало, что при диаметре большеберцового туннеля 9 мм и более, можно было достичь анатомически правильного места бедренного прикрепления ПКС и сформировать анатомически правильный бедренный туннель [42]. Как показали данные систематического обзора от 2024 года, данный вид техники

реконструкции некоторые хирурги и в настоящее время считают жизнеспособной опцией хирургического лечения [162].

К настоящему времени общепризнанной и наиболее обоснованной является анатомическая концепция реконструкции ПКС, в основе которой заложено стремление хирургов как можно более точно воспроизвести поврежденную структуру – ПКС [157,75]. Исходя из представлений о топографии мест прикрепления ПКС, принято полагать эффективной такую реконструкцию ПКС, при которой туннели будут сформированы в местах прикрепления связки, и трансплантат будет перекрывать не менее 50–80% от общей площади волокон [71,61].

Современные тренды также отражают стремление хирургов использовать массивные (более 8 мм в диаметре) цилиндрические сухожильные трансплантаты [32,125,131,114]. Однако ряд авторов считают размещение толстых мягкотканых цилиндрических трансплантатов в туннелях большого диаметра не обоснованным решением, поскольку такой массивный трансплантат существенно отличается от относительно тонкой лентовидной ПКС. Размещенный в узкой межмышцелковой ямке, он может быть причиной конфликта с задней крестообразной связкой и стенками мышцелков бедра [43].

Кроме того известно, что ось таких трансплантатов под действием силы натяжения может сдвигаться к передненижней стенке бедренного и к заднелатеральной стенке большеберцового туннеля, т.е. в сторону областей прикрепления заднелатерального, менее изометричного, функционального пучка ПКС [77]. В результате сухожильный трансплантат даже в анатомично сформированных туннелях может занимать отличное от оси ПКС вертикально ориентированное положение [101]. Приобретенная неоптимальная позиция трансплантата может стать одной из причин сохранения после операции у значимой доли пациентов (при неповрежденном трансплантате) объективных признаков остаточной нестабильности [34]. Слабовыраженные проявления нестабильности могут быть незаметны в повседневной деятельности и не снижать при анкетировании субъективную оценку. Но при высоких функциональных

запросах это может иметь значение. Так, у профессиональных спортсменов, имевших легкую степень нестабильности (на уровне минимально положительных тестов), частота рецидивов составляла 30% против 6% (с отрицательными тестами) за 25 летний период наблюдений [106].

Сегодня наиболее часто используемым трансплантатом для анатомической реконструкции ПКС является сложенный в несколько пучков трансплантат из сухожилий подколенной области. Его использование отличается косметичностью и меньшей болезненностью донорской зоны, простотой при заборе и относительно низким функциональным дефицитом. Однако он в меньшей степени, чем трансплантат из связки надколенника, восстанавливает объективную стабильность поврежденного коленного сустава, а также характеризуется большей подверженностью к повторным повреждениям и рецидивам. Возможно, поэтому хирурги продолжают поиски более эффективных решений. Например, они возобновили попытки максимально сохранить ткань ПКС, для чего при определенных видах повреждений, а именно при проксимальных отрывах связки от бедра накладывают швы и укрепляют их синтетическими лентами. Хирурги сообщают о сопоставимых с реконструкцией субъективных ближайших результатах и более благоприятном восстановлении проприоцептивной чувствительности сустава [4,147,21]. Однако реинсерция (или шов) ПКС не может пока полностью заменить реконструкцию. Результаты далеко неоднозначны, требуются более тщательные наблюдения на более длительных сроках. Так, по данным метаанализа от 2023 года частота неудач после шва ПКС была намного выше, чем после реконструкции [115]. У подростков 7–18 лет частота повторных разрывов после шва ПКС составляла 48,8% за 3 года наблюдения [66]. Как не вспомнить статью J.A. Feagin и W.W. Curl, 1976, в которой авторы показали результаты открытого шва ПКС. По их данным после относительно благоприятного 2-х летнего периода у 94% пациентов возник рецидив нестабильности за 5-летний срок наблюдения [58].

В современной практике все чаще стали применять источники трансплантатов, например, сухожилие длинной малоберцовой мышцы или

сухожилие четырехглавой мышцы бедра (квадрицепса). В России и странах Азии на замену сухожилий подколенной области предлагают использовать сухожилие длинной малоберцовой мышцы. По данным ряда авторов сложенное вдвое сухожилие позволяет получить трансплантат диаметром не менее 8 мм, техника его забора относительно не сложная и безопасная, функция стопы существенно не страдает, ближайшие функциональные результаты вполне сравнимы с результатами применения других трансплантатов [5,1,19]. Однако для подтверждения таких обнадеживающих выводов требуется больше сведений о среднесрочных и отдаленных исходах таких операций.

Сухожилие квадрицепса набирает популярность в странах Европы, его сегодня рекомендуют применять в качестве альтернативы трансплантату из связки надколенника, а также при ревизионных операциях после нередких у физически активных пациентов неудачных реконструкций ПКС сухожилиями подколенных мышц. Клинический опыт показывает, что уровень результатов и частота рецидивов после его использования примерно такие же, как при использовании трансплантата из связки надколенника, а выраженность болезненности в переднем отделе сустава ниже [13,114,36,160]. Недавно представлено 2-х летнее наблюдение за молодыми активными пациентами, у которых применение трансплантата из квадрицепса, как с костным блоком от надколенника, так и полностью мягкотканного, показывало благоприятные и равные результаты, впрочем, для большей надежности его все же укрепляли синтетической лентой [52]. Тем не менее, известные способы первичной реконструкции ПКС еще не позволяют полностью устранить объективные признаки остаточной нестабильности у всех пациентов.

Поэтому в последние годы у пациентов с высокими функциональными требованиями и при ревизионной пластике снова стали применять способы дополнительной латеральной экстраартикулярной стабилизации [7,53]. Укрепление переднелатерального комплекса с помощью различных видов латерального экстраартикулярного тенодеза или пластики переднелатеральной связки полагают целесообразным для пациентов с выраженными проявлениями

ротационной нестабильности, которым необходимо вернуться к занятиям контактными и игровыми видами спорта, а также при необходимости в ревизионной реконструкции. Некоторые авторы предлагают эту процедуру как дополнение к стандартной реконструкции подколенными сухожилиями [6,69,76]. Тем не менее, полностью избежать остаточной нестабильности до сих пор не удается. Так, по данным систематического обзора Beckers L. et al., 2021, у 14% пациентов после первичной анатомической реконструкции ПКС выявляли явно положительный «pivot-shift» тест. У пациентов, которым дополнительно выполняли латеральную экстраартикулярную пластику, частота остаточной разболтанности сустава снижалась, но лишь до 6% [39].

1.4. Место костно-связочно-костного трансплантата из средней трети связки надколенника в реализации анатомической концепции реконструкции ПКС

Исторически, трансплантат из средней трети связки надколенника с костными концами используется с 1963 года [87] и многие годы является широко используемым для реконструкции ПКС материалом, с которым сравнивали все другие трансплантаты [64,78,158,159,26,5,22]. И сегодня многие хирурги отдают предпочтение трансплантату из связки надколенника, в особенности для молодых пациентов, профессионально занимающихся контактными, игровыми и прыжковыми видами спорта [35,37,119,125,126]. Данные практически всех национальных регистров показывают наименьшую частоту ревизий (от 1,5 до 3,2%), что особенно важно, т.к. трансплантат из средней трети связки надколенника чаще использовали у физически активных пациентов с высоким риском повторных травм [68,90,106,119,138]. Кроме того, функциональное состояние оперированного коленного сустава отличается более высоким уровнем ротационной стабильности в сравнении с мягкоткаными сухожильными трансплантатами [51,64,65,159,158].

В настоящее время, когда ведущей технологией в реконструкции ПКС стала реализация анатомической концепции, роль трансплантата из связки надколенника не уменьшилась. Это единственный трансплантат, который имеет два естественных костно-связочных соединения на концах и способен (при правильной ориентации) имитировать функцию обоих пучков ПКС [143]. В 2020 году 16,1% опрошенных хирургов из разных стран мира использовали для первичной реконструкции трансплантат из связки надколенника, среди респондентов из Северной Америки их доля составляла 45,5% [155]. Для профессиональных спортсменов контактных видов спорта, например в Национальной Футбольной Лиге США, связку надколенника использовали в качестве трансплантата ПКС 97% спортивных хирургов-ортопедов [34]. Но для пациентов с умеренными функциональными требованиями чаще используют другие источники трансплантатов.

Трансплантат из средней трети связки надколенника с костными блоками наиболее близок по строению к нативной ПКС. Но поскольку связка надколенника обычно длиннее, то связочно-костные соединения трансплантата неизбежно будут располагаться в глубине, по крайней мере, одного из костных туннелей. Несоответствие размеров плоской порции трансплантата и диаметра апертур туннелей является одной из причин раскачивания трансплантата и препятствует полноценному приживлению в месте прикрепления ПКС. Опубликованные в 2020 году результаты опроса 260 хирургов-ортопедов США – экспертов в области спортивной медицины, показали, что консенсус в методах устранения данной проблемы еще не достигнут. Большинство опрошенных хирургов предлагали продвигать проксимальный костный блок в глубину бедренного туннеля. Около половины респондентов укорачивали трансплантат за счет ротации его вокруг продольной оси или просто отсекали выступающую часть большеберцового блока. Менее 5% хирургов применяли технику свободного костного блока и подшивали дистальный костный блок к связке [139].

Предложенная японским хирургом-исследователем Konsei Shino техника размещения трансплантата из связки надколенника в прямоугольных туннелях,

должна была обеспечить более точную установку трансплантата в местах прикрепления ПКС, уменьшить степень несоответствия между трансплантатом и туннелем, кроме того, воспроизвести анатомическую ориентацию ее двух функциональных пучков [143]. Хирурги, которые поддержали эту идею и размещали такой трансплантат в прямоугольных туннелях, наблюдали у большинства пациентов отличные ближайшие анатомо-функциональные результаты. Тем не менее, при осмотрах через 2 и более лет после операции те же авторы выявляли у 5–8% пациентов положительный «pivot-shift» тест [152,113]. Выполненные КТ-исследования показали, что через 6 месяцев после реконструкции ПКС наблюдалось расширение входов в туннели преимущественно в направлении давления связочной части трансплантата на костный край [156]. Степень расширения прямо зависела от глубины расположения костного блока. Так, в условиях подвешивающей фиксации трансплантата при глубине залегания костного блока в 2,8 мм от апертуры, наблюдали расширение входа в бедренный туннель до 15%, а при дистанции 6 мм – до 50% [97]. Техника формирования прямоугольных туннелей анатомически обоснована, но технически сложна. Она обычно требует нескольких этапов рассверливания туннелей, применения ударных нагрузок (в результате чего нельзя исключить растрескивания стенок туннелей), уменьшения размеров костных блоков трансплантата, а также затрудняет интерферентную фиксацию [94]. Возможно поэтому она не получила широкого распространения и не заменила собой традиционную технику, при которой используют массивные костные блоки трансплантата и соответствующие им цилиндрические туннели [45,47].

Таким образом, до настоящего времени еще не достигнуто согласие в выборе наиболее эффективного способа лечения повреждений ПКС. Относительная сдержанность в применении, казалось бы, анатомически обоснованного трансплантата из связки надколенника, вероятно, связана с известными и нерешенными до сих пор проблемами: во-первых, наличием

несоответствия длины трансплантата и туннеля, и, во-вторых, относительно более высокой частотой неблагоприятных последствий в области донорской зоны.

1.5. Способы уменьшения несоответствия между трансплантатом из связки надколенника и туннелями

Характерной особенностью костно-связочно-костного трансплантата из средней трети связки надколенника является несоответствие между трансплантатом и туннелем, что может быть одной из причин остаточной нестабильности. В 1993 году Shaffer B. et al., 1993, пожалуй, первыми обозначили проблему несоответствия длины трансплантата и туннеля, указали на важность интраоперационных измерений трансплантата и туннелей при эндоскопической пластике ПКС и предложили оригинальный способ ее решения. В случаях, когда в большеберцовом туннеле могло оказаться менее 20 мм костного блока трансплантата, авторы прибегали к изменению техники. При длине связки надколенника более 50 мм хирурги забирали большеберцовый костный блок трансплантата единым блоком вместе с дополнительным кусочком кости, взятым из переднего края эпифиза. Большеберцовым концом трансплантат вводили в бедренный туннель и фиксировали его (со стороны костного фрагмента) интерферентным винтом [142]. Подобный способ устранения несоответствия длины трансплантата и туннеля вновь был предложен Janani G. et al., 2022, и развит Ходжановым И.Ю. и Убайдуллаевым Б.С., 2024 [86,27]. При анатомической пластике для лучшей адаптации костного блока в туннеле они так же использовали костный фрагмент из переднего края эпифиза большеберцовой кости рассчитанной длины, но внедряли его в большеберцовый туннель. Такие техники решают задачу укорочения и эффективной интерферентной фиксации трансплантата. Они представляются технически нетрудными и привлекательными, особенно, при применении обоснованного авторами предоперационного планирования. Но, т.к. забираемый фрагмент эпифиза

представляет собой скользящую опорную поверхность для дистального конца связки надколенника (стенку глубокой синовиальной сумки), декорткация этой зоны может завершиться рубцеванием и функциональным укорочением связки надколенника. Кроме того, помещение скользящей поверхности в проксимальную часть большеберцового туннеля не способствует ограничению подвижности контактирующей части трансплантата. Авторы, к сожалению, не приводят данных о послеоперационных изменениях в зоне забора.

Другим решением было определение правил для выбора угла направителя, при котором будет возможно рассверлить большеберцовый туннель рациональной длины. Наиболее обоснованным при транстибиальной технике называли правило «N+7», где N – длина связочной части трансплантата, а при независимом (анатомическом) рассверливании бедренного туннеля – «N+10» [116,70]. Укорачивать трансплантат из связки надколенника, выполняя разворот одного из костных блоков на 180° и подшивая его к связке, впервые предложил Morgan C.D. et al., 1995 [122]. Данный способ интересен тем, что он позволяет приблизить точку вращения трансплантата к суставной линии. Однако он не лишен недостатков: во-первых, для адаптации в туннеле необходимо сделать костный блок существенно тоньше, что может снижать прочность интерферентной фиксации в эпифизарной области медиального мыщелка большеберцовой кости, во-вторых, он приводит к изменению ориентации места естественного костно-связочного перехода и полоски трансплантата в целом.

Интересный вариант в 1998 году описали Fowler B.L. и DiStefano V.J. Они предложили во время операции вычислять длину проксимальной части большеберцового туннеля, в которой не будет находиться костный блок трансплантата, и заполнять ее свободным спонгиозным костным фрагментом, подшивая его к трансплантату непосредственно над большеберцовым костным блоком. Авторы предполагали создать зону плотного контакта мягкотканной части трансплантата вблизи к суставной поверхности [60]. Однако эта перспективная методика не получила широкого применения, вероятно, вследствие технических трудностей. В качестве костного фрагмента использовали губчатый

цилиндр, который забирали специальным полым сверлом при рассверливании большеберцового туннеля. Прочность губчатого трансплантата может значительно варьировать и оказаться недостаточной, например, при остеопорозе или малом диаметре. Он может повреждаться при заборе или в момент подшивания к связке, сминаться или мигрировать при интерферентной фиксации. В настоящее время чаще полученную таким способом костную губку используют для пластики донорских дефектов.

Таким образом, существует множество способов уменьшения несоответствия между костно-связочно-костным трансплантатом, взятым из связки надколенника, и костными туннелями, но какой из них наиболее эффективен и безопасен, остается неясным.

1.6. Послеоперационные изменения в донорской зоне после забора трансплантата из связки надколенника и способы их уменьшения

Первоначально (в доартроскопический период) пластику ПКС выполняли посредством артротомии. Герметичный шов капсулы и пучков связки надколенника был необходимым условием для восстановления синовиальной среды полости сустава и снижения риска послеоперационной инфекции. Применение мер по защите трансплантата в течение 1–2 месяцев после операции (ограничение опорной нагрузки на ногу, иммобилизация или ношение ортеза с ограничением подвижности от 10° до 90°, запрет на активное, т.е. с сокращением *m. quadriceps*, полное разгибание голени, осторожная и медленная реабилитация) способствовали образованию фиксированных рубцов и контрактур. Именно тогда стали появляться сообщения о значительном рубцовом укорочении связки надколенника, артрофиброзе, стойких контрактурах и неблагоприятных последствиях взятия трансплантата, которые в последующем послужили основанием для перехода к более «агрессивной» реабилитации и в т.ч. к оставлению дефекта связки и сшиванию только перитенона [46,123,57].

Одним из первых сообщений о применении МРТ для оценки донорского места была статья S.D. Coupens et al., 1992 [50]. Оценивая аксиальные срезы толщиной 6 мм, они показали, что к 18 мес. после полнослойного шва дефекта ширина связки восстанавливалась, толщина была на 42,5% больше, ее структура приближалась к норме. В 1994 г. D. Kohn и A. Sander-Beuermann с помощью УЗИ-исследований обнаруживали дефекты между несшитыми пучками связки через 2 года после операции. Кроме того, у 36% пациентов они получили болезненные костные шипы у верхушки надколенника в результате пластики надколенника стружкой, полученной при обработке трансплантата [95]. В 1995 г. E. Adriani et al. с помощью УЗИ и рентгенографии в сроки от 3 до 12 мес. изучили незакрытые и закрытые донорские места связки надколенника. Вертикальная позиция надколенника по их данным незначительно снижалась и не отличалась между группами пациентов. В группе с открытыми связочными дефектами при УЗИ-сканировании наблюдали «бинокулярный» рисунок двух пучков связки с гиперэхогенным мостиком между ними, а в группе с закрытыми дефектами через 1 год эхогенность связки возвращалась к норме [30].

Большие разрезы над связкой надколенника нередко повреждают веточки подкожного нерва бедра и вызывают стойкие невропатии на голени, что проявляется дискомфортом при ходьбе на коленях [152,45,103]. Чтобы уменьшить проблемы донорского места были предложены менее инвазивные техники забора трансплантата: малые горизонтальные или вертикальные разрезы, выделение тела связки без рассечения фасциального футляра и перитенона [67,117,154,91]. Предполагалось, что сохранение целостности перитенона будет способствовать удержанию пучков связки в контакте и улучшению условий кровоснабжения донорского места. В 1999 г. J. Kartus et al. сравнили открытую технику забора трансплантата с малоинвазивной [92]. Изучив аксиальные срезы МРТ через 2 года после операции, авторы отметили, что диастаз между пучками связки надколенника имелся в обеих группах, но был несколько меньше после применения подкожной техники. Выявленные по данным МРТ, УЗИ, пункционной биопсии длительные патологические изменения в тканях

донорского места [103,92,151] послужили основанием для предостережения от попыток повторного взятия трансплантата из этой зоны, а также побудили хирургов к более широкому использованию других источников трансплантатов. Публикации более позднего времени были посвящены в основном сравнительному анализу клинических результатов применения различных трансплантатов и отмечали относительно более частые проблемы в переднем отделе коленного сустава после пластики ПКС трансплантатом из связки надколенника [35,65]. До настоящего времени в литературе нет обоснованного мнения о наиболее рациональной технике забора трансплантата и закрытия связочных и костных дефектов [62,100,135]. Некоторые недавние сообщения указывают на то, что современные технологии реконструкции ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника могут давать меньше осложнений, чем предполагали раньше, однако связывали это в основном с улучшением системы оценки и с более правильной техникой пластики ПКС [73].

Таким образом, применяемые в настоящее время способы анатомической реконструкции ПКС еще не позволяют полноценно восстановить поврежденную связку и предупредить развитие остаточной нестабильности у значимой доли пациентов. Поэтому вопросы совершенствования техники операции остаются актуальными. Нерешенные вопросы повышения эффективности анатомического размещения трансплантата, а также поиск условий для уменьшения неблагоприятных изменений в месте забора трансплантата из связки надколенника послужили основанием для проведения настоящего диссертационного исследования.

1.7. Резюме

Проведенный анализ данных специализированной медицинской научной литературы выявил наличие нерешенных проблем и подтвердил актуальность настоящего исследования. 1. Современные научно-практические исследования,

посвященные строению и биомеханике ПКС, особенностям ее повреждений и методам хирургического лечения, показали, что для полноценного восстановления поврежденной связки необходимым условием является реализация анатомической концепции реконструкции ПКС. 2. К сожалению, до настоящего времени нет согласия в выборе наиболее эффективных методик анатомо-функционального восстановления коленного сустава после повреждения ПКС. 3. Результаты известных способов реконструкции ПКС показывают, что размещение сухожильных трансплантатов даже в анатомически правильно выполненных туннелях, не позволяет добиться полноценного восстановления у всех пациентов. Так, почти половина из них в последующем испытывает, пусть и слабо выраженные, симптомы остаточной нестабильности, не позволяющие им вернуться к прежнему уровню физической активности. 4. Многие хирурги отдают предпочтение трансплантату из связки надколенника для реконструкции ПКС у пациентов с высокими функциональными требованиями, однако результаты его применения еще далеки от совершенства, кроме того сопровождаются относительно высокой частотой болезненности в донорской зоне. 5. Неоптимальные результаты операций могут быть обусловлены несоответствием между трансплантатом из связки надколенника и туннелями, которое нередко оказывало неблагоприятное воздействие на позицию и состояние трансплантата, а также неблагоприятными изменениями в связке надколенника, возникающими после забора трансплантата. В литературе еще нет консенсуса относительно наиболее рациональных способов решения данных проблем. 6. Кроме того, известно, что сухожильный трансплантат при натяжении даже в правильно расположенных туннелях может принимать неанатомическое положение, однако приемлемых решений данной проблемы в литературе еще не найдено. Это послужило основанием для планирования и проведения настоящего исследования.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая структура исследования

Объектом исследования являлись пациенты с первичными повреждениями ПКС после различных способов ее реконструкции с использованием костно-связочно-костного трансплантата из средней трети связки надколенника. Предметом изучения были взаимоотношения между трансплантатом и костными туннелями, изменения в связке надколенника после различных вариантов пластики ПКС, а также анатомо-функциональные результаты у пациентов с неповрежденным трансплантатом ПКС. В соответствии с поставленной целью и задачами настоящее диссертационное исследование было разделено на три последовательных этапа.

На первом этапе был проведен ретроспективный анализ видеопротоколов операций, послеоперационных рентгенограмм и отдаленных (10–13-летних) анатомо-функциональных исходов у случайно выбранных 60 пациентов после применявшейся ранее транстибиальной пластики ПКС с использованием заочного анкетирования (по шкалам IKDC, Lysholm). В том числе у 15 пациентов было проведено очное обследование с оценкой данных рентгенографии, МРТ и тестов несостоятельности ПКС («pivot-shift», Лахмана, «переднего выдвижного ящика»). Кроме того, выбраны 30 пациентов, которым в различные сроки после данного способа операции и по разным поводам выполняли МРТ оперированного коленного сустава. У них по послеоперационным рентгенограммам измеряли индекс положения надколенника (Insall-Salvati), а также оценивали МРТ-картину связки надколенника после типичной для того времени техники забора трансплантата с неполным закрытием связочных и оставлением костных дефектов.

Полученные данные позволили определить характерные особенности и недостатки транстибиальной реконструкции, которые послужили основанием для

перехода к технике двухдоступной анатомической реконструкции ПКС. Выбранный способ операции характеризовался следующими чертами: 1) хорошая визуализация внутренних структур сустава, безопасное и воспроизводимое выполнение технических приемов; 2) независимый, индивидуальный, основанный на анатомических ориентирах, выбор центров туннелей и их рассверливание снаружи внутрь к местам прикрепления ПКС; 3) установка костных блоков трансплантата, прежде всего, тиббиального, внутри туннелей, чтобы обеспечить возможность интерферентной фиксации; 4) размещение и разворот костных блоков в соответствии с анатомической ориентацией ПКС; 5) натяжение и фиксация трансплантата в положении его максимальной длины, т.е. при полном разгибании в суставе; 6) заполнение (по возможности) латеральной части внутрисуставного входа в большеберцовый туннель костным фрагментом, полученным при скусывании выступающего (после фиксации) из туннеля конца трансплантата; 7) полнослойный шов дефекта связки надколенника и пластика костных дефектов губчатой аутокостью.

Вторым этапом было выполнено ретроспективное изучение интраоперационных данных и 3–5-летних анатомо-функциональных результатов применения у 60 пациентов выбранной техники реконструкции ПКС. Основной практической задачей при установке трансплантата было размещение костных блоков внутри туннелей, что позволяло выполнить адекватную интерферентную фиксацию. У 15 пациентов было проведено очное клинико-лучевое обследование. Анализ выявленных характерных особенностей применения известных методик реконструкции ПКС позволил определить основные направления для усовершенствования техники операции.

На третьем этапе были обоснованы и предложены технические решения, направленные на более точное воспроизведение поврежденной анатомической структуры – ПКС и на восстановление целостности и размеров связки надколенника, поврежденной вследствие забора трансплантата. Был разработан оригинальный направитель, позволяющий безопасно и точно провести ориентирующие спицы снаружи внутрь, который можно использовать в качестве

альтернативы зарубежным аналогам. Модифицированная техника реконструкции ПКС была применена у 80 пациентов. Анатомо-функциональные результаты были изучены в срок через 1,5–2 года в проспективном исследовании, в ходе которого пациенты были разделены на две равные сопоставимые группы. В первой группе применяли двухдоступную технику реконструкции ПКС, предусматривающую основанное на интраоперационных измерениях трансплантата и туннелей анатомическое размещение трансплантата и его прочную интерферентную фиксацию. Во второй группе пациентам дополнительно создавали контакт трансплантата с медиальным краем апертуры большеберцового туннеля с помощью вклинения кортикального фрагмента, взятого из переднего края большеберцовой кости. В каждой группе 15 пациентам было проведено углубленное обследование взаимоотношений трансплантата и туннелей, а также особенностей послеоперационных изменений связки надколенника с использованием КТ в динамике и МРТ. Полученные в результате сравнительного анализа между проспективными группами достоверные сведения о различиях в положении трансплантата, особенностях изменений позиции апертур туннелей, взаимоотношений костных блоков трансплантата и туннелей в условиях интерферентной фиксации позволили сделать заключение о преимуществе предложенной техники анатомической реконструкции. Применение ее у пациентов позволило добиться улучшения ближайших анатомо-функциональных результатов. Проведенный сравнительный анализ изменений в донорской зоне между проспективной и ретроспективной группами позволил определить условия, необходимые для более полноценного восстановления целостности, формы и размеров связки надколенника.

У пациентов всех групп программа реабилитации была практически одинаковой и предусматривала кратковременную (до 4–5 дней) иммобилизацию выпрямленной нижней конечности в съемном тугоре, мануальную мобилизацию надколенника, дозированное восстановление подвижности коленного сустава и ходьбы, достижение полной опорной нагрузки в течение 4–6 недель.

Дизайн исследования представлен в форме блок-схемы на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема (дизайн) исследования

2.2. Материал исследования

Настоящее исследование построено на анализе результатов лечения 200 пациентов, которым хирургические вмешательства осуществлялись в клинике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена на 5 травматолого-ортопедическом отделении.

Критериями включения в исследование были: 1) возраст от 18 до 45 лет; 2) первичный разрыв ПКС; 3) одинаковая программа реабилитации; 4) согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения: 1) гонартроз 2–3-й степени; 2) наличие повреждений других связок и внутренних структур, по поводу которых выполняли реконструктивные оперативные вмешательства (шов или пластика связок, шов мениска, хондропластика); 3) наличие в анамнезе разрыва ПКС на другой стороне.

Критериями исключения были: 1) послеоперационные инфекционные осложнения; 2) отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании или потеря контакта с пациентом.

Поскольку предметом исследования было выявление особенностей функционирования трансплантата ПКС после выбранных способов реконструкции, то пациенты с его разрывами в послеоперационном периоде не были включены в итоговую оценку клинических результатов. Количество пациентов с рецидивами нестабильности, обусловленными повреждениями трансплантата, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество пациентов с рецидивами нестабильности в группах исследования

Группа 1 (n=60)	Группа 2 (n=60)	Группа 3 (n=80)	
		Подгруппа 3А (n=40)	Подгруппа 3Б (n=40)
4 (6,7%)	3 (5,0%)	2 (5,0%)	1 (2,5%)
		Подгруппа 3А1 (n=15)	Подгруппа 3Б1 (n=15)
		0 (0%)	0 (0%)

Характеристика пациентов исследуемых групп представлена в таблицах 2, 3 и 4. Значимых различий между группами до операции не было выявлено.

Таблица 2 – Характеристика пациентов ретроспективных групп

Пациенты (N=120)	1-й группы (n=60)	2-й группы (n=60)	P
Возраст, лет	M=28,5 (SD=6,3)	M=30,2 (SD=6,9)	0,86
Пол	муж – 55, жен – 5	муж – 48, жен – 12	0,12
Срок от травмы до операции, мес.	Me=13 (Q1=3; Q3=24)	Me=12 (Q1=54 Q3=22,5)	0,97
Повреждения менисков:			0,22
- нет	13	15	
- медиальный мениск	13	22	
- латеральный мениск	9	9	
- оба мениска	25	16	

Таблица 3 – Характеристика пациентов проспективных подгрупп

Подгруппы пациентов (N=80)	3А (n=40)	3Б (n=40)	3А1 (n=15)	3Б1 (n=15)	Р	
					3А и 3Б	3А1 и 3Б1
Возраст, лет	М=32,7 (SD=7,0)	М=31,7 (SD=7,1)	М=31,1 (SD=6,7)	М=28,6 (SD=6,9)	0,92	0,80
Пол	муж – 27, жен – 13	муж – 30, жен – 10	муж – 11, жен – 4	муж – 12, жен – 3	0,46	1,00
Индекс массы тела, кг/см ²	М=25,9 (SD=3,9)	М=25,1 (SD=3,6)	М=27,4 (SD=4,6)	М=23,4 (SD=1,8)	0,88	0,43
Срок от травмы до операции, мес.	Me=11 (Q1=4; Q3=23)	Me=7 (Q1=3; Q3=26)	Me=11 (Q1=6; Q3=34)	Me=6 (Q1=3; Q3=26)	0,98	0,18
Повреждения менисков: - нет	9	11	4	4	0,80	0,97
- медиальный мениск	16	18	6	5		
- латеральный мениск	6	5	3	4		
- оба мениска	9	6	2	2		

Таблица 4 – Характеристика пациентов, отобранных для изучения послеоперационных изменений в связке надколенника (СН)

Подгруппы пациентов (N=60)	1-СН (n=30)	3-СН (n=30)	Р
Возраст, лет	М=28,2 (SD=7,0)	М=30,1 (SD=6,9)	0,85
Пол	муж – 21, жен – 9	муж – 22, жен – 8	1,00
Индекс массы тела, кг/см ²	–	М=25,3 (SD=3,8)	–

Пациентам первой ретроспективной (транстибиальной) группы операции выполняли в период с февраля 2012 по сентябрь 2015 года. Во вторую группу вошли 60 пациентов, которым в период с марта 2020 по январь 2022 года была выполнена реконструкция ПКС с использованием традиционной двухдоступной анатомической техники. В проспективную часть исследования вошли 80 пациентов, которым в период с октября 2022 года по март 2024 года была выполнена реконструкция ПКС с использованием двух вариантов модифицированной двухдоступной анатомической техники.

2.3. Хирургическая техника

Все оперативные вмешательства выполняли в положении пациента на спине на операционном столе, который имел опускающиеся ножные концы. На уровне нижней трети бедра устанавливали боковой упор, позволяющий применять к коленному суставу боковую нагрузку для раскрытия медиального и латерального отделов. На верхнюю треть бедра накладывали нестерильный пневматический турникет для обескровливания ноги в ходе операции (Рисунок 2). После обработки операционного поля осуществляли артроскопию коленного сустава из стандартных передних доступов. После выявления и коррекции сопутствующих внутрисуставных повреждений оценивали состояние ПКС и частично удаляли ее остатки, мешающие выполнению реконструкции.



Рисунок 2 – Положение пациента на операционном столе

2.3.1. Транстибиальная техника

Пациентам 1-й ретроспективной группы применяли так называемую однодоступную транстибиальную реконструкцию, при которой вначале рассверливали туннель в медиальной мыщелке большеберцовой кости, затем через него создавали неполный (несквозной) туннель в латеральной мыщелке бедра и проводили трансплантат ПКС через большеберцовый туннель в сустав и далее в бедренный туннель.

Забор трансплантата выполняли из двух горизонтальных разрезов. Разрезы длиной до 3-х см выполняли вне костных выступов: верхний – под верхушкой надколенника и нижний – над основанием бугристости большеберцовой кости. Перитенон пересекали только на уровне кожных разрезов, выделяли связку подкожно с помощью зажима и выкраивали трансплантат, стараясь сохранить целостность фасциального футляра. Костные блоки забирали с помощью долота и формировали их в виде трапеции размерами по 25x10–12x8–10 мм. После забора трансплантата края перитенона и пучков связки сшивали на уровне кожных разрезов над концами связки одним – двумя узловыми швами. Пластику костных дефектов не выполняли (Рисунок 3). Пучки связки на уровне сохраненного футляра не сшивали, предполагая, что наводящих швов на концах связки будет достаточно для их сближения и последующего заживления.

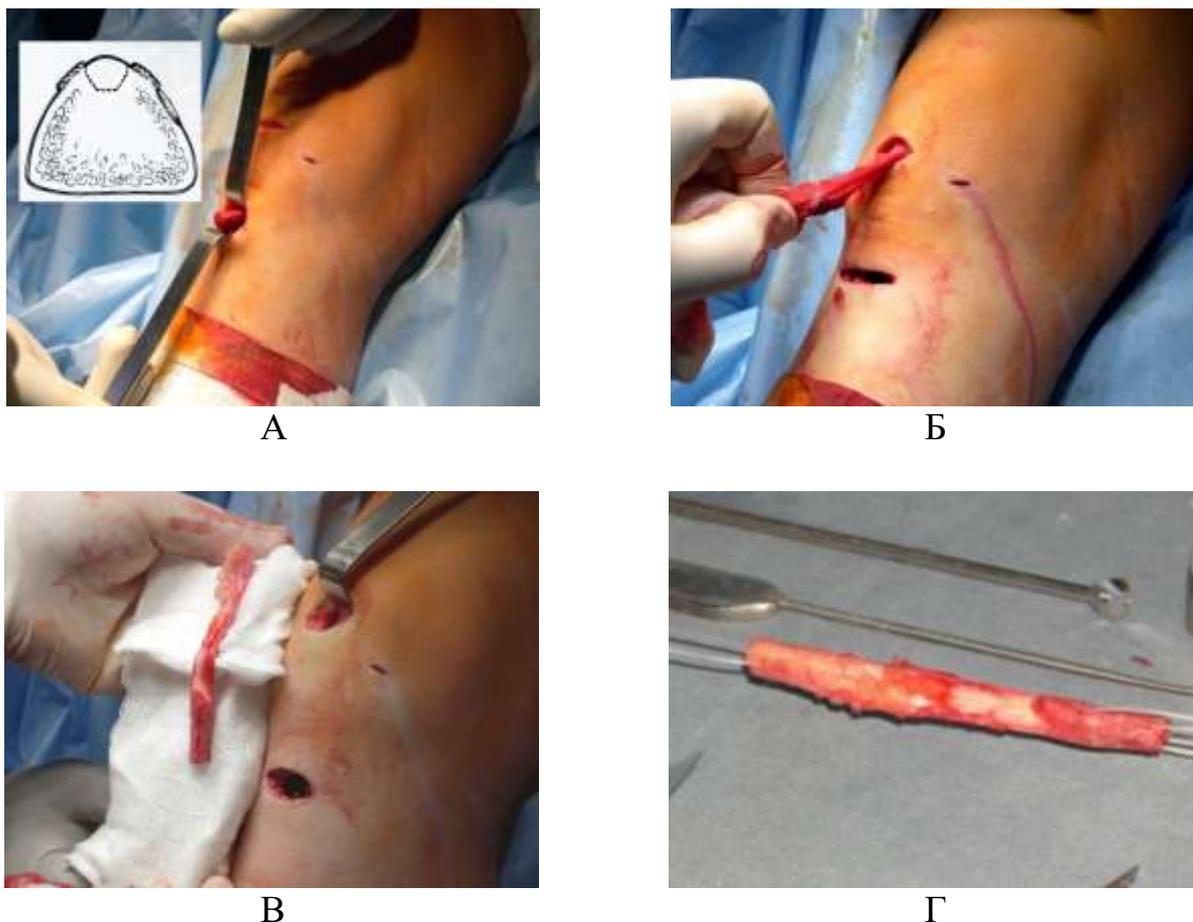


Рисунок 3 – Выделение трансплантата из средней трети связки надколенника:

А – трансплантат подкожно мобилизован; Б – трансплантат выведен в проксимальную рану; В – сформированный через горизонтальные разрезы свободный трансплантат из средней трети связки надколенника; Г – вид трансплантата с проведенными через костные блоки нитями

Затем под контролем введенного в переднелатеральный портал артроскопа, осматривали и освобождали от мягких тканей межмышцелковую стенку латерального мыщелка бедра, для лучшей визуализации и для предупреждения возможного конфликта трансплантата нередко выполняли краевую резекцию межмышцелковой стенки латерального мыщелка бедра («notch-пластику»). Технология транстибиальной реконструкции ПКС предусматривает, что центры размещения трансплантата на бедре и на большеберцовой кости будут на одной линии с точкой входа. Для проведения спицы в большеберцовой кости использовали направитель Acufex Director Drill Guide фирмы Smith&Nephew, устанавливали на нем угол 50–55°. Точку выхода ориентирующей спицы на плато

большеберцовой кости определяли по анатомическим точкам: передний рог латерального мениска, медиальный и латеральный межмыщелковые бугорки. Точку выхода спицы проецировали на заднелатеральную треть зоны прикрепления ПКС, т.е. примерно посередине между вершкой медиального бугорка и задним краем переднего рога латерального мениска. Чтобы в последующем через большеберцовый туннель можно было достичь проксимального участка зоны бедренного прикрепления ПКС, устанавливали угол $35\text{--}40^\circ$ между направителем спицы и продольной осью большеберцовой кости во фронтальной плоскости. Кончик втулки направителя прижимали к коже и в этом месте выполняли отдельный косой разрез длиной 2 см (Рисунок 4). В результате точка входа на скате медиального мыщелка большеберцовой кости оказывалась примерно в углу между передним краем большеберцовой коллатеральной связки и верхним краем сухожилий «гусиной лапки» (Рисунок 5). По спице рассверливали туннель канюлированным сверлом.

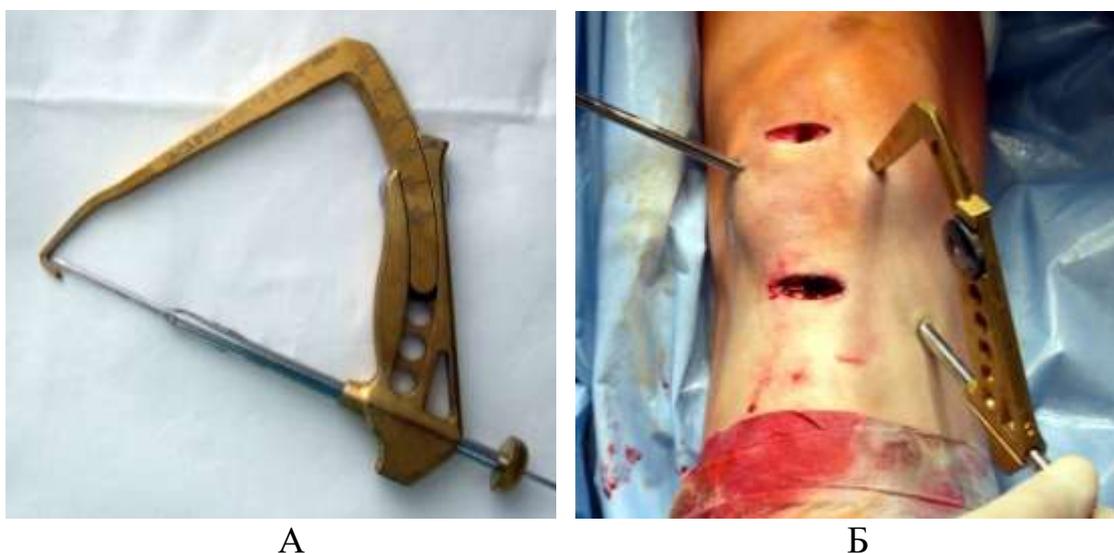


Рисунок 4 – Общий вид тибиаляного направителя: А – вид направителя с направляющей спицей; Б – установка в суставе в момент проведения спицы

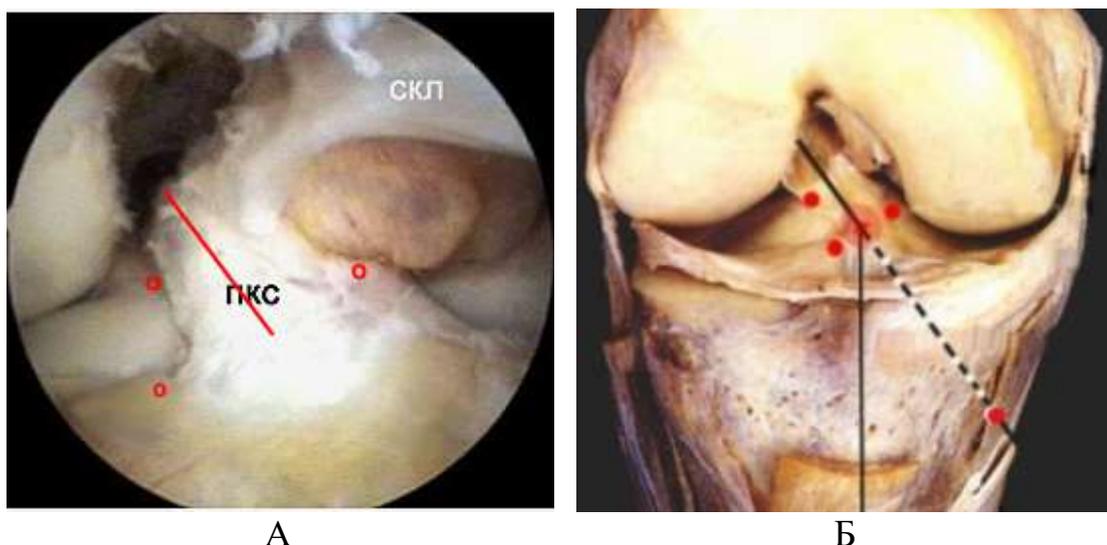


Рисунок 5 – Ориентиры для определения позиции большеберцового туннеля: А – артроскопический вид, медиальный и латеральный межмышцелковые бугорки, передний рог латерального мениска, точка входа (красные точки), апертюра туннеля в заднелатеральной части места прикрепления ПКС (красный овал), ось ПКС (косая линия); Б – схематическое изображение

Для последующего проведения спицы к центру планируемого бедренного туннеля через большеберцовый туннель вводили штыкообразный направитель с офсетом 7 мм той же фирмы, кончик которого заводили за край латерального мышцелка бедра (Рисунок 6). Глубина засверливания бедренного туннеля составляла 30 мм, что позволяло осуществить фиксацию костного блока системой RIGIDFIX фирмы DePuy/Mitek, USA (Рисунок 7). С помощью рамки в латеральном мышцелке бедра устанавливали направляющие гильзы, по которым в последующем выполняли фиксацию костного блока трансплантата двумя биорезорбируемыми штифтами (Рисунок 8).



А



Б



В



Г

Рисунок 6 – Штыкообразный направляющий для бедренного туннеля: А – общий вид направляющего с направляющей спицей; Б – установка направляющего в суставе; В – момент введения спицы; Г – вид апертуры сформированного бедренного туннеля

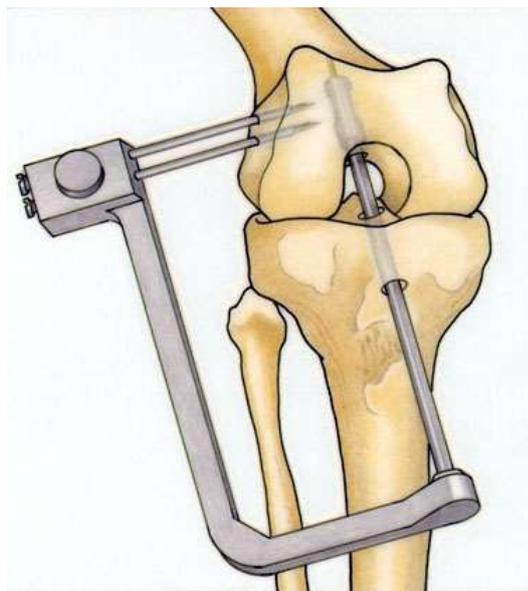


Рисунок 7 – Рамка с направляющими гильзами для поперечной фиксации трансплантата системой RIGIDFIX (DePuy-Mitek, USA)

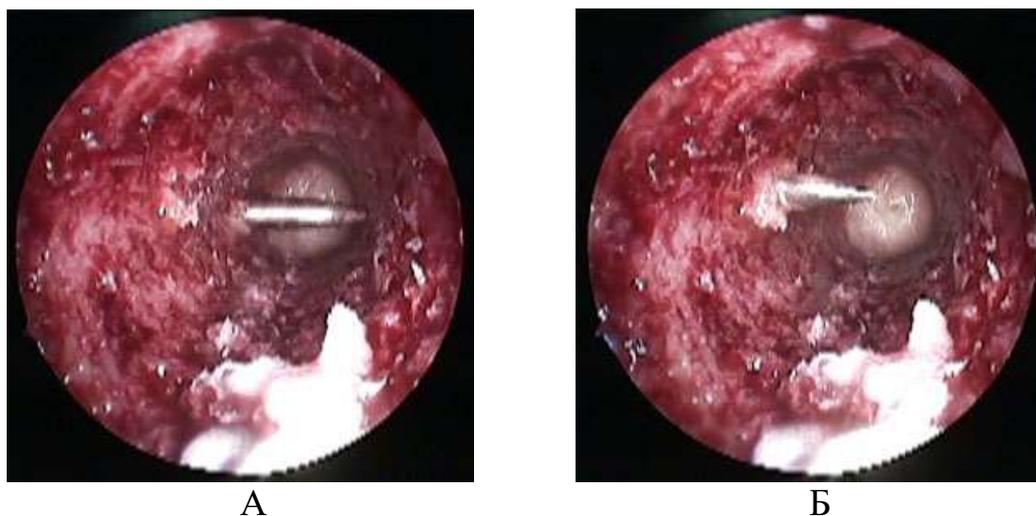


Рисунок 8 – Контроль над правильностью установки направляющих гильз:
 А – спица через проксимальную гильзу пересекает туннель; Б – спица введена
 через дистальную гильзу

После удаления рамки в туннели вводили втулку от тиббиального направителя и по ней с помощью дрели насквозь проводили специальную длинную спицу-проводник диаметром 2,4 мм с ушком на конце. Затем втулку удаляли, нити продевали в ушко спицы и тягой за нити внедряли трансплантат через тиббиальный туннель в сустав и далее в бедренный туннель, причем, костные блоки старались установить в соответствии с анатомической ориентацией ПКС (Рисунок 9). Проксимальный костный блок в бедренном туннеле фиксировали биорезорбируемыми штифтами, трансплантат натягивали и фиксировали дистальный костный блок в положении 0° – 20° сгибания интерферентным винтом (Рисунок 10). Операцию завершали промыванием полости сустава, его дренированием, послойным швом ран, асептической повязкой и иммобилизацией в тугоре. На следующие сутки выполняли перевязку и удаляли дренаж, выполняли контрольную рентгенографию в 2-х проекциях (Рисунок 11).



А



Б

Рисунок 9 – Процесс установки трансплантата в суставе: А – проведение направляющей спицы с ушком; Б – внедрение трансплантата в туннели



А



Б

Рисунок 10 – Артроскопический вид трансплантата ПКС, установленного с помощью транстибиальной техники реконструкции: А – при сгибании коленного сустава под углом 90°; Б – в положении разгибания

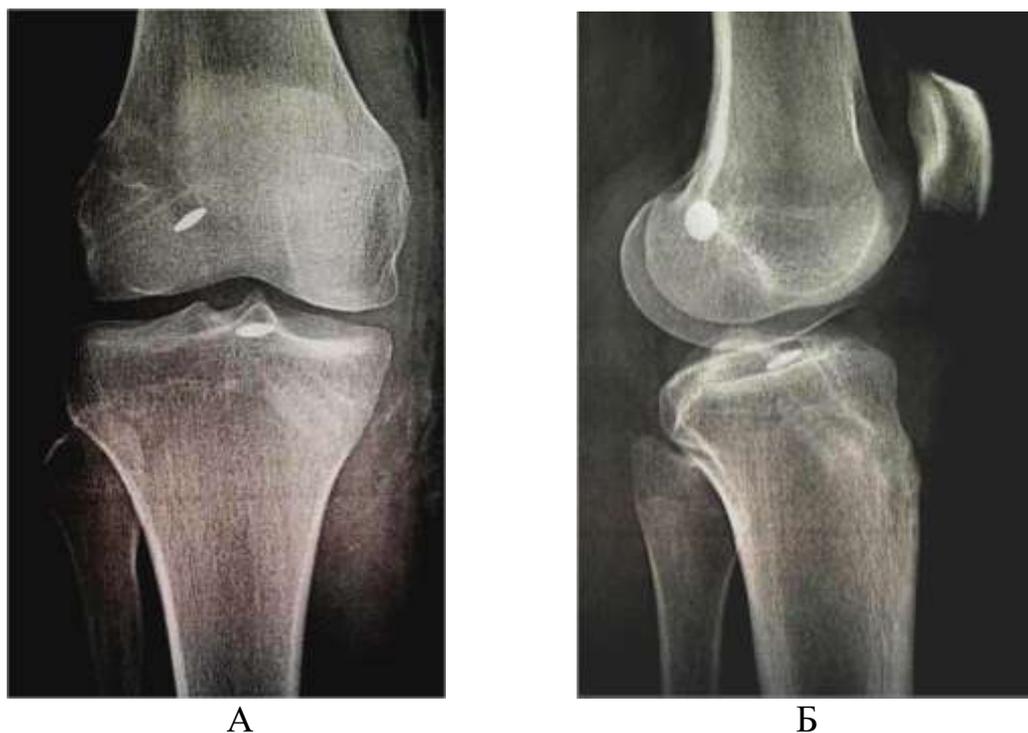


Рисунок 11 – Рентгенограммы пациента после транстибиальной реконструкции ПКС: А – прямая проекция; Б – боковая проекция, овалами обозначены апертуры туннелей, апертура туннеля на бедре – в частично анатомической, на большеберцовой кости – в центрально-анатомической позиции

2.3.2. Традиционная двухдоступная анатомическая техника

Пациентам 2-й группы применяли известную технику так называемой двухдоступной анатомической реконструкции ПКС, при которой цилиндрические костные туннели формировали снаружи внутрь независимо друг от друга из отдельных малых разрезов. Она обеспечивает хорошие условия для артроскопической визуализации и безопасного выполнения необходимых оперативных приемов. При такой технике основные хирургические манипуляции выполняют в положении со свободно свисающей и согнутой под прямым углом голенью.

Выбранный способ реконструкции ПКС характеризовался следующими чертами: 1) разметка центров туннелей на основе измерений с учетом

анатомических ориентиров; 2) установка костных блоков трансплантата, прежде всего, тибиального, внутри туннелей, чтобы обеспечить возможность интерферентной фиксации; 3) размещение и разворот костных блоков в соответствии с анатомической ориентацией ПКС; 4) натяжение и фиксация трансплантата в положении его максимальной длины, т.е. при полном разгибании в суставе; 5) заполнение (по возможности) латеральной части внутрисуставного входа в большеберцовый туннель костным фрагментом, полученным при скусывании выступающего из туннеля конца трансплантата; 6) полнослойный шов дефекта связки надколенника и пластика костных дефектов губчатой аутокостью. Разметка операционных доступов представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Разметка операционных доступов: А, Б, В – артроскопические доступы; Г – доступ для забора трансплантата; Д, Е – доступы для проведения туннелей и имплантации связки

После стандартного артроскопического этапа коррекции сопутствующих внутренних повреждений и освобождения мест прикрепления ПКС приступали к выделению и забору трансплантата. Выполняли продольный разрез кожи и подкожной клетчатки над связкой длиной 5–7 см; продольно рассекали и мобилизовывали перитенон, выделяли края связки надколенника (Рисунок 13).

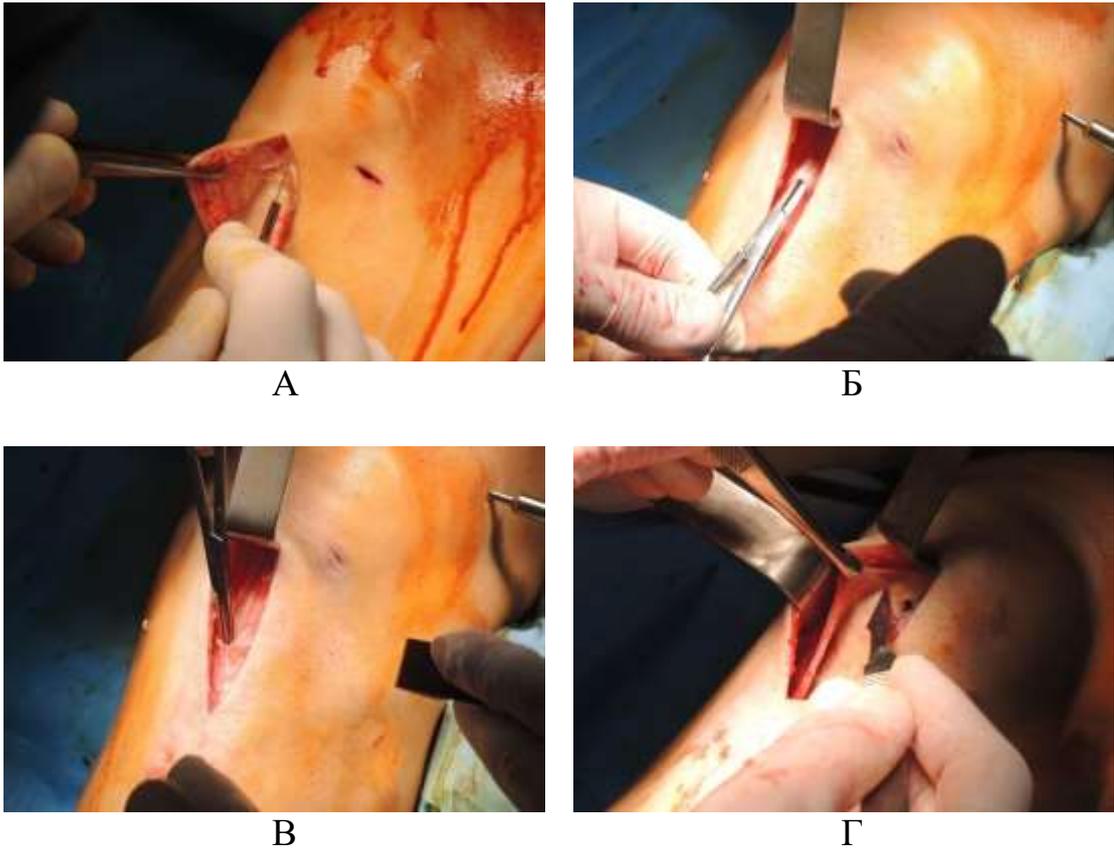


Рисунок 13 – Этапы выделения связки надколенника: А – мобилизация краев раны; Б – рассечение перитенона по зажиму к надколеннику; В – к бугристости; Г – препарирование листков паратенона и выделение краев связки

С помощью долота выкраивали костные блоки трансплантата и с помощью ножниц придавали им трапециевидную форму и подходящие размеры. Проксимальный костный блок из надколенника обычно составлял 20x10–12x8–10 мм, дистальный – из бугристости большеберцовой кости – 30–35x10–12x8–10 мм (Рисунок 14, 15).



А



Б

Рисунок 14 – Забор костного блока трансплантата:
А – из бугристости; Б – из надколенника



Рисунок 15 – Вид подготовленного трансплантата

Из дна костного ложа бугристости с помощью металлической трубки (от использованного шейверного круглого бора) забирали два столбика губчатой кости диаметром по 4,5 мм и длиной 2,0–2,5 см (Рисунок 16).

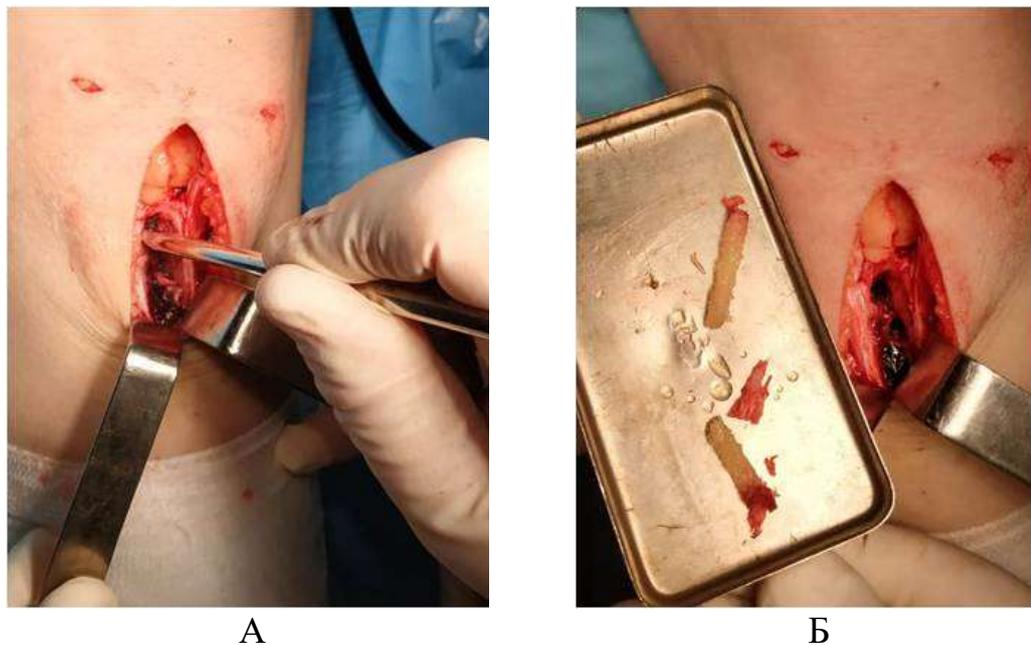


Рисунок 16 – Забор столбиков губчатой кости А – забор губчатых трансплантатов из дна костного ложа бугристости с помощью шейверного лезвия от круглого бора; Б – вид костных столбиков на лотке

У края верхушки надколенника накладывали узловый шов рассасывающейся нитью № 2 с захватом листков перитенона, краев связки на всю толщину, подлежащего жирового тела. Тем самым костный дефект надколенника изолировали от связочного дефекта, что должно было бы препятствовать миграции костных фрагментов и элементов костного мозга. В костный дефект надколенника плотно укладывали два ранее подготовленных губчатых столбика длиной до 2,0 см и сшивали над ним листки перитенона и препателлярной сумки. Далее перитенон и пучки связки на всю толщину сшивали узловыми швами рассасывающейся нитью № 2 с шагом около 1,0 см между стежками до костного дефекта бугристости большеберцовой кости (Рисунок 17). Кожные раны не зашивали до завершения операции, чтобы уменьшить параартикулярный отек и обеспечить контроль над формированием костных туннелей и имплантацией новой связки.

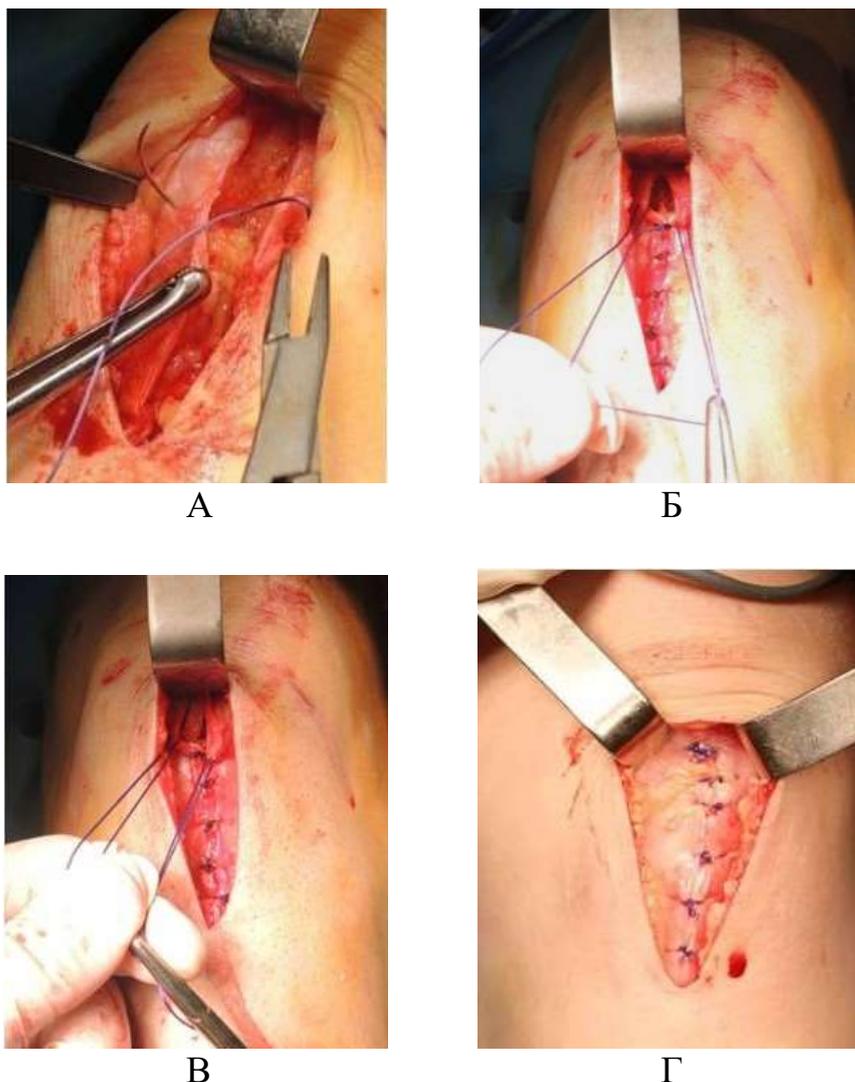


Рисунок 17 – Закрытие дефекта надколенника и шов связки:
 А – первый шов на уровне вершины надколенника и захватывает дно раны, создавая препятствие возможной миграции губчатых трансплантатов из ложа надколенника; Б, В – заполнение дефекта надколенника костными столбиками;
 Г – сшивание связки, перитонеона и препателлярной сумки

После забора трансплантата приступали к проведению туннелей. Первым формировали бедренный туннель, для чего артроскоп размещали в переднелатеральном портале и с помощью электрорезектора освобождали место бедренного прикрепления ПКС. Затем артроскоп вводили в переднемедиальный портал, придавали суставу положение сгибания под прямым углом и визуализировали межмышечковую стенку латерального мышелка бедра. Через переднелатеральный портал вводили линейку для внутрисуставных измерений, например, TRUKOR Depth Gauge фирмы Smith&Nephew (или подходящее

измеряющее приспособление), устанавливали кончик у проксимального участка заднего края мыщелка бедра в месте перехода кости в хрящ и отмеряли необходимое расстояние (8 или 9 мм) в зависимости от диаметра планируемого туннеля (Рисунок 18).



А



Б



В



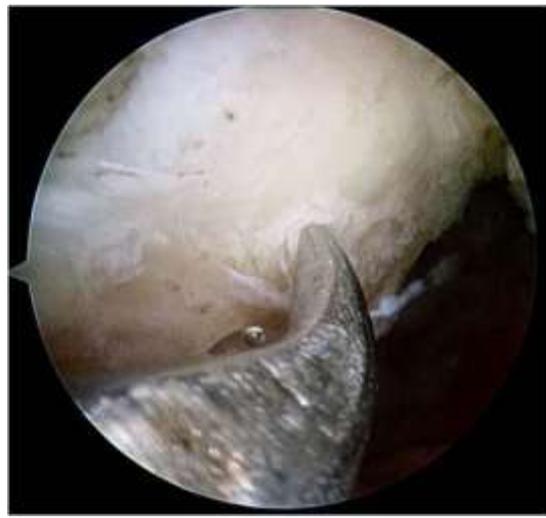
Г

Рисунок 18 – Освобождение места бедренного крепления ПКС и выбор центра туннеля: А, Б – вид из переднелатерального портала; В, Г – выбор центра туннеля, вид из переднемедиального портала

Выбранную точку отмечали с помощью изогнутого шила, которое вводили в сустав, прокалывая капсулу между пучками связки надколенника (Рисунок 19).



А



Б

Рисунок 19 – Разметка центра бедренного туннеля: А – шило введено в сустав через прокол между пучками связки надколенника; Б – кончик шила находится у центра бедренного туннеля

Из отдельного разреза в латеральной надмышцелковой области к размеченному центру туннеля подвели направитель, устанавливали на нем угол 40° – 45° и проводили ориентирующую спицу, по которой рассверливали туннель необходимого диаметра (Рисунок 20). В результате получали анатомически расположенный бедренный туннель с неповрежденной и тонкой (2,5–4,0 мм) задней костной стенкой (Рисунок 21).



А



Б

Рисунок 20 – Направитель Acufex Director: А – рукоятка, втулка для спицы и мишень бедренного туннеля - в сборе, мишень тиббиального туннеля – сверху; Б– установка в суставе

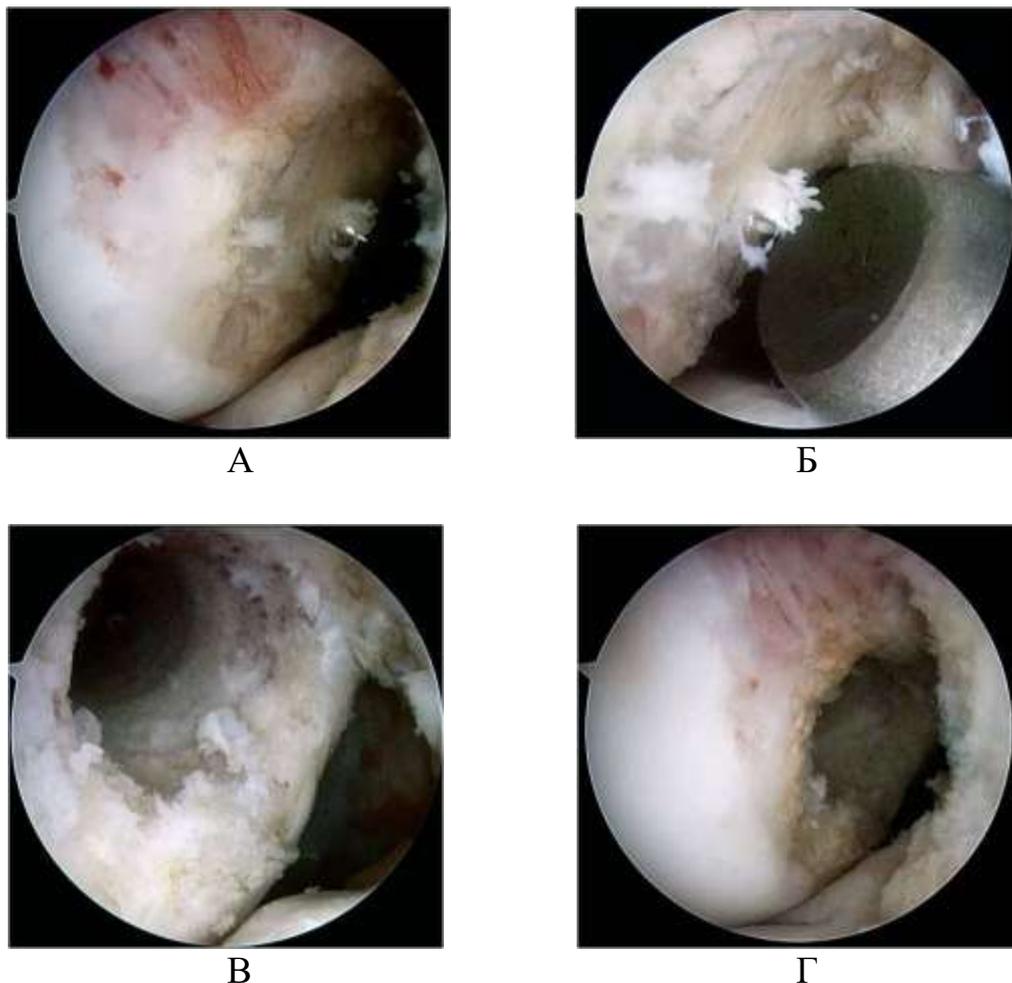


Рисунок 21 – Этапы формирования бедренного туннеля:

А – спица в центре бедренного туннеля; Б – ложка Фолькмана защищает от продвижения спицы в момент сверления; В, Г – вид сформированного туннеля из переднемедиального портала

Следующим этапом проводили разметку и формирование большеберцового туннеля. Артроскоп вводили в переднелатеральный портал и удаляли разрушенные участки культы ПКС с помощью шейвера и электрорезектора (Рисунок 22). В положении разгибания мысленно опускали вертикаль от вершины межмышцелковой вырезки бедра до тибиаляного плато и отмечали точку. При таком способе разметки центр тибиаляного туннеля располагался в проекции центрально-переднемедиальной части места прикрепления ПКС. На направителе обычно устанавливали угол 55° , а если связка надколенника была длиннее 5 см, увеличивали до 60° . При независимом сверлении туннелей можно было уменьшить наклон направителя во фронтальной плоскости, его обычно

устанавливали под углом 20° – 30° , что позволяло несколько увеличить длину тиббиального туннеля (Рисунок 23). По направителю к выбранной точке проводили ориентирующую спицу (Рисунок 24).



А



Б

Рисунок 22 – Подготовка места тиббиального прикрепления ПКС:
А – удаление фрагментов культи ПКС шейвером; Б – электрорезектором



Рисунок 23 – Установка тиббиального направителя

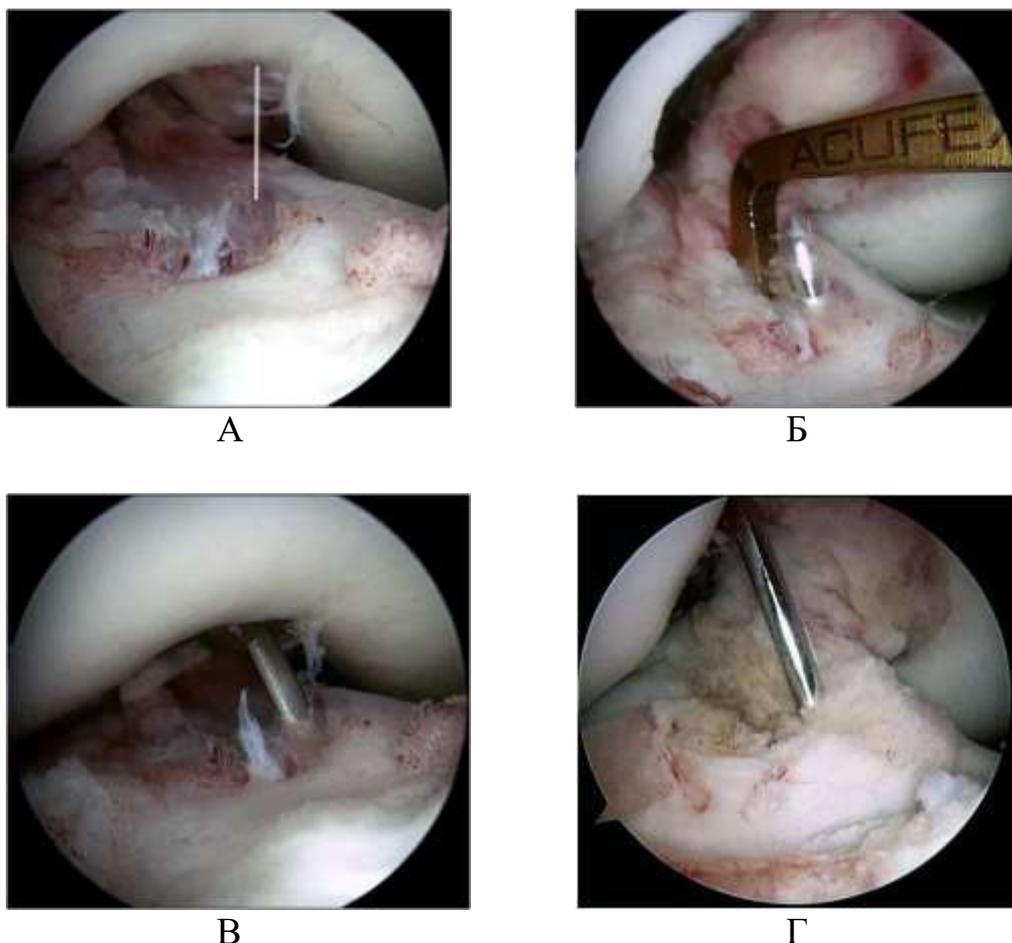


Рисунок 24 – Разметка центра тибального туннеля и проведение ориентирующей спицы: А – мысленная вертикаль от вершины межмышцелковой вырезки бедра к тибальному плато; Б – проведение спицы по направителю; В – контроль позиции спицы при разгибании; Г – спица стабилизирована путем засверливания в крышу латерального мышцелка бедра

Формирование тибального туннеля начинали с неполного засверливания на глубину около 35 мм и забора костной стружки с помощью канюлированного сверла фирмы DePuy-Mitek (USA), которое имело четыре крестообразно расположенных продольных ребра. Чтобы размер туннеля в итоге не превысил планируемый диаметр, сверло брали на 1–2 мм меньше. Стружку удаляли из пазов сверла и собирали в лоток для последующего заполнения донорского дефекта бугристости (Рисунок 25). Далее по спице рассверливали сквозной туннель, последовательно проходя его сверлами от минимального (6 мм) до необходимого (11–12 мм) диаметра. Затем спицу удаляли, просвет и апертуру туннеля зачищали с помощью шейвера и электрорезектора (Рисунок 26).



А



Б

Рисунок 25 – Забор губчатой костной стружки: А – засверливание слепого туннеля сверлом с продольными пазами; Б – вид забранной с его помощью костной стружки



А



Б

Рисунок 26 – Подготовка большеберцового туннеля: А – зачистка просвета тибального туннеля шейвером; Б – вид апертуры туннеля

С помощью проволочной петли, проведенной из бедренного туннеля в большеберцовый, продвигали трансплантат по направлению снизу вверх. Причем стремились создать условия для прочной интерферентной фиксации, т.е. большеберцовый костный блок внедряли в просвет туннеля не менее, чем на 25 мм. Известно, что связка надколенника обычно длиннее, чем длина ПКС, поэтому проксимальный костный блок приходилось продвигать в глубину бедренного туннеля. Многие хирурги в своей практике используют такой прием уменьшения несоответствия между трансплантатом и туннелем при

анатомической пластике ПКС и полагают его приемлемым. Принципиальным условием являлось придание трансплантату позиции, максимально воспроизводящей ориентацию природной ПКС в суставе. Для этого проксимальный костный блок ориентировали губчатым слоем к передней стенке бедренного туннеля, а дистальный блок разворачивали наружу примерно на 90° и ориентировали губчатым слоем к латеральной стенке туннеля (Рисунок 27). Поддерживая натяжение нитей постоянным, удерживали трансплантат в установленной позиции и выполняли интерферентную фиксацию бедренного костного блока снаружи внутрь винтом размером 8x20 или 9x20 мм. Затем в положении разгибания голени трансплантат натягивали и фиксировали в большеберцовом туннеле винтом размером 9x25 или 9x30 мм. Реконструкцию завершали осмотром трансплантата и осторожным сглаживанием его поверхности с помощью электрорезектора (Рисунок 28). Донорские костные дефекты заполняли аутокостью, полученной при обработке костных концов трансплантата, рассверливания костных туннелей и остатков столбиков из дна дефекта бугристости (Рисунок 29). Связочные дефекты и операционные раны послойно сшивали рассасывающейся нитью. Раны закрывали асептической повязкой, сустав иммобилизировали в тугоре, На следующий день после перевязки выполняли контрольные рентгенограммы (Рисунок 30).



А



Б

Рисунок 27 – Разворот трансплантата в соответствии с ориентацией ПКС:
 А – разворот костных блоков трансплантата в соответствии с анатомической ориентацией ПКС для правого коленного сустава; Б – момент внедрения



А



Б

Рисунок 28 – Вид анатомично расположенного трансплантата ПКС:
 А – без конфликта при сгибании; Б – в разгибании



А



Б

Рисунок 29 – Закрытие дефекта большеберцовой кости:
 А – вид заполненного губчатой аутокостью дефекта; Б – сшивание краев
 перитенона



Рисунок 30 – Рентгенограммы после традиционной двухдоступной анатомической реконструкции ПКС: проксимальный костный блок – на 6 мм глубже внутрисуставной апертуры; дистальный блок заполняет большеберцовый туннель до уровня апертуры; заполненные костные дефекты надколенника и бугристости:
А – прямая проекция; Б – боковая проекция

2.3.3. Модифицированная техника двухдоступной анатомической реконструкции ПКС

Пациентам проспективных групп исследования была применена новая, модифицированная, усовершенствованная техника двухдоступной анатомической реконструкции ПКС. В ее основу легла методика, подробно описанная в предыдущем разделе. Поэтому нет необходимости повторно излагать содержание всех этапов операции.

Отличительными существенными чертами модифицированной техники реконструкции были следующие.

1. Формирование более длинного большеберцового туннеля для обеспечения возможности полного внутритуннельного размещения дистального

костного блока. Для этого увеличивали угол тиббиального направителя до 60° – 65° и уменьшали угол между продольной осью голени и направителем до 20° , точку входа туннеля размечали на уровне центра бугристости.

2. Интраоперационные измерения трансплантата, длины костных туннелей и внутрисуставной межтуннельной дистанции.

3. Вычисление с помощью полученных замеров длины незаполненных костными блоками участков туннелей.

4. Забор необходимого по величине фрагмента из переднего края большеберцовой кости (дистальной части бугристости) и последующее вклинение его между связочной частью трансплантата и латеральной стенкой апертуры большеберцового туннеля для создания плотного контакта трансплантата в месте прямого прикрепления ПКС.

5. Установка костно-связочного соединения проксимального костного блока на уровне апертуры бедренного туннеля и артроскопически визуально контролируемая интерферентная фиксация блока в анатомически обоснованной позиции.

6. Разворот дистального костного блока трансплантата для придания новой связке положения, повторяющего ориентацию нативной ПКС.

7. Натяжение и интерферентная фиксация трансплантата в условиях, когда он приобретает максимальную внутрисуставную длину, т.е. при полном разгибании в суставе. Это в последующем позволяло безопасное начало активных движений в раннем восстановительном периоде.

8. Закрытие связочных и костных дефектов донорской зоны с целью создания условий для восстановления целостности и формы поврежденной при заборе трансплантата связки надколенника.

С целью изучения возможности и оценки эффективности размещения трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС пациенты были разделены на две равные подгруппы. Пациенты подгруппы 3А (n=40) служили контролем, им применяли предложенный вариант реконструкции за исключением манипуляций, указанных в пункте 3. Пациентам подгруппы 3Б (n=40) применяли

данную методику реконструкции ПКС в полном объеме, т.е. в ходе операции дополнительно создавали плотный контакт связочной части трансплантата с медиальной стенкой внутрисуставной апертуры большеберцового туннеля за счет вклинения в туннель фрагмента из переднего края большеберцовой кости (Рисунок 31).

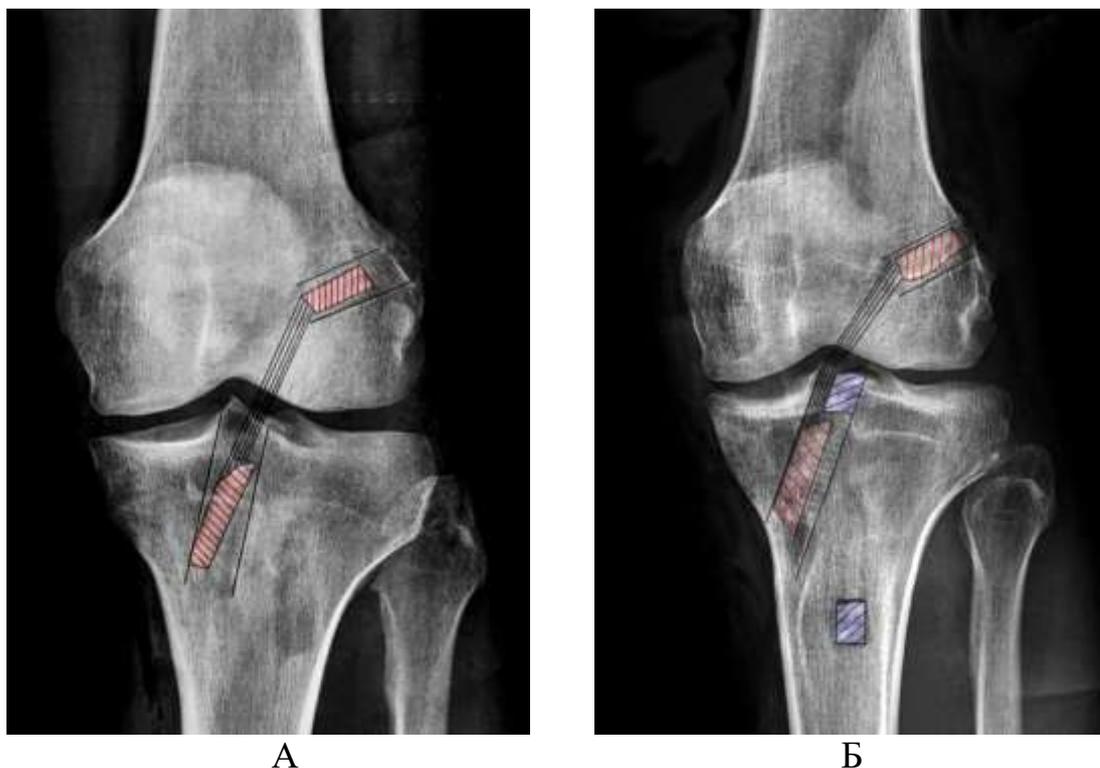


Рисунок 31 – Схема двух вариантов модифицированной техники реконструкции ПКС: А – ориентация трансплантата у пациента 3А подгруппы; Б – установка трансплантата и дополнительного костного фрагмента у пациента 3Б подгруппы

Хирургическая техника

Всем пациентам также как у пациентов 2-й группы выполняли артроскопическую пластику ПКС с независимым формированием цилиндрических костных туннелей из отдельных доступов. Из средней трети связки надколенника из продольного разреза 5–7 см выкраивали трансплантат шириной 10–12 мм с костным блоком длиной 2 см из надколенника и 3 см – из бугристости большеберцовой кости.

В ходе операции измеряли длину костных блоков и связочной части трансплантата, а также – длину костных туннелей и внутрисуставную

межтуннельную дистанцию. Трансплантат натягивали с мануальным усилием на операционном столике и измеряли с помощью линейки. Затем после рассверливания туннелей через них и полость сустава сверху вниз протаскивали петлю из лески. На дистальный конец петли накладывали поперечно зажим Бильрота, нити натягивали рукой в положении 90° сгибания в коленном суставе и фиксировали их проксимальные концы в зажиме над входом в бедренный туннель. Далее с помощью артроскопических ножниц пересекали одну нить на уровне заднего края внутрисуставной апертуры бедренного туннеля, а вторую нить – на уровне латерального края апертуры большеберцового туннеля. В каждом зажиме оказывались две нити – короткая и длинная. Длина проксимальной короткой нити соответствовала длине бедренного туннеля, разница между проксимальными нитями – межтуннельной дистанции, длина дистальной короткой нити – длине большеберцового туннеля. В итоге из длины связочной части трансплантата вычитали межтуннельную дистанцию и определяли длину внутрисуставной части большеберцового туннеля. Затем из длины бедренного туннеля вычитали длину проксимального костного блока трансплантата и определяли размер внесуставной части бедренного туннеля, которые после операции не будут заполнены костными блоками (Рисунок 32, 33).

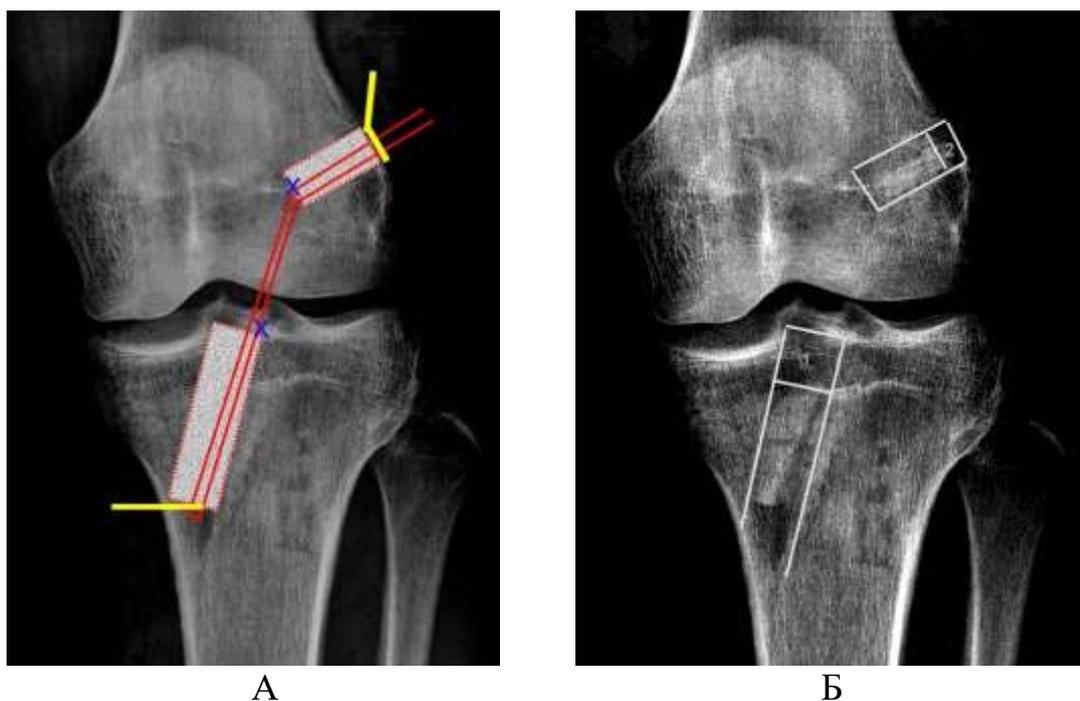


Рисунок 32 – Схема интраоперационных измерений:
 А – красной линией обозначена петля из лески, желтыми – места фиксации зажимами, синими крестиками – места пересечения нити; Б – видны костные блоки в туннелях и незаполненные костными блоками участки большеберцового (обозначен цифрой 1) и бедренного туннеля (обозначен цифрой 2)



Рисунок 33 – Момент измерения отрезка лески

Далее у пациентов 3Б группы определяли необходимую длину костного фрагмента для уплотнения и оптимизации размещения связочной части трансплантата в большеберцовом туннеле. При разгибании голени внутрисуставная длина трансплантата (в соответствии с биомеханическим поведением ПКС) может увеличиться на 4 мм. Поэтому, чтобы край костного фрагмента заведомо не выстоял в полость сустава, он должен был быть короче

вычисленной длины проксимальной (незаполненной костным блоком) части большеберцового туннеля (1 – на рисунке 32, Б) на 4–5 мм. Кортикальный костный фрагмент выбранной длины, шириной 8–10 и толщиной 5–6 мм забирали с помощью долота из дистальной части бугристости (начала переднего края) большеберцовой кости. В центре фрагмента спицей просверливали одно-два отверстия, через которые проводили рассасывающиеся нити №2–0. Фрагмент укладывали надкостничной поверхностью на полоску трансплантата у края дистального костного блока и фиксировали швами (Рисунок 34).



Рисунок 34 – Подготовленный трансплантат из связки надколенника для пластики ПКС у пациентов 3Б подгруппы: виден фиксированный нитями дополнительный костный фрагмент

Подготовленный трансплантат протягивали из большеберцового туннеля в полость сустава и далее в бедренный туннель. Проксимальный (короткий) костный блок ориентировали губчатым слоем к передней стенке бедренного туннеля и останавливали продвижение его в туннель, как только костно-связочное соединение оказывалось за передним краем апертуры туннеля. Дистальный (длинный) костный блок разворачивали снаружи примерно на 90° и ориентировали губчатым слоем к латеральной стенке туннеля. При затрудненном продвижении костного блока в большеберцовом туннеле использовали набойник. Глубину залегания проксимального костного блока трансплантата проверяли и при необходимости корригировали, используя стержень из набора для чрескостного остеосинтеза. Для этого на стержень с резьбой накручивали гайку и устанавливали на нем длину, равную незаполненной (внесуставной) части

бедренного туннеля (2 – на рисунке 32, Б). Отмеренный конец стержня внедряли в наружную часть бедренного туннеля и выравнивали положение костного блока трансплантата. Поддерживая натяжение нитей постоянным, удерживали трансплантат в установленной позиции и выполняли интерферентную фиксацию. Между передней стенкой бедренного туннеля и губчатой поверхностью костного блока снаружи проводили нитиноловый проводник, по которому под контролем артроскопа вкручивали интерферентный винт размером 8x20 мм или 9x20 мм (Рисунок 35).



Рисунок 35 – Фиксация костного блока трансплантата в бедренном туннеле левого коленного сустава: А – нитиноловый проводник и винт между губкой блока и передней стенкой бедренного туннеля; Б – винт установлен в глубине туннеля вровень с костным блоком

Далее в положении разгибания голени трансплантат натягивали с мануальным усилием и фиксировали дистальный костный блок интерферентным винтом размером 9x25 или 9x30 мм. В случаях, когда необходимо было использовать дополнительный костный фрагмент длиной менее 1,5 см, выполняли его вклинение в туннель из полости сустава (Рисунок 36). Более длинный фрагмент подшивали к трансплантату, поскольку манипуляции с ним в узком межмышцелковом пространстве были практически невозможны.



А



Б



В



Г

Рисунок 36 – Этапы внедрения короткого костного фрагмента в большеберцовый туннель из полости сустава: А – момент начала внедрения костного фрагмента в большеберцовый туннель; Б, В – внедрение фрагмента между латеральной стенкой и трансплантатом; Г – вид установленного трансплантата

Предполагалось, что в итоге трансплантат должен был принять правильное анатомическое положение. В завершение реконструкции производили контроль над положением трансплантата при сгибании и разгибании в суставе, в особенности над возможным конфликтом со стенками мышечков бедра (Рисунок 37).



А



Б



В



Г

Рисунок 37 – Артроскопическое изображение установленного трансплантата ПКС у пациента подгруппы 3Б: А, Б – вид из переднелатерального портала на трансплантат в положении сгибания и разгибания соответственно; переднемедиальные, наиболее изометрические, волокна обозначены черной линией; В, Г – вид на трансплантат из переднемедиального портала

Закрытие донорских дефектов и завершение операции производили таким же образом, как описано в разделе 2.3.2. Послеоперационные рентгенограммы представлены на рисунке 38.

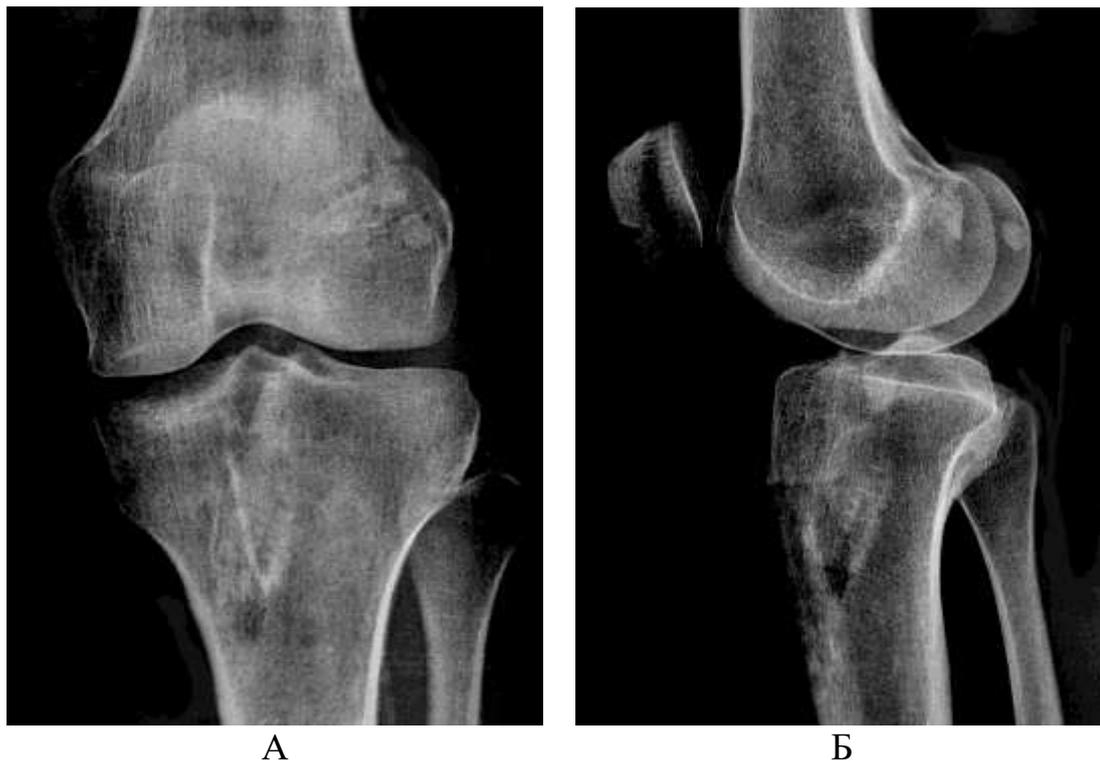


Рисунок 38 – Рентгенограммы левого коленного сустава после модифицированной анатомической реконструкции ПКС; видны туннели и костные блоки трансплантата в них, заполненные дефекты надколенника и бугристости большеберцовой кости: А – прямая проекция; Б – боковая проекция:

2.4. Послеоперационное лечение и реабилитация

Пациенты всех групп проходили реабилитационное лечение после операции в соответствии с практически одинаковой рекомендованной программой. Целью раннего послеоперационного периода являлось предупреждение тромбоэмболических и раневых осложнений, уменьшение боли и отека, улучшение тонуса мышц и приобретение навыков ходьбы с помощью костылей. Пребывание в стационаре обычно составляло 3–5 дней после операции.

В стационарном периоде применяли следующие мероприятия.

1. Возвышенное положение ноги в постели.
2. Лечебная гимнастика в течение каждого часа: изотонические упражнения для мышц голени – активное сгибание и

разгибание в голеностопных суставах, 3 подхода по 10 раз; изометрические упражнения для мышц бедра – напряжение мышц в течение 3 секунд и затем расслабление, 3 подхода по 10 раз; в конце занятий – полное разгибание голени и прикладывание пакета со льдом на колено в течение 10–15 минут.

3. Иммобилизация коленного сустава в тугоре. 4. Дозированная ходьба с помощью костылей с частичной опорой на оперированную ногу.

5. Антибиотикопрофилактика (например, цефазолин – 1 грамм 3 раза в сутки внутримышечно – в день операции и на следующий день). 6. Профилактика тромбозов (например, фраксин по 2500 МЕ подкожно 1 раз в сутки накануне и в день операции; затем – дабигатрана этексилат по 220 мг 1 раз в сутки внутрь в течение 4–6 недель). 7. Купирование болевого синдрома (например, трамадол по 100 мг внутримышечно 2 раза в день в течение 3 дней, затем – нимесулид по 100 мг внутрь 2 раза в сутки после еды до 3-х недель).

Основными ориентирами, которые принимали во внимание при планировании амбулаторного восстановительного лечения, являлись следующие.

1. Функциональная иммобилизация коленного сустава в тугоре (спать и ходить) в положении разгибания в течение 3–4 недель. 2. Ходьба с помощью костылей и с постепенно возрастающей опорной нагрузкой на прямую ногу в течение 3–4 недель. 3. Изометрические напряжения мышц бедра, активные движения стопами – каждые 2 часа, 3 подхода по 10 раз. 4. Движения в коленном суставе и мобилизация надколенника 3-5 раз в день, 3 подхода по 5–10 раз – через 3–5 дней после операции. Цель – доведение амплитуды движений от 0° до 90° за 3–4 недели. Затем продолжали занятия и стремились к полному восстановлению нормальной амплитуды движений (как на неповрежденной ноге) примерно через 2–4 месяца после операции. 5. Ношение ортеза с жесткими боковыми шарнирами при ходьбе на улице – до 4–5 месяцев, во время спортивных тренировок и при занятиях спортом – до 1–1,5 лет. 6. Возвращение к повседневным бытовым нагрузкам, плавание, приседания – через 2–3 месяца; силовые занятия в тренажерном зале, бег трусцой – через 3–4 месяца; спортивные тренировки –

через 7–9 месяцев; возвращение к игровым и контактным видам спорта, тяжелому физическому труду – через 12 месяцев.

2.5. Методы клинического и лучевого обследования

Всем пациентам ретроспективных групп проводили оценку состояния коленного сустава с использованием общепринятых субъективных шкал-опросников Lysholm'a [108] и IKDC-2000 [16]. Пациентам проспективной группы субъективное состояние оценивали перед операцией и в сроки через 1,5–2 года после. Всем пациентам после операции выполняли рентгенографию оперированного коленного сустава в 2-х стандартных проекциях.

В соответствии с дизайном исследования части пациентов проводили очное клиническое обследование с применением функциональной шкалы IKDC-2000. Обследование включало осмотр и пальпацию послеоперационных рубцов и донорской зоны, оценку болезненности при стоянии на коленях, измерение амплитуды движений, проведение объективных тестов несостоятельности ПКС («переднего выдвижного ящика», Лахмана, «pivot-shift»). Оценку проводили в сравнении с неповрежденным коленным суставом. Амплитуду движений в коленном суставе измеряли при помощи угломера. Оценку переднего смещения голени относительно бедра проводили с использованием теста «переднего выдвижного ящика» при сгибании в коленном суставе под углом 90° и теста Лахмана при сгибании в коленном суставе под углом 25°. Ротационное смещение голени относительно бедра оценивали с помощью «pivot-shift» теста. Согласно функциональной части шкалы IKDC-2000 степень выраженности указанных тестов относили к одной из 4-х категорий: отрицательный или одинаковый с двух сторон (-); слабый, скользящий (+); явный, с глухим соударением или подвывихом (++); грубый, с выраженным смещением или подвывихом (+++). Данные измерений заносили в форму функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 с целью определения итоговой объективной оценки. Согласно

данной форме результаты были разделены на 4 категории: А – норма, В – близкие к норме, С – отклоняющиеся от нормы, D – сильно отклоняющиеся от нормы.

Кроме того в группе углубленного проспективного обследования для оценки изменений в туннелях и связке надколенника анализировали данные дооперационной МРТ, трехмерных и мультипланарных реконструкций КТ, выполненных на следующий день и через 6 мес. после операции, данных МРТ – через 12 месяцев после операции. По КТ оценивали изменения апертур туннелей, взаимоотношений костных блоков трансплантата и туннелей в динамике. По МРТ изучали ориентацию и состояние трансплантата ПКС в исследуемых группах.

Все КТ и МРТ-исследования выполняли на используемых в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена аппаратах: компьютерном томографе Siemens Somatom Definition AS (Германия) и МРТ-томографе Siemens Magnetom Verio 3.0 T (Германия). Измерения проводили в программах Falcon Mx v3.6.6 (iCat Solutions Ltd, Великобритания) и RadiAnt DICOM Viewer 4.2.1 (Medixant, Польша).

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом, протокол №1 от 21.01.2022.

2.5.1. Оценка позиции апертур туннелей по рентгенограммам

В соответствии с современными представлениями область проксимального прикрепления ПКС располагается на межмышцелковой поверхности латерального мыщелка бедра и ограничена спереди латеральным межмышцелковым гребнем (гребнем резидента), кзади и кверху – 3–4-х миллиметровой костной стенкой мыщелка. На рентгенограммах или КТ-томограммах в боковой проекции линию гребня резидента определяют как линию, продолжающую задний контур бедренной кости. По данным анатомических исследований она находится примерно в 10 мм от заднего контура латерального мыщелка бедра [144,148]. Поэтому позицию бедренного туннеля оценивали относительно ЛМГ. Если линия гребня резидента была кзади от центра апертуры туннеля, то его положение

считали неанатомическим, если пересекала, то – частично анатомическим, если кпереди, то – анатомическим (Рисунок 39).



Рисунок 39 – Схема анатомически расположенной апертуры бедренного туннеля, гребень резидента обозначен черной двойной пунктирной линией

Известно, что дистальное прикрепление ПКС располагается в области переднего межмыщелкового поля (*area intercondylaris anterior*) большеберцовой кости и сзади ограничено гребнем, соединяющим медиальный и латеральный бугорки межмыщелкового возвышения (*tuberculi medialis et lateralis eminentiae intercondylaris*), по бокам – медиальным и латеральным межмыщелковыми гребнями, которые являются внутренними краями суставных поверхностей мыщелков большеберцовой кости, спереди – так называемым третьим межмыщелковым бугорком Parson'a [98,127,137].

Данные структуры можно проследить на послеоперационных рентгенограммах и установить, соответствует ли апертура сформированного большеберцового туннеля месту прикрепления ПКС (Рисунок 40). Если на рентгенограмме в прямой проекции края апертуры туннеля располагались между медиальным и латеральным межмыщелковыми гребнями, то позицию туннеля

считали анатомической. На рентгенограммах в боковой проекции тибиальный туннель практически всегда оказывался в границах широкого анатомического прикрепления ПКС, но его позиция заметно отличалась в зависимости от того, какую его часть (переднюю, центральную или заднюю) он занимал. Если на рентгенограмме в боковой проекции передний край апертуры туннеля располагался примерно в 1–3 мм кзади от бугорка Парсона, то позицию туннеля обозначали термином «передняя», его проекция соответствовала переднемедиальной, наиболее изометричной, части ПКС. Если центр апертуры туннеля находился на линии бугорков межмышцелкового возвышения или кзади от нее, то такую позицию обозначали термином «задняя», если – туннель занимал промежуточное положение, то – термином «центральная».

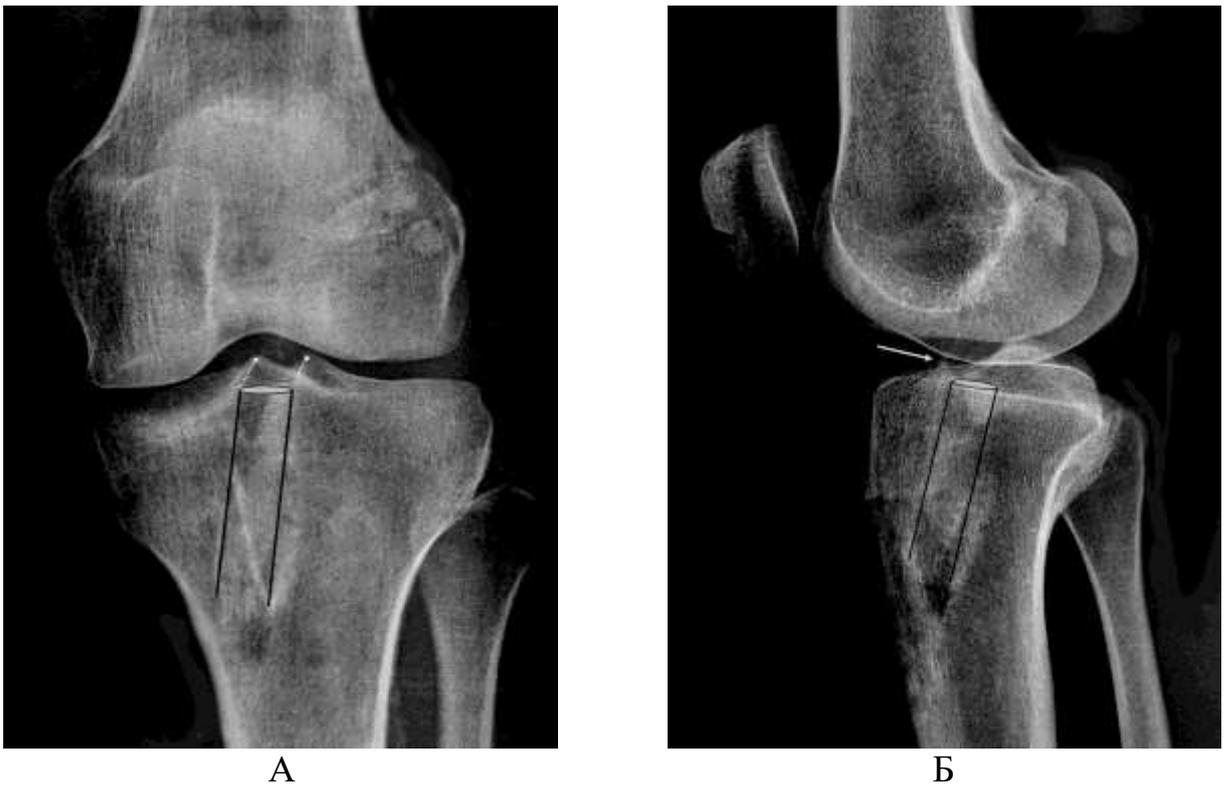


Рисунок 40 – Схема анатомически расположенного тибиального туннеля на рентгенограммах:

А – прямая проекция, белыми пунктирными линиями обозначены межмышцелковые бугорки и гребни, черными линиями – контуры туннеля; Б – боковая проекция, белая стрелка указывает на бугорок Парсона

2.5.2. Методики лучевых исследований, проводимых у пациентов проспективных групп

2.5.2.1. Измерение дооперационной длины связки надколенника

В ходе предоперационного обследования по МРТ определяли длину связки надколенника, для чего выбирали срез в сагиттальной плоскости, на котором длина связки была минимальной, и измеряли длину линии, проведенной вдоль заднего контура связки. В последующем полученные величины сравнивали с показателями интраоперационных измерений связки надколенника у каждого пациента (Рисунок 41).



Рисунок 41 – Схема измерения длины связки надколенника (пояснения в тексте)

2.5.2.2. Определение угла наклона оси трансплантата ПКС

По послеоперационным рентгенограммам в прямой и боковой проекции измеряли угол наклона оси природной ПКС относительно плато большеберцовой кости и сравнивали с углом наклона трансплантата ПКС.

Для построения углов проводили перекрещивающиеся линии: горизонтальную – по касательной к плато медиального мыщелка большеберцовой кости, первую косую – между центром бедренного туннеля и переднемедиальным краем апертуры большеберцового туннеля (соответственно местам прямого прикрепления переднемедиального пучка ПКС), вторую косую – между местами костно-связочных соединений (точками опоры) трансплантата (Рисунок 42).



А



Б



В



Г

Рисунок 42 – Схема измерения разности между углами наклона оси нативной ПКС и трансплантата: А, Б – рентгенограммы левого коленного сустава у пациентов подгруппы 3А; В, Г – у пациентов подгруппы 3Б; видны костные блоки в туннелях, построены перекрещивающиеся линии для измерения углов линии: горизонтальная – по касательной к плато медиального мыщелка большеберцовой кости, черная косая – между центром бедренного туннеля и переднемедиальным краем апертуры большеберцового туннеля (соответственно местам прямого прикрепления переднемедиального пучка ПКС), белая косая – между местами костно-связочных соединений трансплантата

2.5.2.3. Определение изменений позиции и размеров внутрисуставных апертур туннелей и костных блоков

При углубленном обследовании пациентов проспективных групп (3А1, 3Б1) проводили КТ на следующий день и через 6 месяцев после операции и сравнивали между собой полученные у каждого пациента данные. С помощью компьютерной программы Falcon Mx v3.6.6 (iCat Solutions Ltd, Великобритания) получали трехмерные изображения межмышцелковой поверхности латерального мыщелка бедра (в сагиттальной проекции) и плато большеберцовой кости (в аксиальной проекции). Для определения изменений позиции, размеров и формы апертур туннелей в динамике измеряли расстояния от контуров мыщелков до стенок туннелей (Рисунок 43).

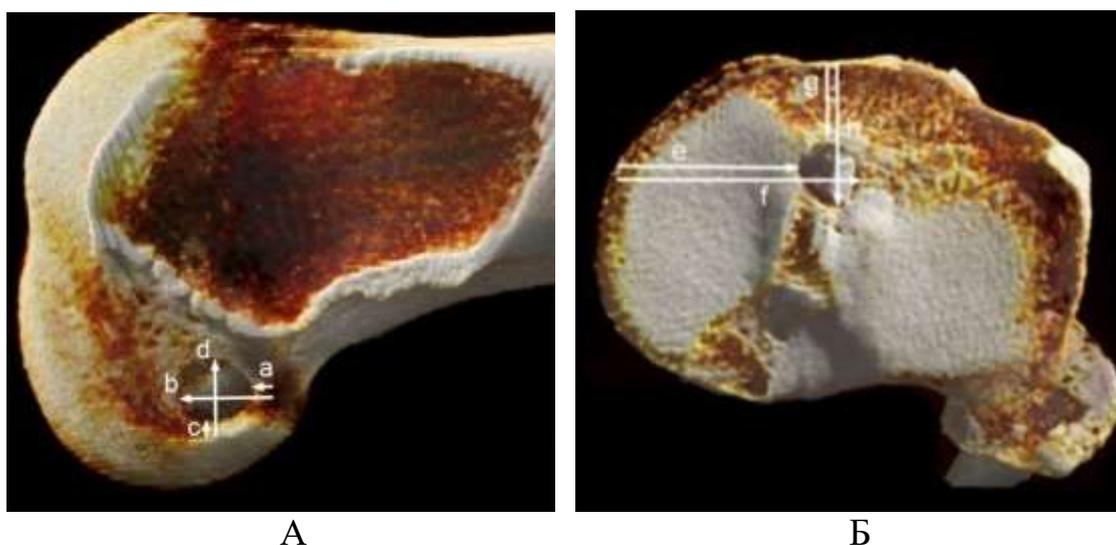


Рисунок 43 – Схема измерений для оценки размеров и позиции внутрисуставных апертур туннелей:

А – измерение размеров внутрисуставной апертуры бедренного туннеля, где а – расстояние от задневерхнего края хряща латерального мыщелка бедра до верхней стенки и b – до нижней стенки апертуры; c – от заднего края хряща до задней стенки, d – до передней стенки апертуры; Б – измерение размеров апертуры большеберцового туннеля, где e – расстояние от медиального края тиббиального плато до медиальной стенки, f – до латеральной стенки апертуры, g – от переднего края плато до передней стенки, h – до задней стенки апертуры

2.5.2.4. Определение изменений состояния и положения костных блоков трансплантата внутри туннелей

У пациентов проспективных 3А1 и 3Б1 подгрупп создавали мультипланарную реконструкцию полученных КТ-изображений на следующий день и через 6 месяцев после операции для получения изображений туннелей вдоль их продольной оси.

На выбранных одинаковых срезах у каждого пациента измеряли параметры, отражающие позицию костных блоков относительно апертур бедренного и большеберцового туннелей, и сравнивали данные, полученные у них на следующий день и через 6 месяцев после операции. Дистанцию от апертуры туннеля до костно-связочного соединения трансплантата на КТ-реконструкции продольной оси бедренного (А) и большеберцового (Б) туннелей измеряли в мм и проводили попарное сравнение полученных данных между пациентами исследуемых групп. Уровень апертур туннелей принимали за 0, выстояние в полость сустава обозначали отрицательным значением, символом x – дистанцию до костного блока в бедренном туннеле, y – дистанцию до дополнительного костного фрагмента и z – до костного блока в большеберцовом туннеле (Рисунок 44).

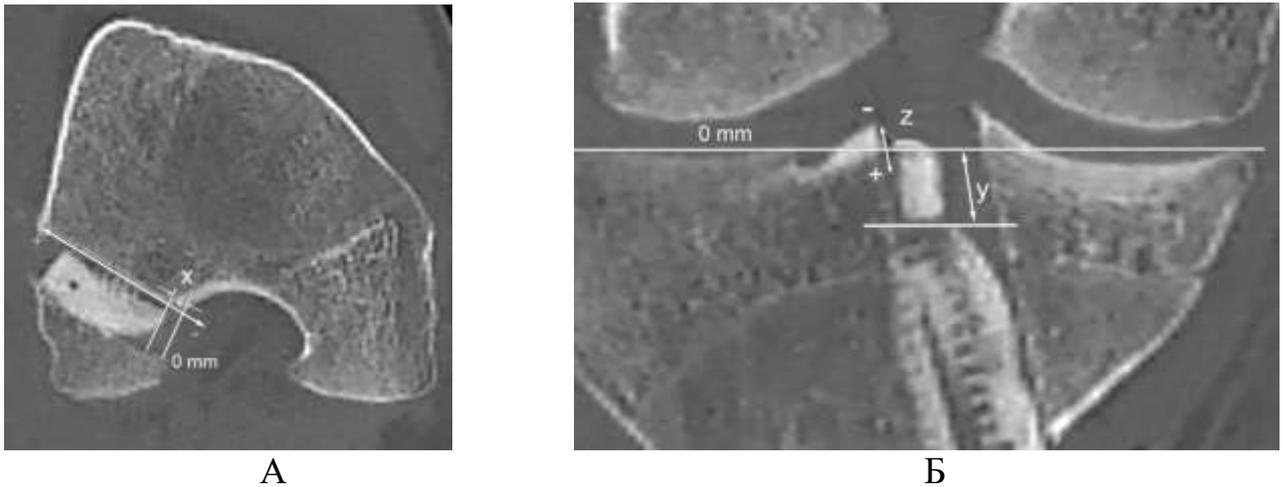


Рисунок 44 – Схема измерения дистанции от апертур туннелей до костно-связочного соединения трансплантата: А – КТ-реконструкция продольной оси бедренного туннеля, Б – большеберцового туннеля; уровень апертур туннелей приняли за 0, выстояние в полость сустава обозначили отрицательным значением, символом x – дистанцию до костного блока в бедренном туннеле, y – до дополнительного костного фрагмента и z – до костного блока в большеберцовом туннеле

2.5.3. Определение изменений связки надколенника после забора трансплантата с оставлением или закрытием донорских дефектов

Забор трансплантата и последующее закрытие донорских дефектов у пациентов различных групп существенно отличались. С целью определения условий для более полноценного заживления, поврежденной в результате операции, связки надколенника, проведено сравнительное ретроспективно-проспективное исследование. В ретроспективную группу вошли 30 пациентов из транстибиальной группы, которым в различные сроки после операции и по разным поводам (рецидивы, контроль, новые жалобы) выполняли МРТ, связочные и костные дефекты не устранили. В данной группе был 21 мужчина и 9 женщин, средний возраст составил 28 лет ($M=28,2$; $SD=7,0$). Срок наблюдения составил от 1 до 20 лет, медиана срока наблюдения – 4,7 лет ($Q_1=3,8$; $Q_3=6,4$). Вторую (проспективную) группу составили все 30 пациентов из подгрупп 3А1 и 3Б1, у

которых в ходе анатомической реконструкции ПКС выполняли полнослойный шов донорского дефекта связки надколенника и костную аутопластику костных дефектов. Среди них было 22 мужчины и 8 женщин, средний возраст составил 30 лет ($M=30,1$; $SD=6,9$), срок наблюдения – 12 месяцев ($M=11,9$; $SD=0,2$). Техника забора трансплантата из средней трети связки надколенника и последующего закрытия дефектов, а также – характер послеоперационной реабилитации у пациентов исследуемых групп подробно изложен в разделах 2.3.1, 2.3.2 и 2.4.

У всех пациентов по послеоперационным рентгенограммам вычисляли индекс положения надколенника Insall-Salvati после операции. В проспективной группе выполняли МРТ до операции и через 12 месяцев после, КТ – на следующий день и через 6 месяцев после операции. По МРТ измеряли размеры и качественно оценивали состояние связки, по КТ – состояние костных дефектов.

Для оценки возможного укорочения связки надколенника после различных вариантов забора трансплантата и закрытия связочных и костных дефектов вычисляли рентгенологический индекс положения надколенника Insall-Salvati [83]. Для этого при оценке послеоперационных рентгенограмм определяли отношение расстояния между точками прикрепления связки надколенника к максимальному вертикальному размеру надколенника (Рисунок 45).



Рисунок 45 – Определение рентгенологического индекса положения надколенника Insall-Salvati (A/B): А – расстояние между точками прикрепления связки надколенника; В – максимальный вертикальный размер надколенника

У пациентов ретроспективной группы по данным МРТ отмечали наличие или отсутствие дефектов в донорском месте. В проспективной группе изучали особенности изменений связки надколенника у каждого пациента и сравнивали ее состояние до операции и через 12 месяцев после забора трансплантата и закрытия дефектов. Для этого по МРТ до и через 12 месяцев после операции определяли размеры (длину, ширину и толщину) связки надколенника. Длину измеряли вдоль заднего контура связки между точками прикрепления по МРТ на срезе в сагиттальной плоскости, на котором длина связки надколенника была минимальной. Ширину связки измеряли на аксиальных срезах в верхней, средней и нижней трети: первый замер выполняли в 6–8 мм от края надколенника, второй – на уровне середины связки и третий – в 6–8 мм от большеберцового прикрепления. При измерении толщины на аксиальном срезе на уровне середины связки выбирали максимальный размер. При изучении КТ в динамике оценивали характер заживления замещенных губчатой аутокостью дефектов надколенника и бугристости. Величину изменений габаритов связки надколенника до и после операции отмечали у каждого пациента и сравнивали между собой. На основании полученных данных формировали заключение о возможности и условиях восстановления целостности, формы и размеров поврежденной в результате забора трансплантата связки надколенника.

2.6. Статистический анализ

Статистическую обработку полученных результатов проводили в программе SPSS 17.0 (Microsoft®, США). Первично для всех количественных данных проводилась проверка на нормальность распределения критериев Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка (для выборок менее 50 пациентов). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD). Сравнение нормально распределенных данных в исследуемых группах проводили

при помощи двухвыборочного t-критерия Стьюдента. При сравнении количественных переменных в динамике использовали парный t-критерий Стьюдента. В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1; Q3). Данные сравнивали при помощи U-критерия Манна-Уитни. Оценка изучаемых показателей в динамике после проведенного лечения выполнялась с помощью критерия Уилкоксона. Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение категориальных данных при анализе таблиц сопряженности выполняли с помощью непараметрических методов χ^2 , χ^2 с поправкой Йетса (для сравнения небольших выборок с ожидаемой частотой меньше 5). Отличия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

ГЛАВА 3. ОТДАЛЕННЫЕ (10–13-ЛЕТНИЕ) РЕЗУЛЬТАТЫ ТРАНСТИБИАЛЬНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС

3.1. Характеристика пациентов 1-й ретроспективной группы

Первый этап ретроспективной части исследования основан на сведениях о 60 пациентах, которым по поводу разрывов ПКС была выполнена транстибиальная реконструкция поврежденной связки с использованием костно-связочно-костного аутотрансплантата из средней трети связки надколенника в условиях одного отделения за период с февраля 2012 по сентябрь 2015 года. Техника реконструкции изложена в разделе 2.3.1. Демографические данные пациентов представлены в таблице 2.

Заочное и частично очное субъективное и объективное обследование пациентов было проведено в сроки от 10 до 13 лет после операции, средний срок наблюдения составил $M=11,4$ лет ($SD=1,1$). В структуре травм преобладали травмы, полученные при занятиях спортом (90%). Обстоятельства получения травм представлены на рисунке 46.



Рисунок 46 – Распределение пациентов 1-й группы по обстоятельствам получения травм

Распределение пациентов по видам спорта, при котором была получена травма, представлено на рисунке 47, по срокам от травмы до операции – на рисунке 48. Структура сопутствующих повреждений менисков представлена на рисунке 49, сопутствующих патологических изменений хряща – в таблице 5.

Вид спортивной активности, при которой получена травма

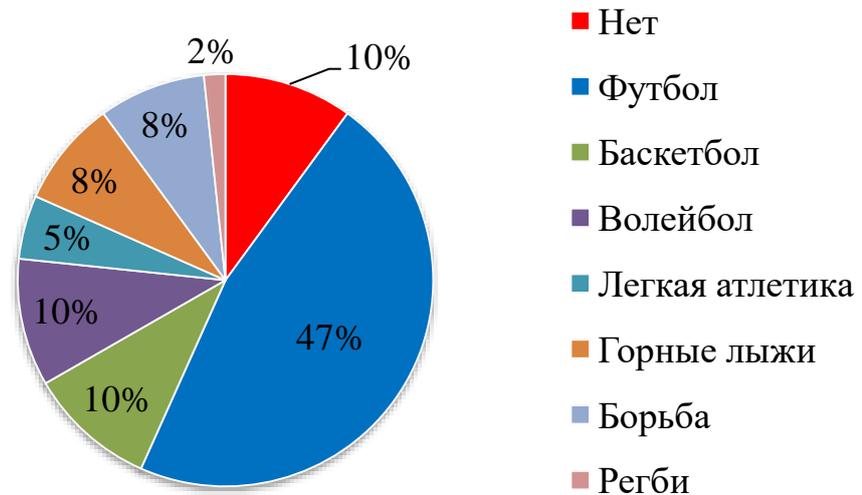


Рисунок 47 – Распределение пациентов 1-й группы по виду спортивной активности, при которой была получена травма

Срок от травмы до операции, нед.

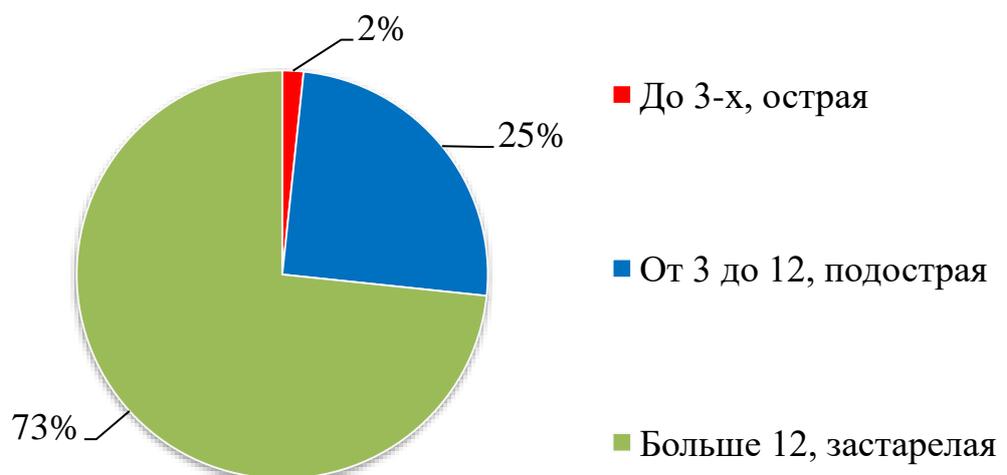


Рисунок 48 – Распределение пациентов 1-й группы по сроку от травмы до операции

Структура сопутствующих повреждений менисков

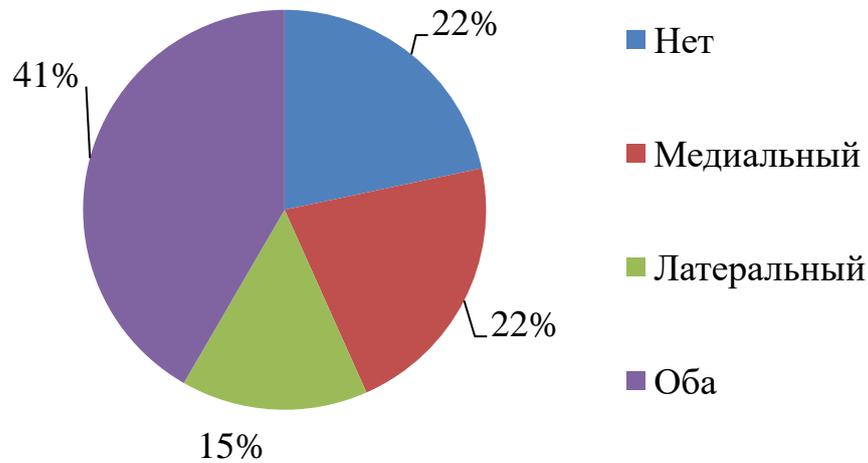


Рисунок 49 – Структура сопутствующих повреждений менисков у пациентов 1-й группы

Таблица 5 – Структура сопутствующих изменений хряща у пациентов 1-й группы (n=60)

Отдел сустава	Степень изменений хряща, хондромалиции				
	ХМ – 0	ХМ – 1	ХМ – 2	ХМ – 3	ХМ – 4
Бедренно-надколенниковый	55	0	2	3	0
Медиальный	48	1	5	6	0
Латеральный	55	1	1	3	0

ХМ – хондромалиция.

Всем пациентам по поводу разрывов менисков выполняли артроскопическую резекцию, по поводу повреждений хряща – сглаживание пораженных участков при помощи электрорезектора. Коррекция сопутствующих повреждений существенно не сказывалась на длительности операции, а также на характере послеоперационной реабилитации.

3.2. Оценка позиции туннелей после транстибиальной реконструкции ПКС

У пациентов 1-й ретроспективной группы исследования (n=60) проведен анализ рентгенограмм оперированного коленного сустава, выполненных на следующий день после транстибиальной реконструкции ПКС. Характеристика пациентов указана в таблице 2.

При изучении рентгенограмм обращали внимание, прежде всего, на позицию большеберцового туннеля, поскольку от его положения и ориентации при данной технике операции зависело положение туннеля на бедре. Варианты расположения туннелей представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Позиция туннелей у пациентов 1-й группы при транстибиальной технике реконструкции ПКС (n=60)

Позиция туннелей	Бедренного			
	Неанатомическая	Частично анатомическая	Анатомическая	Итого:
Большеберцового				
Передняя	8 (13,3%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (13,3%)
Центральная	14 (23,3%)	4 (6,7%)	3 (5%)	21 (35%)
Задняя	6 (10%)	16 (26,7%)	9 (15%)	31 (51,7%)
Итого:	28 (46,7%)	20 (33,3%)	12 (20%)	60 (100%)

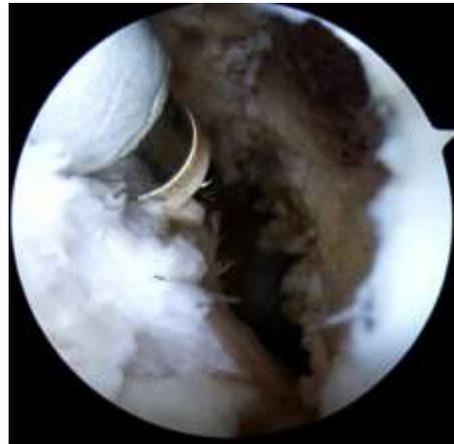
При анализе данных таблицы 6 обращает на себя внимание, во-первых, неоднородность позиции большеберцового туннеля, что могло свидетельствовать о недостаточной эффективности использования в качестве ориентира для проведения направляющей спицы заднего края переднего рога латерального мениска. Во-вторых, при переднеанатомической позиции большеберцового туннеля у всех пациентов наблюдали неанатомическое положение бедренного туннеля, что указывало на ограниченные возможности данной методики в реализации современных принципов анатомической концепции. В-третьих, при рассверливании большеберцового туннеля относительно большого диаметра (10–12 мм) в центральной или задней трети места прикрепления ПКС удавалось

сформировать бедренный туннель в анатомической (в 20%) или частично анатомической (в 33,3% случаев) позициях.

Анализ видеопротоколов операций показал, что типичным было формирование большеберцового туннеля в заднелатеральной части места прикрепления ПКС. При таких условиях бедренный туннель находился в переходе стенки в крышу межмышцелковой вырезки примерно в области прохождения ЛМГ. В результате трансплантат принимал вертикальную позицию, а его передняя часть была кзади от места прикрепления переднемедиальных волокон ПКС (Рисунок 50).



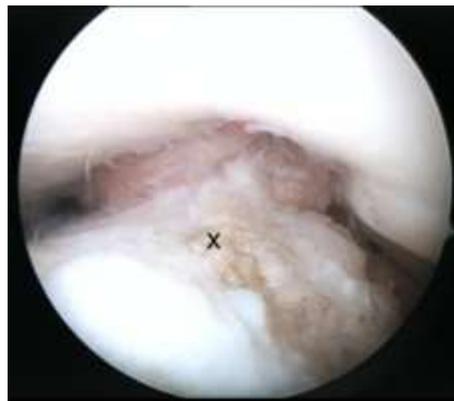
А



Б



В



Г

Рисунок 50 – Позиция туннелей и вид транстибиально установленного трансплантата: А – позиция тибальной ориентирующей спицы; Б – апертюра бедренного туннеля – в области перехода стенки в крышу межмышцелковой вырезки и задней части ЛМГ; В, Г – смещенная кзади и вертикальная позиция трансплантата, оптимальная позиция выхода спицы обозначена крестиком

МРТ-изображение вертикальной ориентации трансплантата представлено на рисунке 51.

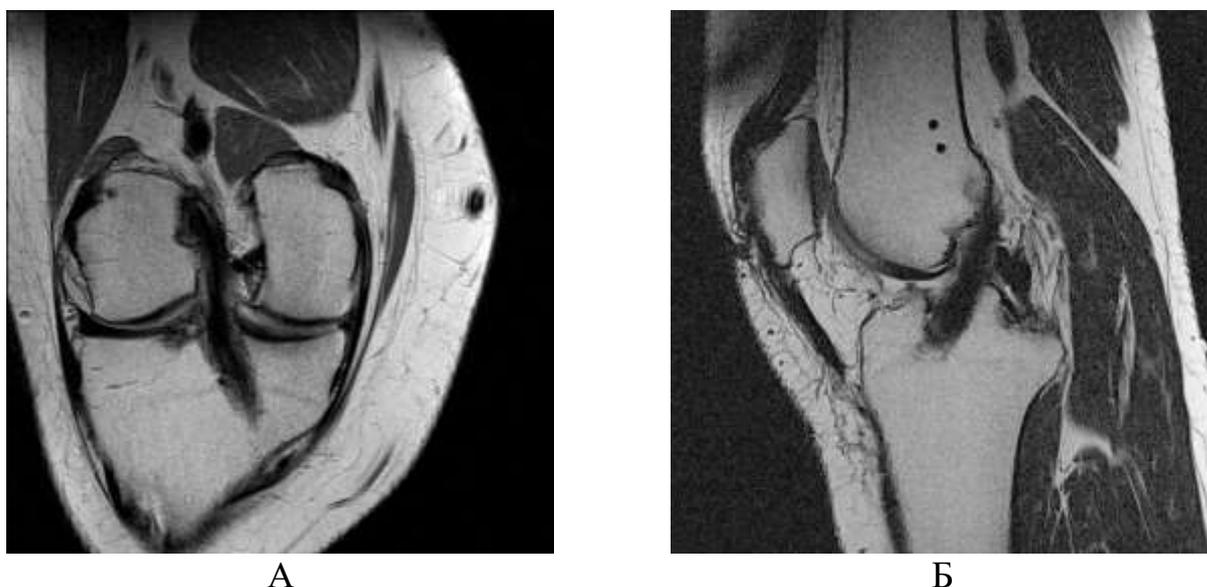


Рисунок 51 – МРТ-изображение вертикально ориентированного трансплантата, установленного при транстибиальной реконструкции ПКС у пациента 1-й группы:
А – фронтального среза, Б – сагиттального среза

Костно-связочно-костный трансплантат из средней трети связки надколенника имеет на концах костные блоки, которые можно было проследить на рентгенограммах в проекции туннелей. По рентгенограммам в переднезадней проекции измеряли расстояние между костно-связочным соединением и краем апертуры большеберцового туннеля.

Апертуру бедренного туннеля на рентгенограммах в боковой проекции удалось целиком идентифицировать лишь у 5 пациентов (Рисунок 52). У остальных пациентов границы косо расположенного бедренного туннеля (в переходе крыши в стенку межмышцелковой вырезки) на рентгенограммах в большинстве случаев были не видны, поэтому измерения глубины залегания проксимального костного блока не проводили. Известно, что при использовании технологии трансфиксации RIGIDFIX проксимальный костный блок практически полностью заполняет слепой туннель на бедре, расстояние от костно-связочного соединения до апертуры будет составлять не более 4–5 мм. Такое относительно

небольшое залегание костно-связочного соединения трансплантата в бедренном туннеле, который при транстиальной технике имел направление ближе к продольной оси бедра, не должно вызывать значимого давления и трения мягкотканной части трансплантата в зоне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля большого диаметра.



Рисунок 52 – Послеоперационная рентгенограмма в боковой проекции пациента 1-й группы: прослеживается неанатомическая позиция бедренного туннеля

У всех пациентов исследуемой группы наблюдали незаполненную костным блоком проксимальную часть большеберцового туннеля, длина которой, измеренной на рентгенограммах в прямой проекции, составляла в среднем 13,0 мм (SD=4,5).

В случаях, если после фиксации дистального костного блока обнаруживали, что его наружный конец выстоит над поверхностью мыщелка, то его скусывали с помощью кусачек. Полученный костный фрагмент вводили через переднемедиальный портал в полость сустава и внедряли в туннель между латеральной стенкой большеберцового туннеля и трансплантатом. В просвете

туннеля чаще всего оставалось около 20 мм костного блока, что было достаточно для применения интерферентного винта размером 9x20 мм. Практическое использование данного технического приема, к сожалению, показало ряд недостатков: получение разных, часто неподходящих по размеру и форме кусочков, раскалывание и фрагментация при скусывании, возможная миграция костного фрагмента при не плотном контакте. У 51,5% пациентов величина фрагмента представлялась недостаточной для создания плотного контакта мягкотканной части трансплантата со стенкой туннеля на уровне апертуры (Рисунок 53).

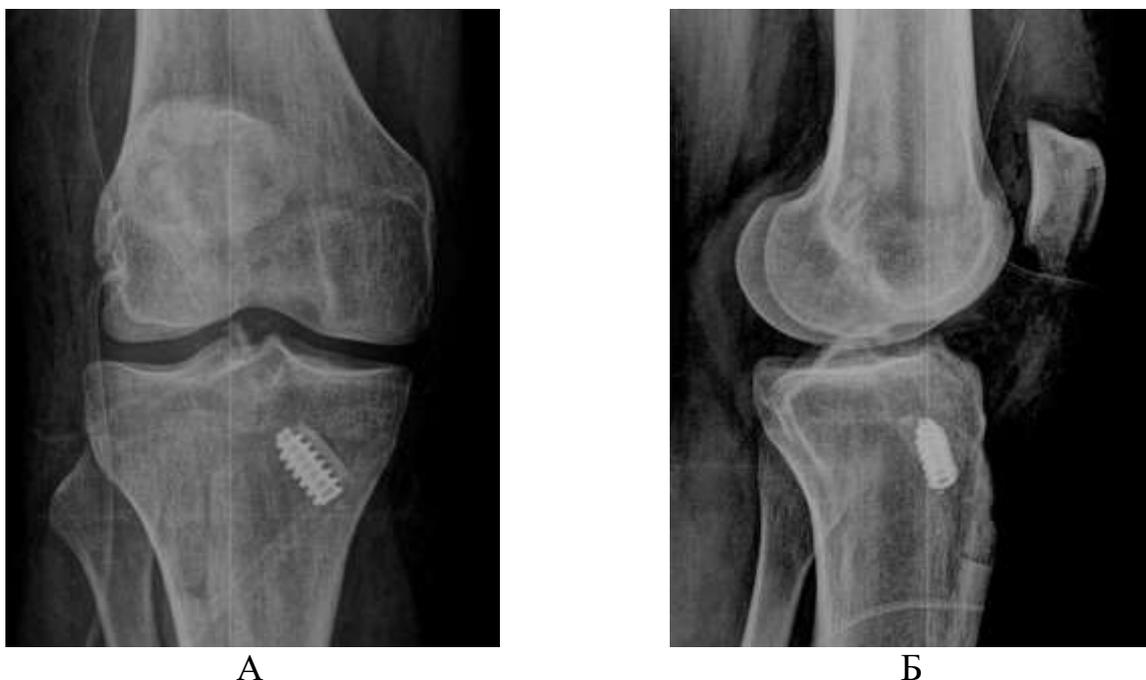


Рисунок 53 – Послеоперационные рентгенограммы пациента 1-й группы; в просвете большеберцового туннеля виден костный блок длиной 2 см, на уровне апертуры относительно небольшой (7x2,5 мм) частично мигрировавший костный фрагмент: А – прямая проекция, Б – боковая проекция

Известно, что функциональные результаты таких операций с использованием трансплантата из связки надколенника нередко (в 75%–90% случаев) были вполне благоприятными и позволяли многим больным вернуться к полноценной жизни и даже к спортивной деятельности. Одним из примеров является клиническое наблюдение пациента К., которому ранее была выполнена

первичная транстибиальная реконструкция ПКС и в связи с повторным разрывом проведена ревизионная артроскопия и реконструкция связки. В ходе обследования пациента мы получили представление о его прежнем функциональном состоянии и характере травмы, во время операции – о состоянии трансплантата и топографии туннелей (Клинический случай 1).

Клинический случай 1

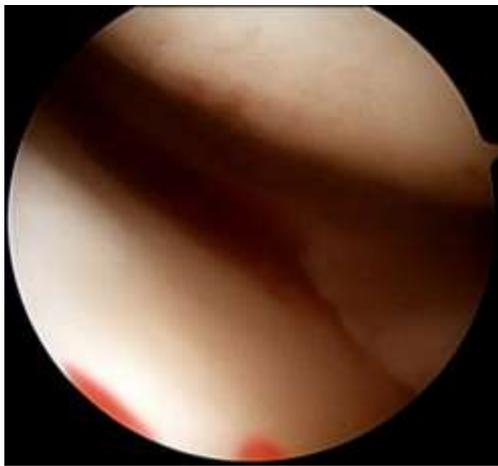
Пациент К. в возрасте 22 лет получил разрыв ПКС и продольный разрыв заднего рога латерального мениска во время соревнований по вольной борьбе в сентябре 2005 года. В отделении 27.02.2006 года ему была выполнена артроскопическая резекция мениска и транстибиальная реконструкция ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника. Из анамнеза известно, что пациент был вполне удовлетворен функциональным состоянием своего оперированного коленного сустава и продолжал занятия борьбой. В мае 2022 года на тренировке в момент выполнения броска пациент подвернул ногу и получил повреждение трансплантата. После травмы он вновь обратился за помощью в клинику. Ревизионная реконструкция ПКС была выполнена 09.11.2022 года с использованием повторно взятого трансплантата из связки надколенника по анатомической методике, описанной в разделе 3.2.3. Во время операции можно было визуализировать состояние внутренних структур коленного сустава, положение и состояние прежнего трансплантата, позицию нового трансплантата (Рисунок 54, 55, 56). Послеоперационные рентгенограммы показаны на рисунке 57. Обращает на себя внимание отсутствие заметных дегенеративных изменений во всех отделах сустава через 16 лет пластики ПКС, а также внешний вид трансплантата, который был покрыт кровоснабжаемой синовиальной оболочкой и без прицельной пальпации диагностическим крючком выглядел неповрежденным. На плато большеберцовой кости он прикреплялся в центральной трети зоны прикрепления ПКС. Выполненная ревизионная анатомическая реконструкция ПКС повторно взятым трансплантатом из связки надколенника позволила в один этап установить новую связку в правильной позиции и получить вполне благоприятный результат, прослеженный в течение 2,5 лет.



А



Б



В

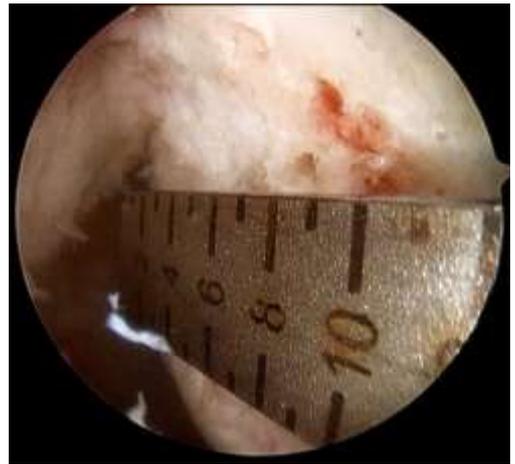


Г

Рисунок 54 – Артроскопический вид коленного сустава у пациента К. из 1-й группы: А – бедренно-надколенниковый отдел, неизменный хрящ; Б – медиальный отдел; В – латеральный отдел; Г – дистальная часть старого трансплантата, покрытого синовией



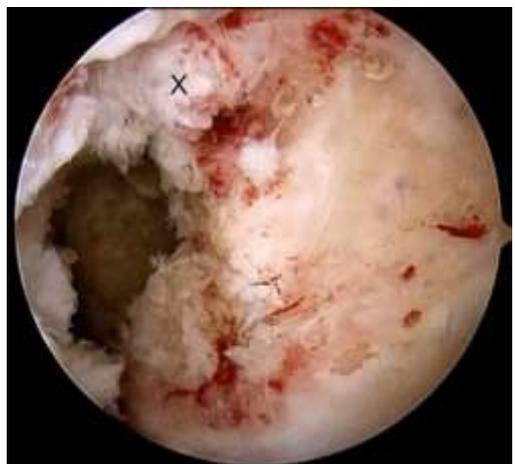
А



Б



В



Г

Рисунок 55 – Этапы формирования бедренного туннеля у пациента К. из 1-й группы: А – артроскопический вид частично поврежденного (у бедра) трансплантата; Б – разметка центра нового бедренного туннеля; В – сформированный новый туннель; Г – межмышечковая стенка латерального мышелка бедра: в глубине новый туннель, крестом обозначено место прикрепления старого трансплантата



А



Б



В



Г

Рисунок 56 – Этапы ревизионной операции у пациента К. из 1-й группы:
А – тибральная ориентирующая спица в зоне передних волокон остатков трансплантата; Б, В – вклинение костного фрагмента между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом; Г – общий вид нового трансплантата



Рисунок 57 – Послеоперационные рентгенограммы у пациента К. из 1-й группы; старые туннели обозначены цифрой 1, новые – обозначены цифрой 2: А – прямая проекция, Б – боковая проекция

3.3. Клинические результаты

Все пациенты 1-й группы (n=60) в сроки 10–13 лет после операции прошли заочное анкетирование в соответствии со шкалами-опросниками Lysholm и IKDC. Среди данной группы у 4 (6,7%) пациентов наблюдали рецидивы нестабильности, вызванные повторной травмой и разрывом трансплантата в различные сроки после операции. В соответствии с протоколом исследования эти пациенты были исключены из итоговой оценки.

3.3.1. Субъективная оценка

По данным анкетирования оставшихся 56 пациентов итоговая оценка по шкале-опроснику Lysholm составила в среднем 85,4 балла ($SD=10,3$). Снижение баллов определялось, в основном, за счет жалоб на умеренные трудности при приседаниях на корточки, редкие проявления неустойчивости при физических нагрузках или умеренную боль при беге и длительной ходьбе.

Субъективная оценка по шкале-опроснику IKDC в среднем составила 84,2 ($SD=12,3$). Наиболее распространенными симптомами были умеренные ограничения при прыжках и приземлении на оперированную ногу, приседаниях, отечность после повышенных физических нагрузок, ощущение некоторой неустойчивости в коленном суставе при подвижных играх или беге по пересеченной местности. Значительное количество пациентов (53%) вынуждено было снижать уровень физической активности за период наблюдения из-за состояния коленного сустава.

Пациенты, не имевшие рецидивов, в повторных операциях за период наблюдения не нуждались за исключением одного пациента, у которого в связи с выраженным ограничением разгибания через 8 месяцев после операции по данным контрольного МРТ-исследования было выявлено разрастание фиброзной ткани вокруг трансплантата – артрофиброз. Проведенный артроскопический артролиз позволил устранить ограничение разгибания и сохранить трансплантат, МРТ-изображение данного состояния представлено на рисунке 58.



Рисунок 58 – Послеоперационное МРТ-изображение в сагиттальной плоскости у пациента 1-й группы с артрофиброзом и выраженной сгибательной контрактурой: виден неповрежденный вертикально ориентированный трансплантат, прилежащий к задней стенке большеберцового туннеля; большеберцовый туннель расширен преимущественно кпереди; избыточная рубцовая ткань интимно спаяна с трансплантатом

3.3.2. Результаты очного объективного обследования

Из пациентов 1-й группы случайным образом были выбраны 15 пациентов для очного объективного исследования в соответствии с функциональной шкалой IKDC и контрольного рентгенологического исследования. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты объективного обследования функционального состояния оперированного коленного сустава у пациентов 1-й группы с использованием шкалы IKDC (n=15)

Средний срок наблюдения, лет	M=11,2 (SD=1,3)
Выпот в суставе	
Нет	11 (73,3%)
Незначительный	3 (20,0%)
Умеренный	1 (6,7%)
Дефицит разгибания	
Нет, <3°	9 (60%)
Незначительный, 3-5°	5 (33,3%)
Умеренный, 6-10°	1 (6,7%)
Выраженный, >10°	0 (0%)
Дефицит сгибания	
Нет, 0-5°	5 (33,3%)
Незначительный, 6-15°	8 (53,4%)
Умеренный, 16-25°	2 (13,3%)
Выраженный, >25°	0 (0%)
Тест Лахмана	
0	7 (46,7%)
1	5 (33,3%)
2	3 (20%)
Тест ПВЯ	
0	2 (13,3%)
1	6 (40%)
2	7 (46,7%)
«Pivot-shift» тест	
0	3 (20%)
1	7 (46,7%)
2	5 (33,3%)
Болезненность донорской зоны	
Нет	10 (66,7%)
Легкая	4 (26,6%)
Умеренная	1 (6,7%)
Болезненность при стоянии на коленях	
Нет	6 (40%)
Легкая	5 (33,3%)
Умеренная	4 (26,7%)

По данным обследования у 73,3% пациентов не было признаков рецидивирующего синовита. У трети пациентов наблюдались, в основном, незначительные (от 3° до 5°), но стойкие ограничения амплитуды разгибания. Сгибание было ограничено у 66,7% пациентов, в том числе у 8 (53,4%) пациентов – незначительно (от 6° до 15°) и у 2 (13,3%) – умеренно (от 16° до 25°).

Второй характерной особенностью состояния пациентов через 10–13 лет после трансстибиальной реконструкции ПКС было сохранение симптомов остаточной нестабильности. Так, избыточная переднезадняя разболтанность сустава в положении 25° сгибания, которая определялась тестом Лахмана, наблюдалась у 8 (53,4%) пациентов, а в положении 90° сгибания (тест ПВЯ) – у 13 (86,7%) пациентов. Более выраженный тест ПВЯ вероятно был связан с тем, что вектор приложения мануального усилия располагался под углом к продольной оси трансплантата, т.е. происходило раскачивание. При исследовании ротационной нестабильности, только у 3 из 15 пациентов «pivot-shift» тест был отрицательным, у 7 (46,7%) пациентов он был «скользящим» и у 5 (33,3%) – «явным».

Жалобы на болезненность в местах забора трансплантата (в донорской зоне) предъявляли 5 (33,3%) пациентов, из них только у 1 (6,7%) – она была умеренной. Болезненность при стоянии на коленях отмечали 9 пациентов (60%). Заметные стойкие проблемы со стороны донорского места, возможно, были связаны с принятой тогда техникой забора трансплантата, при которой связочные и костные дефекты полноценно не закрывались.

При рентгенологическом обследовании признаки артроза 1 степени наблюдали у 4 пациентов (26,3%), 2 степени – у 1 (6,7%). Клинические проявления бедренно-надколенникового артроза, выразившиеся в хрусте и крепитации в переднем отделе коленного сустава при движениях, наблюдали у 6 (40%) пациентов.

Итоговая оценка по объективной шкале IKDC представлена на рисунке 59.

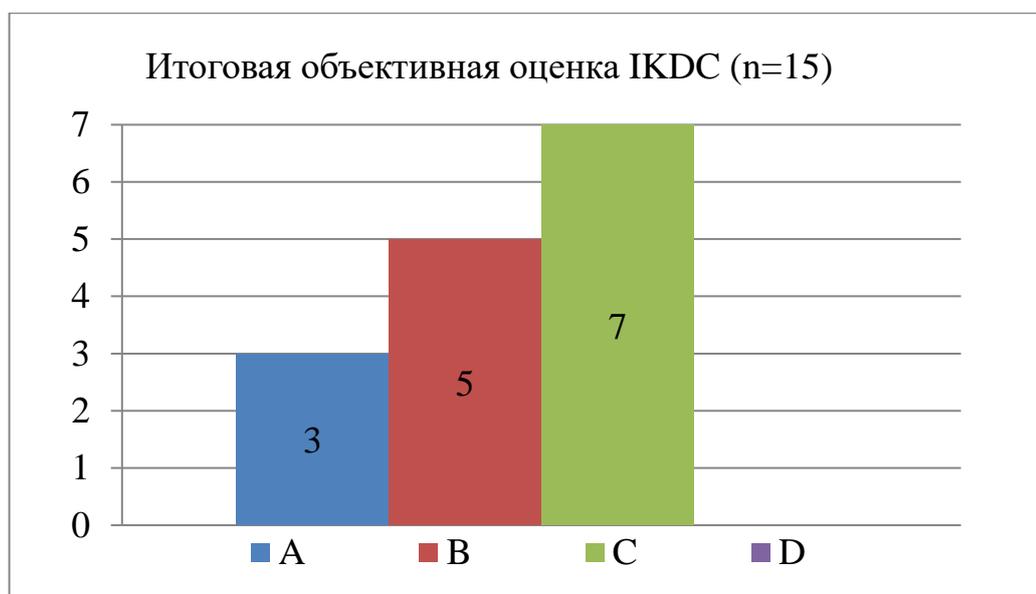


Рисунок 59 – Распределение пациентов 1-й группы по итогам объективной оценки по шкале IKDC

Таким образом, объективное состояние, соответствующее нормальному уровню, наблюдалось только у 3 из 15 (20%) пациентов. Столь невысокая степень восстановления побуждает хирургов к поискам более совершенных способов операции.

3.4. Резюме

Проведенный анализ отдаленных результатов у 60 пациентов, которым была выполнена транстибиальная реконструкция ПКС с использованием трансплантата из средней трети связки надколенника, показал следующее.

У 4 (6,7%) пациентов в послеоперационном периоде наблюдали рецидив нестабильности вследствие разрыва трансплантата, у 1 (1,7%) пациента – артрофиброз, для устранения которого был выполнен артроскопический артролиз.

Изучение послеоперационных рентгенограмм и данных артроскопических видеопротоколов операций позволило выявить особенности позиции туннелей, сформированных с помощью транстибиальной техники. Установлено, что трансплантат, размещенный таким способом, обычно соединял заднюю треть

большеберцового прикрепления ПКС с проксимальным, наиболее изометричным, участком анатомической или частично анатомической зоны на бедре. В результате новая связка приобретала вертикальную, отличную от оси ПКС позицию, что могло быть одной из причин остаточной нестабильности и ограничения амплитуды движения у значительного числа пациентов. При размещении большеберцового туннеля в проекции переднемедиального, наиболее изометричного, пучка ПКС позиция бедренного туннеля во всех случаях была неанатомической и находилась впереди от ЛМГ.

В связи с тем, что длина связки надколенника обычно превышала длину ПКС, у всех пациентов исследуемой группы наблюдали незаполненную костным блоком проксимальную часть большеберцового туннеля, длина которой, измеренной на рентгенограммах в прямой проекции, составляла в среднем 13,0 мм ($SD=4,5$). Выявленное несоответствие между относительно узкой связочной частью трансплантата и внутрисуставной незаполненной костным блоком частью цилиндрического большеберцового туннеля могло служить еще одним фактором сохранения остаточной нестабильности после данного способа реконструкции. Попытки замещения дефекта фрагментами кости, полученными при скусывании выстоящего участка дистального костного блока трансплантата, показали свою несостоятельность более, чем у половины пациентов.

Субъективная оценка функционального состояния коленного сустава у 56 пациентов с сохраненным трансплантатом составила по шкале IKDC в среднем 84,2 ($SD=12,3$) балла, по шкале Lysholm – в среднем 85,4 баллов ($SD=10,3$) из 100 возможных. Среди 15 пациентов, обследованных объективно, у 3 (20%) пациентов итоговая оценка соответствовала категории А, у 5 (33,3%) – категории В. У трети пациентов наблюдали незначительный дефицит разгибания. Сгибание было ограничено у 66,7% пациентов, в том числе у 8 (53,4%) пациентов незначительно и у 2 (13,3%) умеренно. Скользящий «pivot-shift» тест выявляли у 46,7%, явный – у 33,3% пациентов. Выявленные недостатки трастибиальной техники реконструкции ПКС и недостаточно высокие функциональные результаты послужили основанием для перехода к анатомической технике операции,

предусматривающей анатомически обоснованную разметку и независимое формирование туннелей для трансплантата ПКС.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ 3–5-ЛЕТНИХ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНИКИ АНАТОМИЧЕСКОЙ ДВУХДОСТУПНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС

4.1. Общая характеристика пациентов

Вторым этапом был проведен ретроспективный анализ анатомо-функциональных результатов у 60 пациентов после двухдоступной анатомической реконструкции ПКС. Все операции были проведены в условиях одного отделения за период с марта 2020 по январь 2022 года. Демографические данные пациентов представлены в таблице 2. Заочное и частично очное субъективное и объективное обследование пациентов было проведено в сроки от 3 до 5 лет после операции, средний срок наблюдения составил 4,1 года ($SD=0,4$).

Существенными особенностями выбранного способа операции являлись следующие: 1) хорошая визуализация внутренних структур сустава, безопасное и воспроизводимое выполнение этапов операции; 2) независимый, индивидуальный, основанный на анатомических ориентирах, выбор центров туннелей и их рассверливание снаружи внутрь к местам прикрепления ПКС; 3) размещение и разворот трансплантата в соответствии с ориентацией природной ПКС; 4) ушивание связочных и пластика костных донорских дефектов фрагментами губчатой костной ткани.

Основной практической задачей при установке трансплантата было стремление полностью заполнить большеберцовый туннель дистальным костным блоком, что позволяло выполнить адекватную интерферентную фиксацию и уменьшить неблагоприятное влияние несоответствия между диаметром большеберцового туннеля и размером трансплантата. Техника реконструкции изложена в разделе 2.3.2.

В данной выборке пациентов преобладали травмы, полученные при занятиях спортом (82%). Обстоятельства получения травм представлены на рисунке 60.

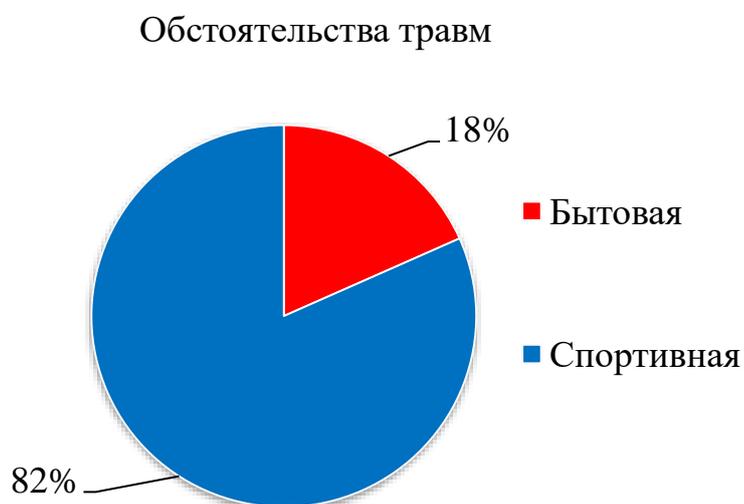


Рисунок 60 – Распределение пациентов 2-й группы по обстоятельствам получения травм

Наиболее часто (в 47% случаев) повреждение ПКС происходило при игре в футбол (Рисунок 61). У 80% пациентов операции были выполнены в срок более чем 12 недель после травмы, у 20% – в сроки от 3 до 12 недель (Рисунок 62). Структура сопутствующих повреждений внутренних структур коленного сустава представлена на рисунке 63 и в таблице 8.

Вид спортивной активности, при котором
получена травма

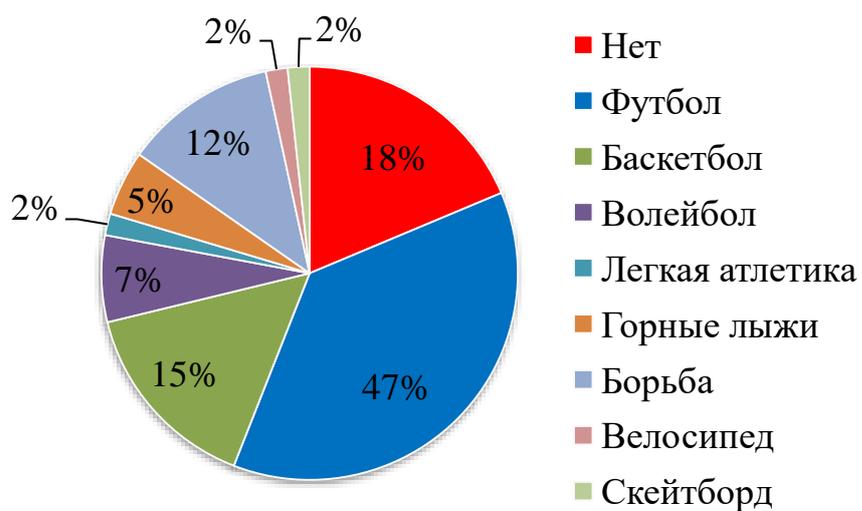


Рисунок 61 – Распределение пациентов 2-й группы по виду спортивной активности, при котором была получена травма

Срок от травмы до операции, нед.

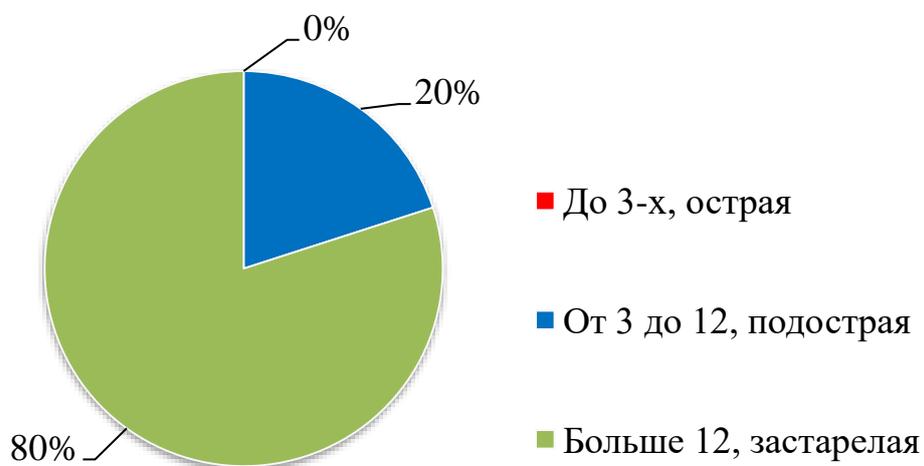


Рисунок 62 – Распределение пациентов 2-й группы по сроку от травмы до операции

Структура сопутствующих повреждений менисков

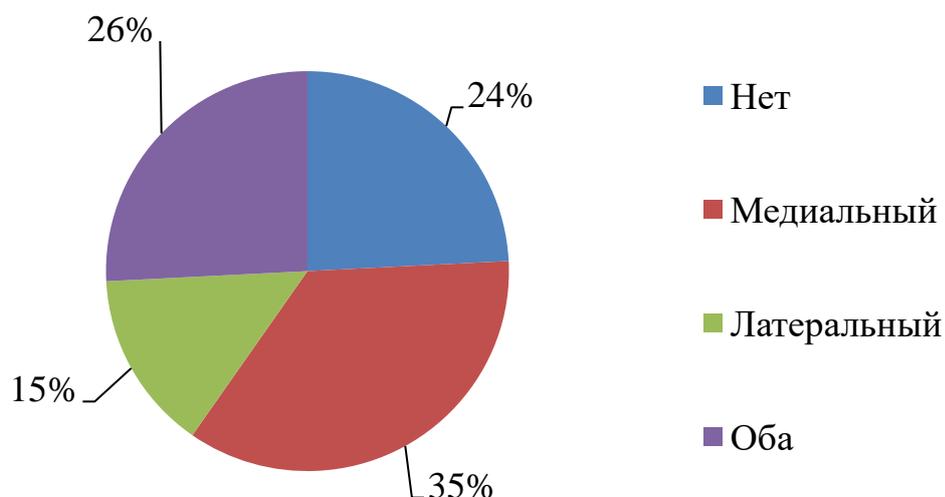


Рисунок 63 – Структура сопутствующих повреждений менисков у пациентов 2-й группы

Таблица 8 – Структура сопутствующих изменений хряща у пациентов 2-й группы (n=60)

Отдел сустава	Степень изменений хряща, хондромалиции				
	ХМ – 0	ХМ – 1	ХМ – 2	ХМ – 3	ХМ – 4
Бедренно-надколенниковый	54	2	3	1	0
Медиальный	47	3	9	1	0
Латеральный	53	2	4	1	0

ХМ – хондромалиция.

Коррекция сопутствующих повреждений (резекция мениска и сглаживание поврежденных участков хряща) существенно не сказывалась на длительности операции и характере реабилитации. Значимых различий между 1-й и 2-й ретроспективными группами по структуре сопутствующих повреждений и представленным данным анамнеза, кроме срока наблюдения, выявлено не было.

4.2. Оценка позиции туннелей после двухдоступной анатомической реконструкции ПКС

У пациентов 2-й ретроспективной группы исследования (n=60) проведен анализ видеопротоколов операции и рентгенограмм оперированного коленного сустава, выполненных на следующий день после операции. Изучение видеопротоколов показало, что практически у всех пациентов удавалось разметить и сформировать туннели в соответствии с представлениями о строении ПКС и установить трансплантат таким образом, чтобы он не конфликтовал со стенками межмышцелковой вырезки бедра без дополнительной notch-пластики (Рисунок 64).

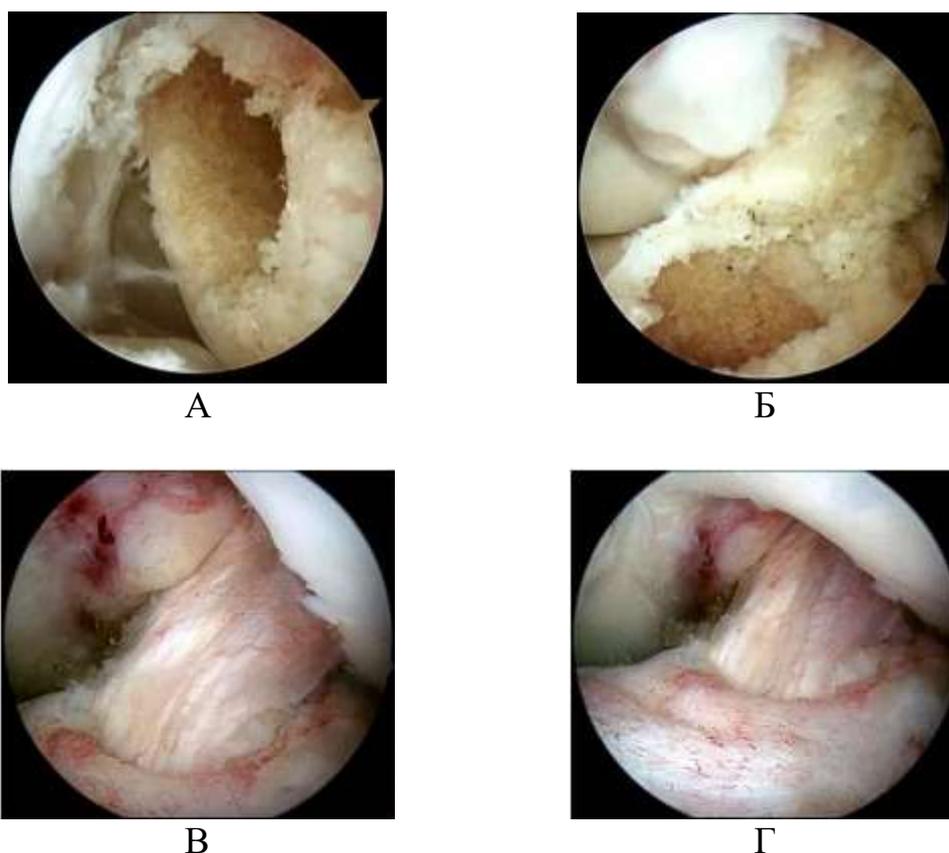


Рисунок 64 – Артроскопические изображения внутрисуставных апертур и трансплантата у пациента 2-й группы: А – артроскопический вид апертуры бедренного туннеля; Б – вид большеберцового туннеля; В – вид трансплантата в положении сгибания; Г – в полном разгибании

Анализ послеоперационных рентгенограмм показал, что двухдоступная техника реконструкции ПКС с независимым сверлением туннелей позволяла разместить туннели в местах прикрепления ПКС. Во всех случаях можно было проследить апертуру бедренного туннеля, то есть вход в туннель располагался в пределах внутренней боковой стенки латерального мышцелка бедра. Варианты расположения туннелей представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Позиция туннелей у пациентов 2-й группы при транстибиальной технике реконструкции ПКС (n=60)

Позиция туннелей	Бедренного			
	Неанатомическая	Частично анатомическая	Анатомическая	Итого:
Большеберцового				
Передняя	0 (0%)	3 (5%)	54 (90%)	57 (95%)
Центральная	0 (0%)	1 (1,7%)	2 (3,3%)	3 (5%)
Задняя	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Итого:	0 (0%)	4 (6,7%)	56 (93,3%)	60 (100%)

Позицию апертуры бедренного туннеля расценивали как анатомическую у 93,3% пациентов. У 4 пациентов (6,7%) линия ЛМГ пересекала апертуру бедренного туннеля, такую позицию считали частично анатомической. Тем не менее, контур костного блока трансплантата у 2-х пациентов проецировался на линии ЛМГ, что соответствовало зоне прямого прикрепления ПКС (Рисунок 65).



Рисунок 65 – Послеоперационная рентгенограмма в боковой проекции у пациента 2-й группы: линия ЛМГ (задний контур бедренной кости) пересекает апертуру бедренного туннеля, в туннеле прослеживается контур костного блока (костно-связочного соединения трансплантата) точно в проекции ЛМГ

Большеберцовый туннель располагался в проекции зоны прикрепления ПКС во всех случаях, в том числе в центральной – у 5% и в передней (наиболее биомеханически обоснованной) позиции – у 95% пациентов.

В целом, 90% пациентов имели наиболее биомеханически обоснованную позицию туннелей, т.е. переднюю – на большеберцовой кости и проксимально анатомическую – на бедре.

В данной группе сверление туннелей производили независимо друг от друга. Для обеспечения возможности внутритуннельного размещения дистального костного блока стремились сформировать более длинный большеберцовый туннель. Для этого во фронтальной плоскости направлятель устанавливали под углом 20° , а не 35° – 40° как у пациентов 1-й (транстибиальной) группы. В сагиттальной плоскости туннель формировали под углом 60° – 65° . При такой технике удавалось в большинстве случаев поместить дистальный костный блок длиной 30–35 мм внутри туннеля. В результате большеберцовый туннель

оказывался полностью заполненным костным блоком, его можно было надежно фиксировать более длинным интерферентным винтом (25–30 мм). В последующем такой туннель заживал без остаточных полостей, что представлялось значительным преимуществом, особенно при возможных ревизионных операциях.

В то же время, в связи с тем, что связочная часть трансплантата, как правило, была длинее, чем межтуннельная дистанция, приходилось продвигать проксимальный костный блок в глубину бедренного туннеля. Известно, что такой прием используется многими хирургами при анатомической технологии реконструкции ПКС. При анализе рентгенограмм у пациентов данной группы расстояние от апертуры бедренного туннеля до костно-связочного соединения трансплантата в среднем составляло 5,2 мм ($SD=3,9$). В таких случаях, нельзя исключить контакт и трение связочной части трансплантата с передненижним краем апертуры туннеля, поскольку бедренный туннель при данной технике находится под бóльшим углом к оси внутрисуставной части трансплантата, чем при транстибиальном рассверливании.

У четверти пациентов связочная часть трансплантата была настолько длинной, что незаполненные внутрисуставные части (≥ 5 мм) туннелей можно было наблюдать одновременно как на бедре, так и на большеберцовой кости. У 7 пациентов (11,6%) связка надколенника была настолько короткой, что костно-связочные соединения в итоге располагались в пределах 3 мм от уровня апертур туннелей и на бедре, и на большеберцовой кости. Среднее расстояние от апертуры большеберцового туннеля до костно-связочного соединения трансплантата составляло 3,7 мм ($SD=2,5$).

4.3 Клинические результаты

У всех пациентов 2-й группы ($n=60$) в сроки 3–5 лет после операции был проведен опрос в соответствии со шкалами Lysholm и IKDC, разосланными в

электронном виде. У 3-х пациентов (5%) в послеоперационном периоде возник рецидив нестабильности с разрывом трансплантата вследствие травмы. Согласно протоколу исследования данные пациенты были исключены из итоговой оценки функциональных результатов.

Рецидив нестабильности возник у двух пациентов 27 и 30 лет в сроки через 9 и 11 месяцев после операции соответственно в связи с адекватной по тяжести травмой, которая произошла при преждевременном возвращении к контактному виду спорта (футболу) при участии в организованном матче. У третьего пациента с рецидивом в послеоперационном периоде наблюдали рецидивирующие отеки (синовиты) коленного сустава после интенсивных физических нагрузок без признаков инфекционного процесса. Изучение данных послеоперационных рентгенограмм и данных МРТ в динамике, видеопротоколов операций позволило получить более ясное представление о послеоперационных изменениях трансплантата и туннелей. Полученные сведения описаны в Клиническом случае 2.

Клинический случай 2

Пациент Б. в возрасте 29 лет получил разрыв ПКС и медиального мениска левого коленного сустава при игре в футбол. В отделении 04.03.2021 выполнена анатомическая пластика ПКС и резекция мениска с использованием трансплантата из связки надколенника. После операции положение трансплантата было анатомическим, обращали на себя внимание незаполненные внутрисуставные части туннелей (Рисунок 66). Восстановительный период протекал без инфекционных осложнений, но с явлениями рецидивирующих отеков сустава после физических нагрузок. Поэтому пациент выполнил МРТ 19.10.2021 (Рисунок 67). В июле 2022 года пациент получил разрыв трансплантата ПКС при травме во время игры в настольный теннис и обратился за помощью в отделение. Ревизионная пластика ПКС повторно взятым трансплантатом из связки надколенника была выполнена 07.12.2022. При артроскопии было выявлено: практически полное отсутствие, т.е. лизис, трансплантата в суставе. Контур бедренного туннеля располагался в центрально анатомической зоне места прикрепления ПКС, т.е. в менее изометричной позиции. Этапы ревизионной операции представлены на рисунке 68. Большеберцовое прикрепление ПКС при ревизионной пластике было укреплено костным клином, введенным между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом. Послеоперационные рентгенограммы представлены на рисунке 69.



Рисунок 66 – Послеоперационные рентгенограммы у пациента Б. из 2-й группы: А – прямая проекция, видны костные блоки трансплантата, которые не полностью заполняют внутрисуставную часть туннелей, Б – боковая проекция, туннели расположены анатомически правильно (на бедре – кзади от ЛМГ, на большеберцовой кости – в 2 мм кзади от бугорка Parson'a)

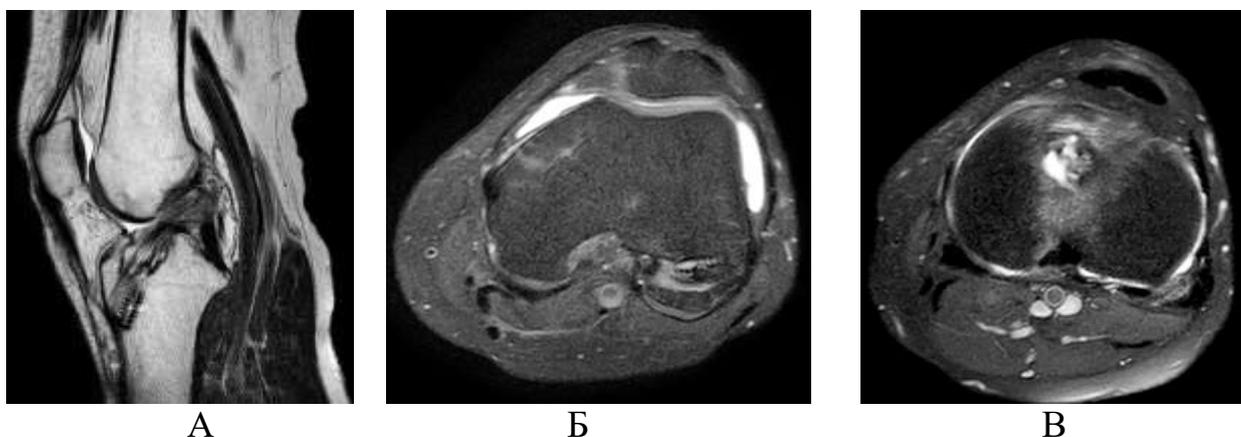


Рисунок 67 – МРТ-изображения пациента Б. через 7 месяцев после пластики ПКС: А – на сагиттальном срезе виден расширенный большеберцовый туннель, трансплантат опирается на заднюю стенку туннеля, трансплантат окружен тканью с повышенным неоднородным МР-сигналом; Б – на аксиальном срезе бедра виден бедренный туннель, внутрисуставная часть которого содержит связочную часть трансплантата, окруженную тканью с повышенным МР-сигналом, костный блок трансплантата сращен со стенками наружной части туннеля, умеренный синовит; В – на аксиальном срезе плато большеберцовой кости трансплантат смещен к заднелатеральной стенке апертуры, пространство между трансплантатом и медиальной стенкой туннеля заполнено жидкостью



А



Б



В



Г

Рисунок 68 – Этапы ревизионной реконструкции у пациента Б. из 2-й группы:
 А – видна апертюра старого бедренного туннеля, ориентирующая спица для нового туннеля проведена у задней стенки старого; Б – спица для нового большеберцового туннеля; В – введение костного клина между трансплантатом и латеральной стенкой туннеля; Г – вид нового трансплантата ПКС



А



Б

Рисунок 69 – Рентгенограммы пациента Б. из 2-й группы после ревизионной пластики ПКС: А – прямая проекция, бедренный костный блок установлен на уровне входа в туннель; Б – боковая проекция, туннели расположены правильно, виден костный клин в проксимальном отделе большеберцового туннеля

4.3.1. Субъективная оценка

По данным анкетирования оставшихся 57 пациентов итоговая оценка по шкале-опроснику Lysholm составила в среднем 90,3 балла ($SD=9,2$), субъективная оценка по шкале-опроснику IKDC – 89,7 ($SD=10,6$). Пациенты снижали уровень оценки своего состояния, в основном, за счет жалоб на утомляемость при беге и длительной ходьбе, эпизоды нестабильности в коленном суставе при интенсивных физических нагрузках, возникновение отеков оперированного сустава после трудового дня.

При опросе пациенты в основном были удовлетворены уровнем функционального состояния своего коленного сустава, достаточным для выполнения привычной для них трудовой и повседневной деятельности. Тем не менее, жалобы на некоторую неустойчивость при физических нагрузках высокого уровня (теннис, горные лыжи) и очень высокого уровня (футбол, баскетбол) предъявляли 25 (43,9%) пациентов. Однако при повседневной (менее интенсивной) деятельности и труде такие жалобы предъявляли всего 5 (8,8%) пациентов. Для 43 (75,4%) пациентов средний уровень активности (нетяжелый физический труд, бег трусцой) не сопровождался болью, отечностью и неустойчивостью в коленном суставе. На момент опроса умеренные отеки коленного сустава беспокоили 8 (14%) пациентов, у 6 из них на послеоперационных рентгенограммах наблюдали незаполненные внутрисуставные части обоих туннелей. Одним из примеров неблагоприятного влияния неустраненного несоответствия между трансплантатом и туннелями была история пациентки С., описанная в клиническом случае 3.

Клинический случай 3

Пациентка С. впервые получила травму левого коленного сустава 10.02.2021 при падении с квадроцикла. По МРТ от 08.09.2021 – признаки полного разрыва ПКС. В отделении 25.01.2022 была выполнена пластика ПКС по традиционной анатомической методике с использованием трансплантата из связки надколенника. На послеоперационных рентгенограммах видно, что туннели расположены анатомически правильно, но из-за избыточной длины связки надколенника внутрисуставные части как большеберцового, так и

бедренного туннеля остались незаполненными костными блоками (Рисунок 70, 71). В послеоперационном восстановительном периоде пациентку начали беспокоить повторяющиеся отеки коленного сустава после нагрузок. В связи с этим пациентка выполнила 01.09.2022 МРТ коленного сустава (Рисунок 72). Проведенные противовоспалительные мероприятия позволили сохранить целостность трансплантата и купировать явления синовита до конца срока наблюдения.



Рисунок 70 – Интраоперационные изображения пациентки С. из 2-й группы:
А – анатомически правильно расположенный бедренный туннель, Б – общий вид трансплантата, конфликта нет



Рисунок 71 – Послеоперационные рентгенограммы пациентки С. из 2-й группы:
А – прямая проекция, видны незаполненные костными блоками трансплантата внутрисуставные части костных туннелей; Б – боковая проекция, трансплантат размещен в местах прикрепления переднемедиальных волокон ПКС

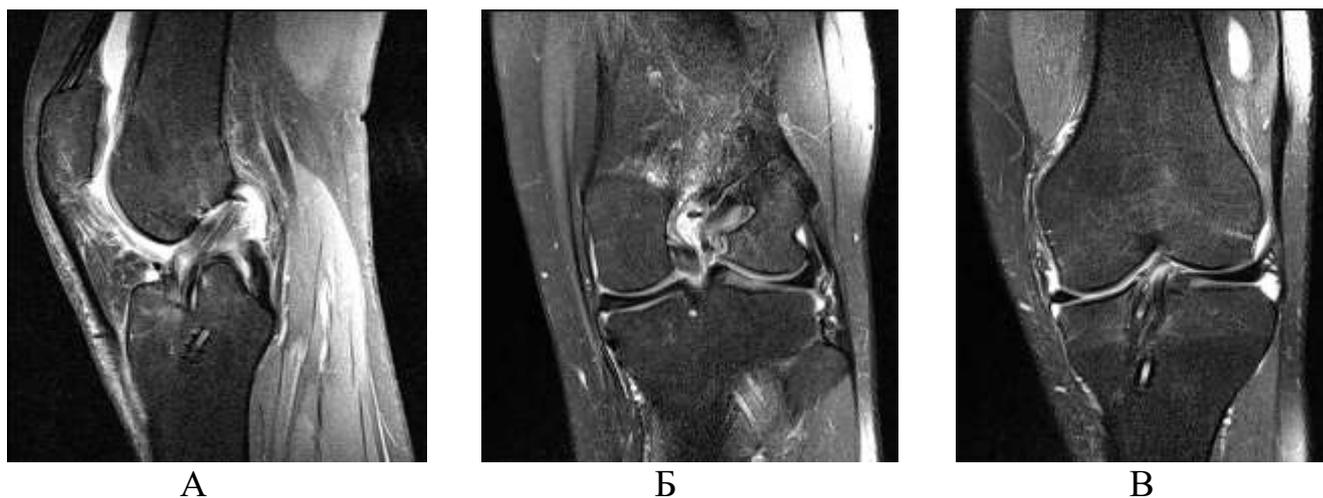


Рисунок 72 – МРТ-изображения пациентки С. из 2-й группы через 7 месяцев после операции: А – сагиттальный срез, трансплантат прилежит к заднему краю апертуры большеберцового туннеля, эксудативный синовит; Б – фронтальный срез, костный блок трансплантата сросся со стенками бедренного туннеля, полоска связочной части трансплантата в туннеле во внутрисуставном участке туннеля окружена тканью с повышенным сигналом; В – фронтальный срез, костный блок сросся со стенками большеберцового туннеля, связочная часть трансплантата прилежит к латеральной стенке апертуры туннеля, между медиальной стенкой и трансплантатом находится ткань с повышенным и неоднородным сигналом

Полученные сведения свидетельствуют о том, что уровень субъективных результатов, достигнутых большинством пациентов после применения традиционной техники двухдоступной анатомической реконструкции ПКС, достаточен для восстановления приемлемого качества жизни при среднем уровне физической активности. Однако при высокоскоростных ротационных нагрузках, необходимых в футболе, баскетболе, горных лыжах, теннисе и подобных видах спорта, у 43,9% сохранялись симптомы остаточной, пусть и в небольшой степени выраженности, нестабильности. Кроме того, 14% пациентов беспокоили рецидивирующие отеки сустава (синовиты) после длительной ходьбы или бега. На послеоперационных рентгенограммах у таких пациентов нередко прослеживали наличие диастаза между апертурами туннелей и костно-связочными соединениями трансплантата.

Представленные в клинических случаях 2 и 3 сведения также указывают на возможность развития воспаления и нарушений полноценного сращения мягкотканной части трансплантата из связки надколенника в зонах неплотного ее контакта на уровне апертур туннелей. Поэтому представляется важным учитывать характерное для трансплантата из связки надколенника несоответствие туннеля и трансплантата при планировании и выполнении реконструкции ПКС.

4.3.2. Результаты очного объективного обследования

Из пациентов 2-й группы, не имевших рецидива нестабильности, случайным образом были выбраны 15 пациентов, у которых в сроки через 3–5 лет после операции выполняли рентгенографию и объективное обследование с использованием функциональной шкалы IKDC. Результаты объективного обследования у пациентов 2-й группы представлены в таблице 10.

Жалобы на рецидивирующие выпоты в суставе при тяжелых физических нагрузках наблюдали у 3 (20%) пациентов. У большинства (80%) пациентов был достигнут нормальный уровень амплитуды движений. Более полноценное восстановление подвижности в данной группе пациентов (80% против 33,3% в 1-й группе, $p=0,010$), по-видимому, обусловлено тем, что анатомически правильно расположенный трансплантат является условием для нормального функционирования сустава.

Положительный тест Лахмана наблюдали у меньшего числа пациентов, чем в 1-й группе, однако различия были статистически незначимыми (положительный тест Лахмана – 20% против 53,4%, $p=0,059$). Положительный тест ПВЯ во 2-й группе отмечали у значительно меньшей доли пациентов (46,7% против 86,7%, $p=0,021$). Положительные значения «pivot-shift» теста регистрировали у 7 (46,7%) пациентов, среди них 6 (40%) относили к категории «скользящих», 1 (6,7%) – к «явным». Значимых различий по сравнению с данными 1-й группы не было ($p=0,059$).

Таблица 10 – Результаты объективного обследования функционального состояния оперированного коленного сустава у пациентов 2-й группы с использованием шкалы IKDC (n=15)

Средний срок наблюдения, лет	M=4,0 (SD=0,3)
Выпот в суставе	
Нет	12 (80%)
Незначительный	2 (13,3%)
Умеренный	1 (6,7%)
Дефицит разгибания	
Нет, <3°	13 (86,7%)
Незначительный, 3-5°	2 (13,3%)
Умеренный, 6-10°	0 (0%)
Дефицит сгибания	
Нет, 0-5°	12 (80%)
Незначительный, 6-15°	3 (20%)
Умеренный, 16-25°	0 (0%)
Тест Лахмана	
0	12 (80%)
1	3 (20%)
2	0 (0%)
Тест ПВЯ	
0	8 (53,3%)
1	6 (40%)
2	1 (6,7%)
«Pivot-shift» тест	
0	8 (53,3%)
1	6 (40%)
2	1 (6,7%)
Болезненность донорской зоны	
Нет	11 (73,3%)
Легкая	4 (26,7%)
Умеренная	0 (0%)
Болезненность при стоянии на коленях	
Нет	8 (53,3%)
Легкая	6 (40%)
Умеренная	1 (6,7%)

Жалобы на болезненность в местах забора трансплантата предъявляли 4 (26,7%) пациента, все пациенты оценили ее степень как «легкая». Болезненность при стоянии на коленях отмечали 7 пациентов (46,7%).

Несмотря на меньшую частоту проблем донорского места в данной группе, при сравнении с 1-й группой пациентов статистически значимых различий в уровне проблем донорской зоны выявлено не было.

При рентгенологическом обследовании признаки артроза 1-й степени наблюдали у 2 пациентов (13,3%). Клинические проявления бедренно-надколенникового артроза, выразившиеся в хрусте и крепитации в переднем отделе коленного сустава при движениях, наблюдали у 3 (20%) пациентов.

Итоговая оценка по объективной шкале IKDC представлена на рисунке 73. Данные свидетельствуют, что результаты были лучше, чем в первой группе ($p=0,041$).

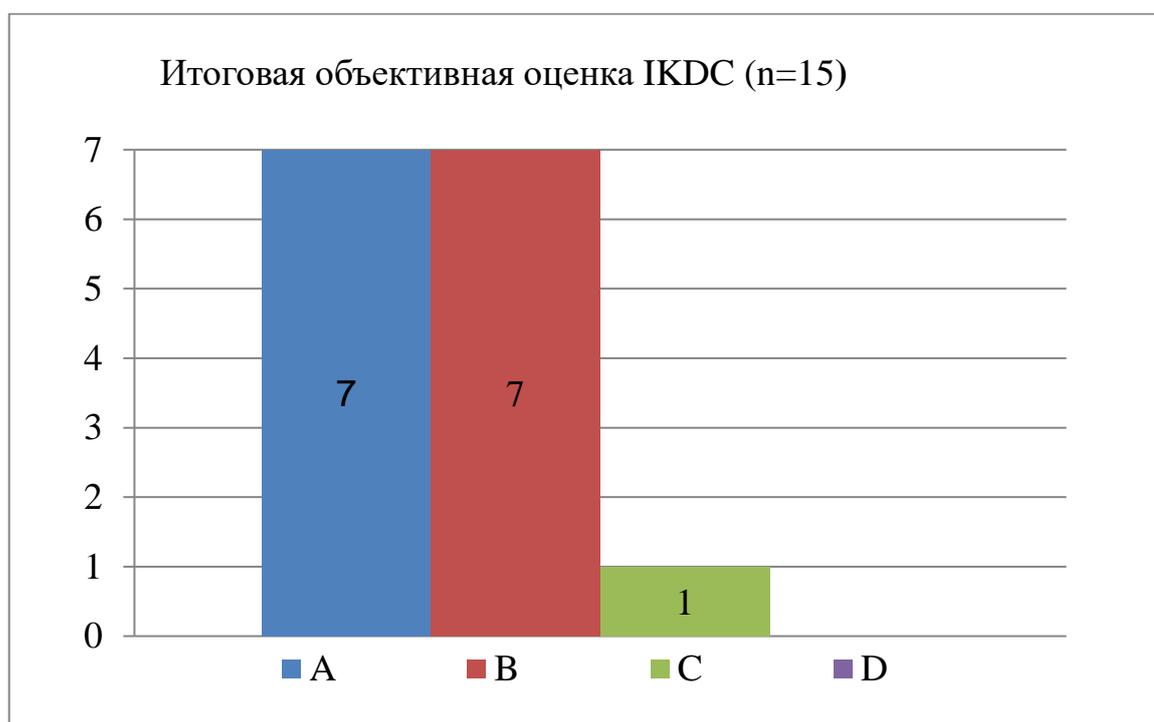


Рисунок 73 – Распределение пациентов 2-й группы по итогам объективной оценки по шкале IKDC

Проведенный анализ результатов у пациентов 2-й группы после анатомической реконструкции показал ее преимущество перед 1-й (транстибиальной) группой, однако прямое сравнение между группами было не вполне правомерно, т.к. имелись существенные различия в сроках наблюдения. Поэтому более значимым представляется проведенный в следующем разделе анализ особенностей позиции туннелей и костных блоков трансплантата, поскольку эти данные были получены на основании рентгенограмм, выполненных на следующий день после операции.

4.3.3. Сравнительная оценка положения туннелей и костных блоков у пациентов 1-й и 2-й групп

У пациентов в 1-й (транстибиальной) группе при анализе послеоперационных рентгенограмм было выявлено расположение апертуры большеберцового туннеля в месте прикрепления заднелатерального функционального пучка ПКС у 31 (51,7%) пациентов, что нельзя признать биомеханически обоснованным. У 28 (46,7%) пациентов бедренный туннель располагался в не анатомической позиции, т.е. кпереди от линии ЛМГ.

Во 2-й (двухдоступной) группе пациентов техника сверления туннелей независимо друг от друга позволяла добиваться размещения бедренного туннеля у 56 (93,3%) пациентов в анатомической позиции, у 4 (6,7%) – в частично анатомической. Большеберцовый туннель у всех пациентов данной группы располагался в анатомическом месте прикрепления ПКС (в зоне прикрепления переднемедиальных волокон – у 57 (95%), средней части – у 3 (5%) пациентов). Различия в позиции как бедренного, так и большеберцового туннеля между группами были статистически значимы ($p < 0,001$).

У всех пациентов 1-й группы наблюдали незаполненную костным блоком проксимальную часть большеберцового туннеля, длина которой, измеренной на рентгенограммах в прямой проекции, составляла в среднем 13,0 мм ($SD=4,5$). Бедренный туннель у всех пациентов практически полностью был заполнен проксимальным костным блоком трансплантата.

У пациентов 2-й группы среднее расстояние от апертуры большеберцового туннеля до костно-связочного соединения трансплантата составляло 3,7 мм ($SD=2,5$). Поскольку для пациентов данной группы характерным техническим приемом было внедрение, по-возможности, всего дистального костного блока в просвет большеберцового туннеля, типичным было более глубокое залегание проксимального костного блока трансплантата в бедренном туннеле. При измерении на рентгенограммах в прямой проекции расстояние от апертуры

бедренного туннеля до костно-связочного соединения трансплантата в среднем составляло 5,2 мм (SD=3,9). Известно, что продольная ось бедренного туннеля при анатомической технике будет располагаться под более острым углом к оси внутрисуставной части трансплантата, чем при транстибиальной технике. Поэтому в таких случаях связочная часть трансплантата может подвергаться раскачиванию в туннеле и трению о край апертуры в бóльшей степени, что может препятствовать первичному сращению связки с костными стенками туннеля.

У четверти пациентов связочная часть трансплантата была настолько длинной, что незаполненные внутрисуставные части (≥ 5 мм) туннелей можно было наблюдать одновременно как на бедре, так и на большеберцовой кости. У 7 пациентов (11,6%) связка надколенника была короткой, у них после установки трансплантата костно-связочные соединения располагались в пределах 3 мм от уровня апертур туннелей и на бедре, и на большеберцовой кости.

4.4. Резюме

Проведенный анализ видеопротоколов операций и послеоперационных рентгенограмм у 60 пациентов 2-й ретроспективной группы показал, что известный способ анатомической двухдоступной реконструкции ПКС обеспечивал размещение бедренного туннеля в анатомически правильной позиции у 93,3% пациентов. Большеберцовый туннель располагался в зоне прикрепления переднемедиальных волокон ПКС – у 95% пациентов. Различия в позиции как бедренного, так и большеберцового туннеля между 1-й и 2-й группами пациентов были статистически значимыми ($p < 0,001$).

Характерной особенностью данного способа операции было появление внутрисуставных участков туннелей, незаполненных костными блоками трансплантата, в которых его относительно узкая связочная часть могла подвергаться раскачиванию и трению о стенки апертур туннелей. Измеренное на рентгенограммах в прямой проекции расстояние от апертуры большеберцового

туннеля до костно-связочного соединения трансплантата составляло в среднем 3,7 мм (SD=2,5), Дистанция от апертуры бедренного туннеля до костно-связочного соединения трансплантата – 5,2 мм (SD=3,9). У четверти пациентов связочная часть трансплантата была настолько длинной, что незаполненные внутрисуставные части (≥ 5 мм) туннелей можно было наблюдать одновременно как на бедре, так и на большеберцовой кости.

По данным анкетирования 57 пациентов (за исключением 3-х пациентов с рецидивами) итоговая субъективная оценка по шкале-опроснику Lysholm составила в среднем 90,3 балла (SD=9,2), субъективная оценка по шкале-опроснику IKDC – 89,7 (SD=10,6). При опросе пациенты в основном были удовлетворены уровнем функционального состояния своего коленного сустава. Тем не менее, жалобы на слабо выраженные ощущения нестабильности в суставе при физических нагрузках высокого уровня (теннис, горные лыжи) и очень высокого уровня (футбол, баскетбол) предъявляли 25 (43,9%) пациентов.

По данным очного объективного обследования 15 пациентов у 80% пациентов был достигнут нормальный уровень амплитуды движений. Жалобы на рецидивирующие выпоты в суставе при тяжелых физических нагрузках наблюдали у 3 (20%) пациентов, скользящий «pivot-shift» тест регистрировали у 6 (40%) пациентов, явный – у 1 (6,7%).

Таким образом, исследуемая известная техника анатомической реконструкции ПКС позволяла разместить туннели в анатомически обоснованных местах и получить более высокий уровень функционального состояния коленного сустава, чем могла обеспечить транстибиальная техника. Однако, выявленное, характерное для данного способа, расположение костно-связочных соединений трансплантата в глубине туннелей, и соответственно – вдали от мест прикрепления нативной ПКС, могло быть одной из причин неоптимального функционирования новой связки и, как следствие, сохранения у почти половины пациентов проявлений, пусть и слабо выраженной, остаточной нестабильности.

Выявленные при реализации первых двух этапов ретроспективного исследования недостатки известных методик реконструкции с использованием

костно-связочно-костного трансплантата из связки надколенника послужили основанием для разработки модифицированной техники операции и проведения проспективного анализа результатов ее применения.

ГЛАВА 5. ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 1,5–2-ЛЕТНИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ ДВУХДОСТУПНОЙ АНАТОМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПКС

5.1. Общая характеристика пациентов

На третьем этапе исследования была обоснована и разработана модифицированная усовершенствованная техника двухдоступной анатомической реконструкции ПКС и проведен проспективный анализ анатомо-функциональных результатов ее применения у 80 пациентов в сроки через 1,5–2,0 года после операции. Все операции были проведены в условиях одного отделения за период с октября 2022 года по март 2024 года. Демографические данные проспективных групп пациентов представлены в таблице 3. Значимых различий между проспективными 3А и 3Б подгруппами и 3А1 и 3Б1 подгруппами по структуре сопутствующих повреждений и представленным данным анамнеза выявлено не было. Отличительные существенные черты модифицированного (улучшенного) варианта реконструкции и подробное описание техники представлены в разделе 2.3.3.

В структуре травм, как и у пациентов первых двух групп, преобладали спортивные травмы (Рисунок 74). Чаще всего (в 47% случаев) повреждение ПКС происходило при игре в футбол (Рисунок 75). У 71% пациентов операции были выполнены в срок более чем 12 недель после травмы, у 26% – в сроки от 3 до 12 недель, у 3% – в сроки до 3 недель (Рисунок 76). Структура сопутствующих повреждений внутренних структур коленного сустава представлена на рисунке 77 и в таблице 11.

Обстоятельства травм

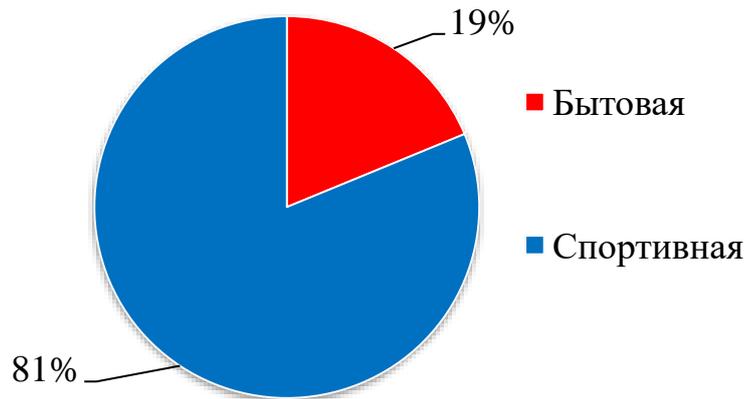


Рисунок 74 – Распределение пациентов у пациентов проспективной 3-й группы по обстоятельствам получения травм

Вид спортивной активности, при котором получена травма

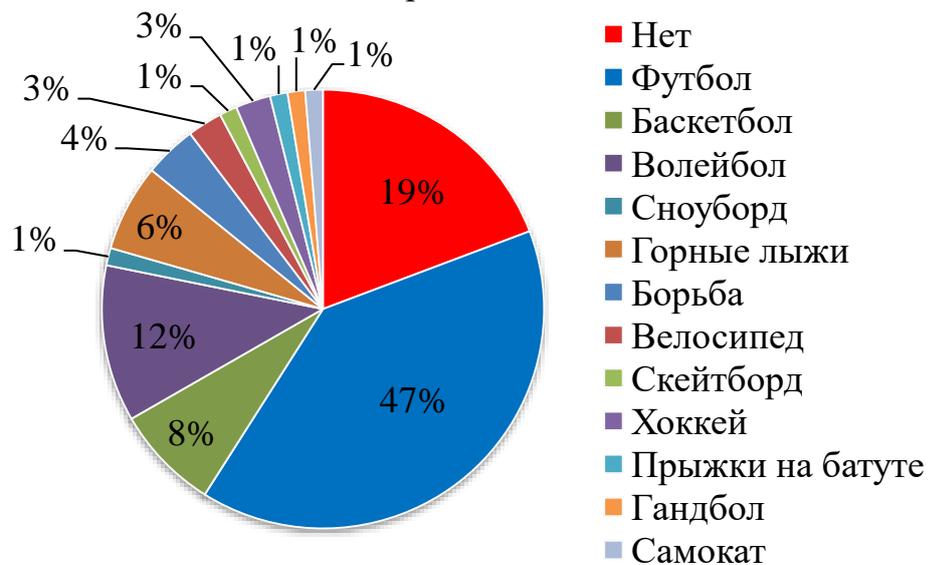


Рисунок 75 – Распределение пациентов у пациентов проспективной 3-й группы по виду спортивной активности, при котором была получена травма

Срок от травмы до операции, нед.

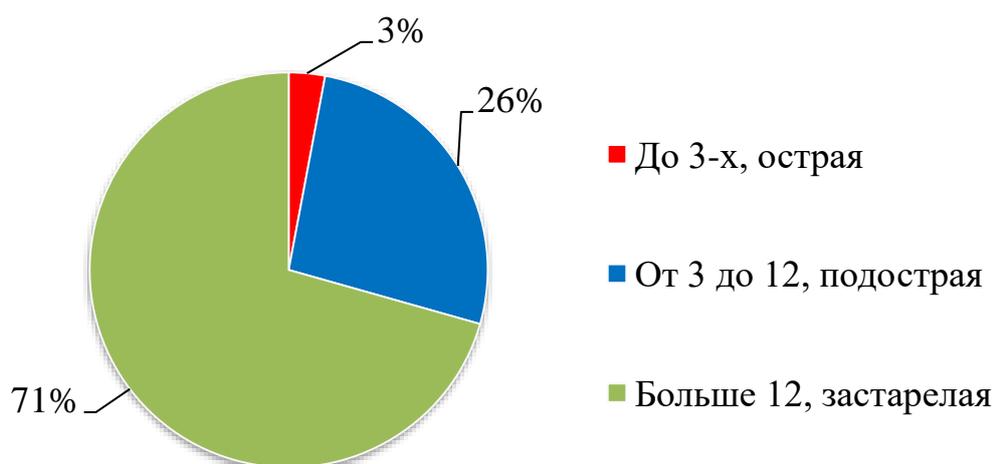


Рисунок 76 – Распределение пациентов у пациентов проспективной 3-й группы по сроку от травмы до операции

Структура сопутствующих повреждений менисков

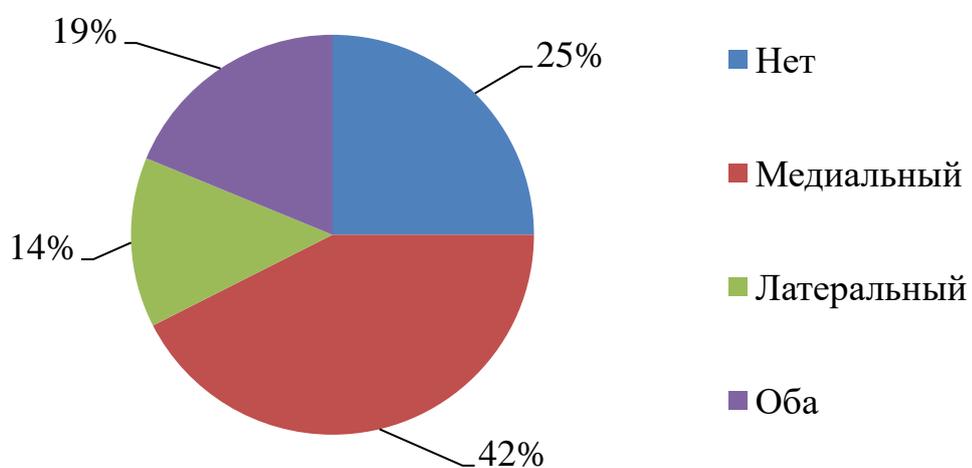


Рисунок 77 – Структура сопутствующих повреждений менисков у пациентов проспективной 3-й группы

Таблица 11 – Структура сопутствующих изменений хряща у пациентов проспективной 3-й группы (n=80)

Отдел сустава	Степень изменений хряща, хондромалации				
	ХМ – 0	ХМ – 1	ХМ – 2	ХМ – 3	ХМ – 4
Бедренно-надколенниковый	72	6	2	0	0
Медиальный	67	8	4	1	0
Латеральный	71	3	5	1	0

ХМ – хондромалация.

Коррекция сопутствующих повреждений (резекция мениска и сглаживание поврежденных участков хряща) существенно не сказывалась на длительности операции и характере реабилитации.

5.2. Обоснование и разработка модифицированной техники реконструкции ПКС

Полученные на первых двух этапах исследования сведения о результатах и особенностях применения известных техник реконструкции ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника позволили выявить их существенные недостатки. Во-первых, транстибиальная методика, не обеспечивала у многих пациентов анатомически правильного размещения костных туннелей, что влекло за собой развитие контрактур, признаков пателло-фemorального артроза, симптомов хронической несостоятельности трансплантата. Во-вторых, она оставляла неустранимым несоответствие между относительно узкой связочной частью трансплантата и внутрисуставной незаполненной костным блоком частью большеберцового туннеля, что могло быть еще одним фактором сохранения остаточной нестабильности.

Известная двухдоступная техника анатомической реконструкции ПКС позволяла хорошо визуализировать места прикрепления ПКС и обеспечивала

возможность размещения туннелей в биомеханически обоснованных анатомических местах у большинства пациентов, что проявлялось более высоким уровнем анатомио-функциональных результатов, чем могла обеспечить транстибиальная техника. Существенный недостаток данной технологии заключался в том, что костно-связочных соединения трансплантата часто оказывались установленными в глубине туннелей, и соответственно – вдали от мест прикрепления ПКС. Вероятно, это могло быть одной из причин неоптимального функционирования трансплантата и, как следствие, сохранения у почти половины пациентов проявлений остаточной объективной нестабильности. Типичной особенностью анатомической техники было более глубокое залегание проксимального костного блока трансплантата в бедренном туннеле, который располагался под более острым углом к оси внутрисуставной части трансплантата, чем при транстибиальной технике. Это могло быть одним из факторов, неблагоприятно воздействующих на поведение и состояние трансплантата в месте внутрисуставного входа в туннель.

Для устранения вышеперечисленных недостатков, а также улучшения позиции трансплантата и создания плотного контакта трансплантата на уровне апертур туннелей непосредственно в местах прикрепления ПКС была предложена улучшенная техника операции. Основными элементами улучшения техники были приняты следующие.

1. Выравнивание и установка проксимального костного блока на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля.
2. Разворот трансплантата в соответствии с ориентацией нативной ПКС.
3. Создание плотного контакта связочной части трансплантата с медиальной стенкой большеберцового туннеля на уровне места прямого прикрепления ПКС за счет вклинения кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости.
4. Снижение последствий забора трансплантата за счет полнослойного ушивания связки и закрытия костного дефекта губчатой аутокостью.

Для подтверждения эффективности предложенных решений было проведено проспективное исследование, в ходе которого пациенты были разделены на две равные подгруппы 3А и 3Б: пациентам подгруппы 3А проводили улучшенную анатомическую реконструкцию ПКС за исключением костной пластики проксимальной части большеберцового туннеля, пациентам подгруппы 3Б – усовершенствованную методику в полном объеме. Целью исследования было оценить эффективность оптимизации размещения трансплантата в местах прикрепления ПКС и возможный вред от применения данной модификации.

5.2.1. Разработка оригинального инструмента (направителя) для создания туннелей при реконструкции ПКС по методике снаружи внутрь

Известно, что необходимым условием для успешной реконструкции передней крестообразной связки является как можно более точное расположение трансплантата передней крестообразной связки в местах прикрепления ПКС. Двухдоступная техника реконструкции ПКС, при которой основным (при выполнении оперативных приемов) положением нижней конечности является сгибание в коленном суставе под прямым углом, обеспечивает наилучшие условия для визуализации, точной разметки и безопасного рассверливания бедренного и большеберцового туннелей снаружи внутрь из отдельных малых разрезов.

Известны и используются в хирургической практике инструменты-направители зарубежных фирм, которые предназначены для использования с направляющими толстыми (диаметром 2,4 мм) спицами, имеющими на острие заточку в виде сверла и ушко на конце для захвата нитей. Данный вид спицы выпускается зарубежной промышленностью и имеет высокую стоимость. Такую спицу нельзя использовать с неканюлированными дрелями, поскольку тогда ее придется укоротить с помощью кусачек, что сделает ее негодной для дальнейшего

использования. Поэтому на практике нередко используют стандартные более тонкие спицы для чрескостного остеосинтеза (1,8–2 мм), массово выпускаемые отечественной медицинской промышленностью. В таких случаях нельзя исключить отклонение спицы от выбранной точки прицеливания при использовании направителей зарубежных фирм (Рисунок 78). Кроме того, зарубежные направители достаточно дороги, поэтому только в крупных центрах в арсенале хирурга имеется несколько экземпляров.

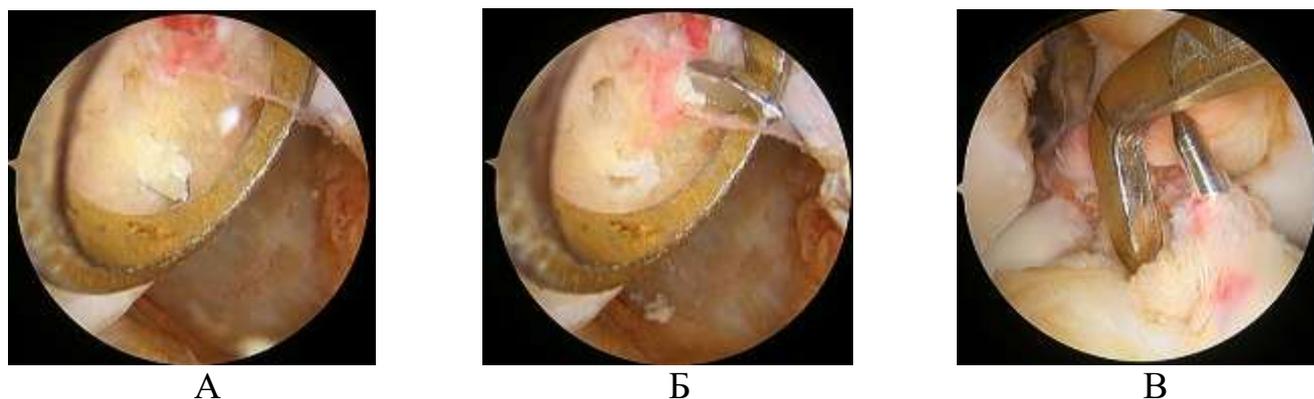


Рисунок 78 – Отклонения тонкой ориентирующей спицы от выбранной траектории при использовании направителя Acufex Director (Smith&Nephew): А – ямка в центре мишени направителя обозначает планируемое место выхода спицы на бедре, острое спицы вышло в 3 мм книзу от ямки; Б – острое повторно проведенной спицы – в 3 мм кзади от ямки; В – на плато большеберцовой кости острое спицы вышло на 2 мм медиальнее места прицеливания

Поэтому для повышения точности формирования туннеля при использовании отечественных спиц, а также для расширения возможностей хирургов был предложен вариант оригинального инструмента (направителя), конструкция которого отличается простотой и экономичностью при производстве.

Предложенный направитель для создания туннелей при реконструкции ПКС имеет дугообразный корпус с втулкой-рукавом, направляющую гильзу под спицу и стержень. Направляющая гильза расположена во втулке с возможностью осевого перемещения, свободно скользит во втулке. Изображение направителя представлено на рисунке 79.

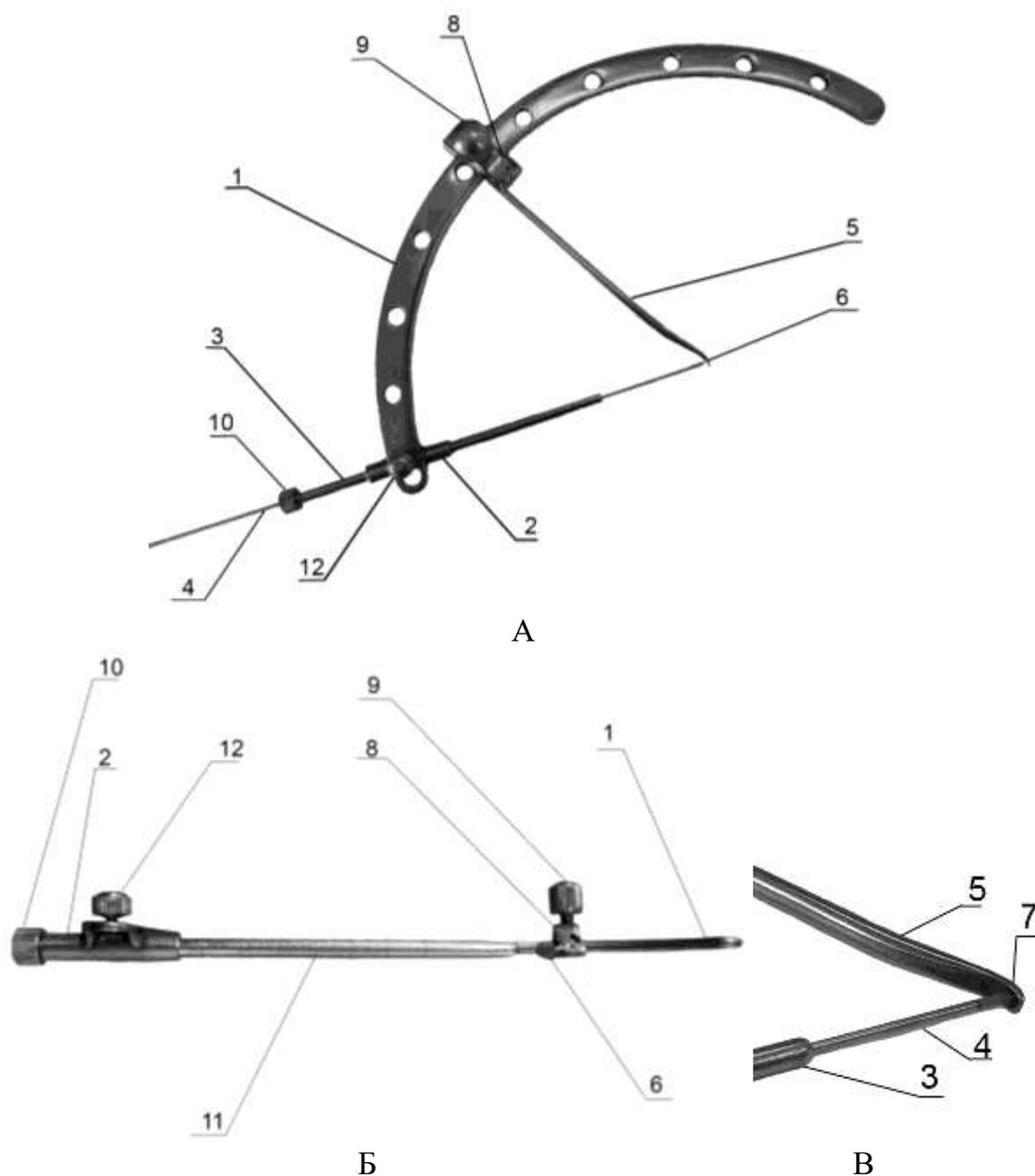


Рисунок 79 – Направитель для создания туннелей при реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава: А – вид сверху (спица находится внутри направляющей гильзы и кончиком упирается в мишень); Б – вид спереди (направляющая гильза пуста); В – укрупненный вид рабочей части стержня, где 1 – корпус; 2 – втулка-рукав; 3 – направляющая гильза; 4 – спица; 5 – стержень; 6 – рабочая часть стержня; 7 – углубление рабочей части стержня; 8 – рамочный фиксатор стержня 7 к корпусу 1; 9 – прижимной винт рамочного фиксатора 8; 10 – шайба направляющей гильзы; 11 – риски на направляющей гильзе; 12 – прижимной винт втулки 2

Стержень установлен на корпусе подвижно и ориентирован своей рабочей частью внутрь дуги корпуса. Функционально стержень представляет собой мишень для спицы, для чего его рабочая часть снабжена углублением для улавливания и фиксации спицы. Форма и размер углубления выполнены соответствующими по форме и размерам острию используемой спицы, чтобы обеспечить ее надежную фиксацию. Оптимальным также является выполнение углубления сферическим.

Подвижность установки стержня реализована за счет использования рамочного фиксатора, скользящего по корпусу, и изменяющего рабочий угол проведения спицы. Фиксатор снабжен прижимным винтом, что обеспечивает возможность фиксации стержня в заданном положении на корпусе.

Направляющая гильза представляет собой трубку с входным отверстием, обрамленным шайбой и выходным отверстием, имеет внутренний диаметр, соответствующий диаметру применяемой спицы, в частности, диаметру широко распространенных в отечественной медицинской промышленности 1,8–2,0-х миллиметровых спиц Илизарова. На направляющей гильзе через каждый сантиметр циркулярно нанесены риски для измерения длины костного туннеля. Шайба ограничивает продвижение направляющей гильзы по втулке, служит для захвата и препятствует выскальзыванию из рук хирурга. Направляющая гильза расположена во втулке таким образом, что ее выходное отверстие центрировано в соответствии с углублением на стержне. Втулка снабжена прижимным винтом, обеспечивающим фиксацию направляющей гильзы.

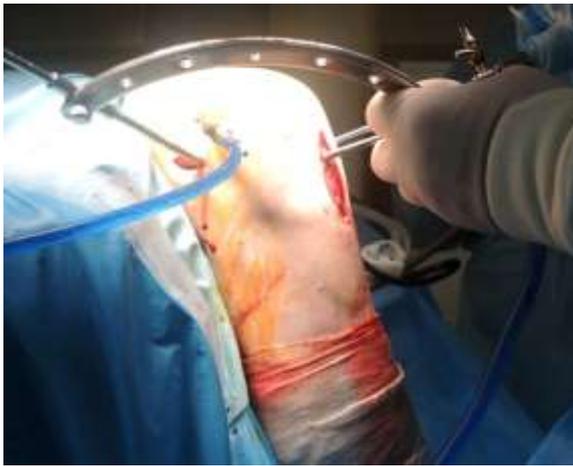
Корпус выполнен дугообразным с диаметром, учитывающим особенности анатомии и хирургической техники. Оптимальным является использование 220-миллиметрового полукольца из набора для чрескостного остеосинтеза Илизарова, причем для оценки угла сверления, можно использовать отверстия в дуге, расположенные через каждые 15° . Втулка имеет продольную прорезь шириной 2,3 мм для освобождения устройства от проведенной в кость направляющей спицы. Разработанный направитель для создания туннелей при реконструкции ПКС был использован на практике при лечении ряда пациентов проспективных

групп исследования, в том числе у пациентки Б. (Клинический случай 4). Получен патент на полезную модель №234028 от 15.05.2025.

Клинический случай 4

Пациентка Б., 33 лет, поступила в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена 08.11.2022 с диагнозом: застарелый разрыв ПКС левого коленного сустава. Из анамнеза известно, что травму левого коленного сустава впервые получила 01.05.2022 при падении во время игры в пляжный волейбол. После консервативного восстановительного лечения, проведенного по месту жительства, примерно через 3 месяца стала испытывать симптомы нестабильности в коленном суставе. По данным МРТ от 09.09.2022 выявлены признаки полного разрыва ПКС. В НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена 09.11.2022 выполнена артроскопическая анатомическая двухдоступная реконструкция ПКС трансплантатом из связки надколенника с использованием разработанного направителя. На рисунке 80 показаны кадры с применением направителя, на рисунке 81 – артроскопический вид установленного трансплантата и послеоперационные рентгенограммы. Послеоперационный период протекал без осложнений, опороспособность нижней конечности восстановилась через 4 недели, нормальная амплитуда движений – через 4 месяца, возвращение к дооперационному уровню физических нагрузок – через 12 месяцев. При контрольном осмотре через 12 месяцев выявлено: контуры коленного сустава обычные; послеоперационные рубцы эластичные, подвижные безболезненные; амплитуда движений составила 185° – 40° и не отличалась от здорового коленного сустава, тесты нестабильности ПКС (Лахмана, ПВЯ, «pivot-shift») отрицательные.

Таким образом, разработанное устройство обеспечивает возможность формирования корректных и точных по направлению костных туннелей при анатомической двухдоступной пластике передней крестообразной связки коленного сустава, как в бедренной, так и в большеберцовой кости, за счет повышения точности проведения спицы и ее фиксации.



А



Б



В



Г

Рисунок 80 – Применение предложенного инструмента (направителя) при реконструкции ПКС у пациентки Б.: А, Б – проведение ориентирующей спицы для бедренного туннеля; В, Г – для большеберцового туннеля



А



Б

Рисунок 81 – Результат реконструкции ПКС с применением оригинального направителя у пациентки Б., послеоперационные рентгенограммы: А – прямая проекция, Б – боковая проекция

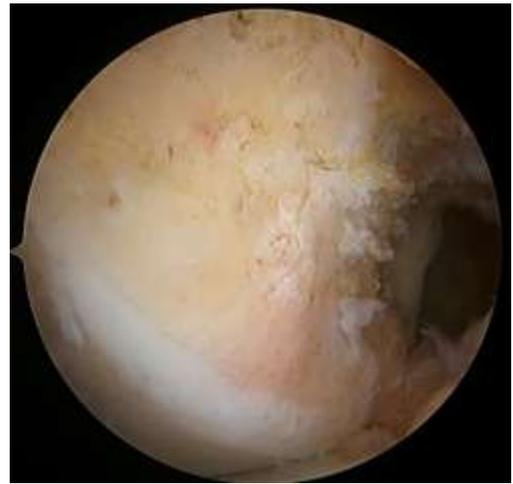
5.3. Оценка позиции туннелей и наклона трансплантата у пациентов 3-й группы после модифицированной реконструкции ПКС

У пациентов 3-й проспективной группы исследования (n=80) проведен анализ видеопротоколов операции и рентгенограмм оперированного коленного сустава, выполненных на следующий день после операции. Изучение видеопротоколов показало, что при данной технике практически во всех случаях удавалось сформировать туннели в индивидуально выбранных анатомических местах прикрепления ПКС, разместить трансплантат в соответствии с ориентацией нативной связки, установить проксимальный костный блок на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля и фиксировать его интерферентным винтом, а у пациентов 3Б подгруппы – дополнительно создать плотный контакт между трансплантатом и медиальным краем большеберцового туннеля непосредственно в месте прикрепления ПКС.

В качестве примера представлены кадры видеопрокола с этапами операции и послеоперационные рентгенограммы у пациента В. из 3Б подгруппы (Рисунки 82, 83, 84, 85).



А



Б



В



Г

Рисунок 82 – Этапы формирования туннелей у пациента В. из подгруппы 3Б:
 А – момент разметки центра бедренного туннеля шилом; Б – апертура анатомически расположенного бедренного туннеля; В – ориентирующая спица в центре большеберцового туннеля; Г – вид апертуры анатомического большеберцового туннеля, проволоочная петля проведена через туннели



А



Б



В



Г

Рисунок 83 – Этапы установки и фиксации проксимального костного блока трансплантата в бедренном туннеле у пациента В. из подгруппы 3Б:
 А – момент введения костного блока, он ориентирован губчатой поверхностью кпереди; Б – вид костного блока в просвете туннеля; В – нитиновый проводник проведен со стороны губчатой поверхности блока; Г – вид установленного интерферентного винта, нитинового проводника и костного блока



А



Б



В



Г

Рисунок 84 – Установленный трансплантат в результате модифицированной техники реконструкции у пациента В. из подгруппы 3Б:
 А, Б – моменты введения костного фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой апертуры большеберцового туннеля и трансплантатом; В, Г – вид анатомически установленного трансплантата при сгибании и полном разгибании соответственно



Рисунок 85 – Послеоперационные рентгенограммы пациента В. из подгруппы 3Б:
 А – прямая проекция; Б – боковая проекция: видны туннели, костные блоки
 трансплантата в них

Далее по послеоперационным рентгенограммам у пациентов 3А и 3Б подгрупп была определена разность между углом наклона трансплантата и углом наклона оси переднемедиального, наиболее изометричного, пучка ПКС (методика измерений изложена в разделе 2.5.2.2. и представлена на рисунке 42). Как известно, у пациентов 3Б подгруппы в ходе операции дополнительно создавали точку опоры для трансплантата в месте прямого большеберцового прикрепления ПКС у медиального межмышцелкового гребня путем внедрения костного клина из фрагмента переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой апертуры туннеля и связочной частью трансплантата. Это действие могло повлиять на ориентацию и наклон трансплантата.

Данные измерений представлены в таблице 12. В результате измерений установлено, что у пациентов 3А подгруппы ось трансплантата была ближе к вертикальной, отклонение от нормы составило $M=7,1^\circ$; $SD=2,8$ в прямой проекции и $M=6,8^\circ$; $SD=2,5$ – в боковой. В 3Б подгруппе угол наклона трансплантата практически соответствовал углу наклона природной ПКС, различия показателей

были минимальными как в прямой проекции ($M=1,1^\circ$; $SD=0,6$), так и в боковой ($M=1,4^\circ$; $SD=0,7$). Различия между подгруппами были достоверными ($p<0,05$).

Таблица 12 – Разность между углом наклона трансплантата и углом оси переднемедиальной части нативной ПКС к плато медиального мыщелка большеберцовой кости (по послеоперационным рентгенограммам)

Разность углов	Пациенты подгруппы 3А (n=40)	Пациенты подгруппы 3Б (n=40)	Р
В прямой проекции	$M=7,1$ ($SD=2,8$)	$M=1,1$ ($SD=0,6$)	0,039
В боковой проекции	$M=6,8$ ($SD=2,5$)	$M=1,4$ ($SD=0,7$)	0,041

Характерная черта выполняемой в настоящем исследовании техники операции заключалась в том, что при реконструкции ПКС формировали цилиндрические туннели, в них размещали трансплантат из связки надколенника, связочная часть которого была значительно тоньше, чем диаметр туннеля. Ось такого трансплантата, которую обозначали линией между точками перехода от связки надколенника к костным блокам, могла, в особенности, если эти точки находились вдали от апертур туннелей, отклоняться от оси нативной ПКС. В ряде случаев в момент интерферентной фиксации могло происходить отклонение продольной оси костного блока в сторону латеральной стенки туннеля, даже если связочно-костное соединение трансплантата располагалось вблизи апертуры (Рисунок 86).



Рисунок 86 – Послеоперационная рентгенограмма в прямой проекции у пациента подгруппы 3А: видно отклонение продольной оси большеберцового костного блока к латеральной стенке туннеля, произошедшее при интерферентной фиксации

Поэтому ось трансплантата из связки надколенника даже в анатомически сформированных туннелях могла принимать вертикальную, биомеханически менее эффективную позицию. У пациентов 3Б подгруппы выполняли вклинение костного фрагмента между латеральным краем апертуры большеберцового туннеля и полоской трансплантата, что сдвигало ее к медиальному краю туннеля и создавало точку опоры для трансплантата на уровне внутрисуставной апертуры туннеля. Предполагалось, что такой хирургический прием улучшения позиции и создание плотного контакта трансплантата на уровне мест прямого прикрепления ПКС мог способствовать улучшению анатомо-функциональных результатов.

5.4. Результаты лечения пациентов проспективных подгрупп 3А и 3Б

5.4.1. Субъективная оценка

У всех пациентов проспективной группы проводили предоперационное клиническое обследование и тестирование в соответствии с субъективной шкалой Lysholm и субъективной частью шкалы IKDC, а также объективное тестирование в соответствии с функциональной шкалой IKDC. В последующем в сроки через 1,5–2,0 года после операции выполняли аналогичное обследование и тестирование. Данные предоперационного тестирования пациентов представлены в таблице 13. Достоверных различий в уровне субъективной оценки перед операцией между группами пациентов не выявлено.

Таблица 13 – Результаты предоперационной субъективной оценки у пациентов подгрупп 3А и 3Б в баллах

Шкала	Подгруппа 3А (n=40)	Подгруппа 3Б (n=40)	P
IKDC	M=59,7 (SD=10,7)	M=61,7 (SD=9,6)	0,889
Lysholm	M=61,3 (SD=8,7)	M=63,6 (SD=9,4)	0,858

В послеоперационном периоде в подгруппе 3А рецидив нестабильности произошел у 2 пациентов, а в 3Б – у 1 пациента. В соответствии с протоколом исследования пациенты были исключены из итоговой оценки. Данные послеоперационной субъективной оценки оставшихся 77 пациентов 3А и 3Б подгрупп приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты субъективной оценки через 1,5-2 года после операции у пациентов подгрупп 3А и 3Б в баллах

Шкала	Подгруппа 3А (n=38)		Подгруппа 3Б (n=39)		Р		
	До операции	После операции	До операции	После операции	3А, до и после	3Б, до и после	3А и 3Б после
IKDC	M=59,5 (SD=10,4)	M=91,3 (SD=8,3)	M=61,5 (SD=9,3)	M=91,5 (SD=8,5)	0,019	0,020	0,986
Lysholm	M=61,1 (SD=8,8)	M=90,1 (SD=8,4)	M=63,6 (SD=9,1)	M=92,1 (SD=7,8)	0,020	0,020	0,862

Установлено, что уровень субъективной оценки функционального состояния через 1,5–2,0 года после операции достоверно вырос и в среднем достиг уровня по шкале IKDC – 91,3 (SD=8,3) и 91,5 (SD=8,5), по шкале Lysholm – 90,1 (SD=8,4) и 92,1 (SD=7,8) у пациентов 3А подгруппы и 3Б подгруппы соответственно. Значения субъективной оценки послеоперационного функционального состояния при межгрупповом сравнении не имели статистически достоверных различий.

5.4.2. Результаты очного объективного обследования

Перед операцией у всех пациентов проспективных групп имелись объективные признаки существенных нарушений функции поврежденного коленного сустава, прежде всего, положительных тестов несостоятельности ПКС. Данные функциональной шкалы IKDC представлены на рисунке 87. В подгруппе 3А к категории С отнесено 27 пациентов, к категории D – 13, в подгруппе 3Б – 25 и 15 пациентов соответственно. Достоверных различий между показателями не выявлено ($p=0,640$).

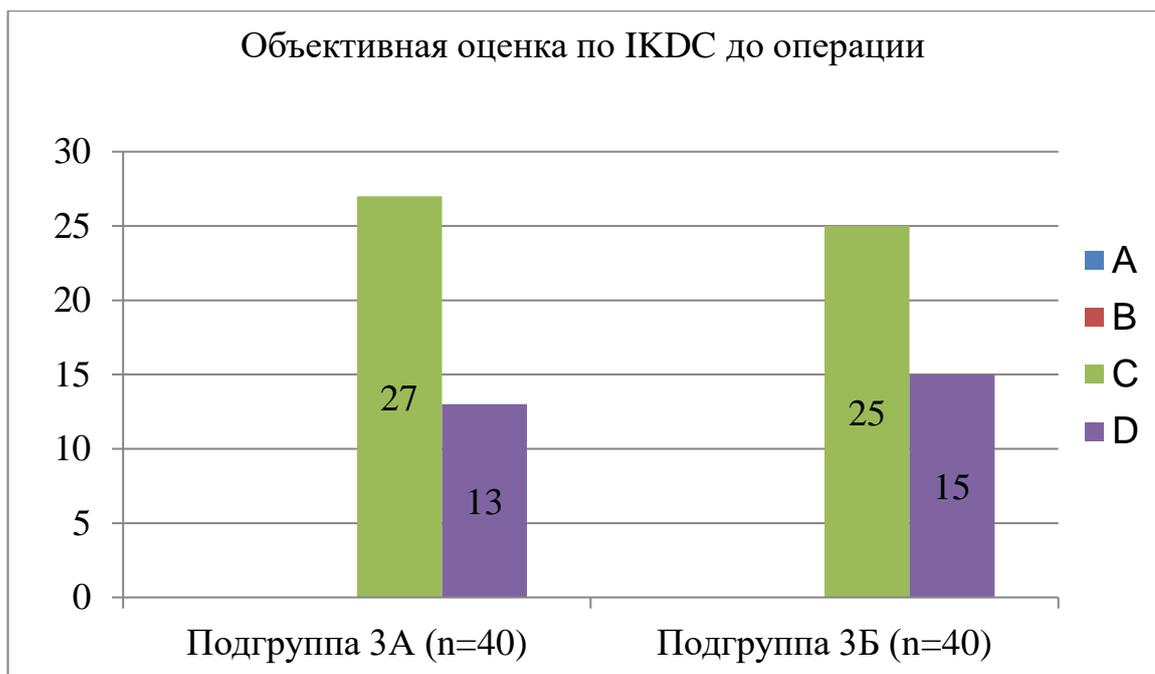


Рисунок 87 – Распределение пациентов подгрупп 3А и 3Б по итогам объективной оценки по шкале IKDC до операции

После операции удалось осмотреть 28 (73,6%) пациентов из 38 в подгруппе 3А и 31 (79,4%) пациентов из 39 в подгруппе 3Б. Остальные пациенты были или иногородними, или отказались от очного осмотра. Данные объективного обследования по функциональной шкале IKDC представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты объективного обследования функционального состояния оперированного коленного сустава у пациентов подгрупп 3А и 3Б с использованием шкалы IKDC

	подгруппа 3А (n=28)	подгруппа 3Б (n=31)	P
Средний срок наблюдения, месяцев	M=18,3 (SD=2,7)	M=17,9 (SD=3,3)	0,926
Выпот в суставе			
Нет	23 (82,1%)	25 (80,7%)	0,980
Незначительный	4 (14,3%)	5 (16,1%)	
Умеренный	1 (3,6%)	1 (3,2%)	
Дефицит разгибания			
Нет, <3°	25 (89,2%)	29 (93,5%)	0,558
Незначительный, 3-5°	3 (10,7%)	2 (6,5%)	
Умеренный, 6-10°	0 (0%)	0 (0%)	
Дефицит сгибания			
Нет, 0-5°	23 (82,1%)	27 (87,1%)	0,557
Незначительный, 6-15°	4 (14,3%)	4 (12,9%)	
Умеренный, 16-25°	1 (3,6%)	0 (0%)	
Тест Лахмана			
0	25 (89,3%)	27 (87,1%)	0,796
1	3 (10,7%)	4 (12,9%)	
2	0 (0%)	0 (0%)	
Тест ПВЯ			
0	14 (50%)	25 (80,7%)	0,046
1	12 (42,8%)	5 (16,1%)	
2	2 (7,2%)	1 (3,2%)	
«Pivot-shift» тест			
0	16 (57,1%)	27 (87,1%)	0,027
1	10 (35,7%)	4 (12,9%)	
2	2 (7,2%)	0 (0%)	
Болезненность донорской зоны			
Нет	21 (75%)	22 (70,9%)	0,925
Легкая	6 (21,4%)	8 (25,8%)	
Умеренная	1 (3,6%)	1 (3,2%)	
Болезненность при стоянии на коленях			
Нет	15 (53,6%)	22 (71,0%)	0,371
Легкая	11 (39,2%)	8 (25,8%)	
Умеренная	2 (7,2%)	1 (3,2%)	

Сравнительный анализ данных таблицы 15 показал, что из 59 пациентов обеих подгрупп у 85% наблюдали восстановление физиологического уровня подвижности коленного сустава. Незначительный дефицит разгибания наблюдали у 8,4% пациентов. Дефицит сгибания был незначительным у 13,6% пациентов и умеренным – у одного 1,7%. Достоверные различия наблюдали только по уровню

объективных тестов несостоятельности ПКС, а именно ПВЯ и «pivot-shift» теста. Так, в подгруппе 3А положительный тест ПВЯ 1 степени наблюдали у 12 (42,8%) пациентов, 2 степени – у 2 (7,2%), в подгруппе 3Б – у 5 (16,1%) и у 1 (3,2%) пациентов соответственно ($p=0,046$). У пациентов подгруппы 3А положительный скользящий «pivot-shift» тест выявляли в 10 (35,7%) случаях, явный – в 2 (7,2%) случаях. В подгруппе 3Б регистрировали скользящий «pivot-shift» тест у 4 (12,9%) пациентов, у остальных он был отрицательным ($p=0,027$).

По-видимому, выявленное значимое увеличение числа положительных значений тестов несостоятельности ПКС (ПВЯ и «pivot-shift» тест) у пациентов подгруппы 3А может быть проявлением эффекта раскачивания относительно тонкой связочной части трансплантата в туннеле большого диаметра, а также – следствием относительно вертикальной оси трансплантата, установленного даже в анатомически сформированных туннелях.

Выполненное рентгенологическое обследование не выявило существенных изменений по сравнению с послеоперационной рентгенологической картиной. Обращало на себя внимание наличие склерозированных краев внутрисуставной незаполненной костным блоком части большеберцового туннеля. Значительных расширений туннеля в изучаемых группах выявлено не было. Признаков прогрессирования артроза не было выявлено, вероятно, в связи с коротким сроком наблюдения.

Итоговая оценка после операции по объективной шкале IKDC представлена на рисунке 88.

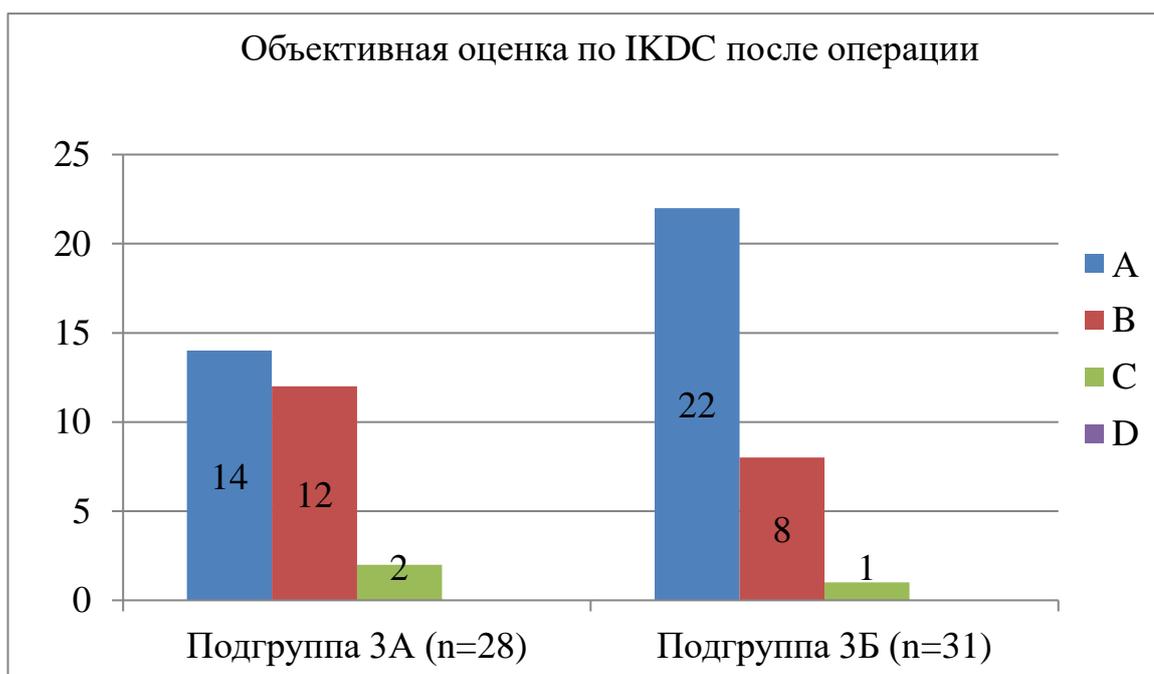


Рисунок 88 – Распределение пациентов подгрупп 3А и 3Б по итогам объективной оценки по шкале IKDC после операции

Статистически значимых различий между группами не было ($p=0,251$). Вероятно, это было обусловлено тем, что итоговая оценка определялась по параметру с наименьшей оценкой и зависела не только от показателей тестов объективной нестабильности. Оценку в основном снижали в связи с болезненностью при стоянии на коленях.

По уровню выраженности проблем донорского места достоверных статистических различий между подгруппами выявлено не было. Около 30% пациентов в обеих подгруппах предъявляли жалобы на легкий дискомфорт при пальпации донорской зоны и при стоянии на коленях на твердой поверхности.

Полученные сведения, свидетельствующие об отсутствии у пациентов подгруппы 3Б дополнительного значимого вредного воздействия от забора костного фрагмента, по-видимому, обусловлены тем, что в ходе операции пациентам всегда выполняли костно-пластическое заполнение донорского дефекта.

5.4.3. Результаты интраоперационных измерений длины трансплантата, туннелей и межтуннельной дистанции у пациентов подгрупп 3А и 3Б

У всех пациентов проспективной части исследования проводили измерение минимальной длины связки надколенника по данным МРТ-исследований, которые были выполнены до операции. В последующем во время операции измеряли величины длины костных блоков и связочной части трансплантата, а также – величины длины костных туннелей и внутрисуставной межтуннельной дистанции. Методики измерений представлены в разделах 2.3.3.; 2.5.2.1. и на рисунках 32, 33 и 41.

Сравнение измеренной по МРТ минимальной длины связки надколенника с данными интраоперационных замеров показало, что длина связочной части трансплантата у каждого пациента была в среднем больше на 1,7 мм ($p=0,011$). Так, по МРТ длина связки надколенника составляла в среднем 44 мм ($M=44,13$; $SD=4,22$), а длина связочной части трансплантата – 45,8 мм ($M=45,85$; $SD=4,87$). Выявленное относительно небольшое различие длины, по-видимому, было связано с тем, что трансплантат измеряли в состоянии натяжения. В дальнейших расчетах мы использовали данные интраоперационных замеров.

Измеренные в ходе операции величины длины костных блоков и связочной части трансплантата, а также – величины длины костных туннелей и внутрисуставной межтуннельной дистанции представлены в таблице 16. Различия в данных интраоперационной морфометрии в подгруппах были незначимыми. У большинства пациентов длина связочной части трансплантата была больше внутрисуставной межтуннельной дистанции, что было причиной формирования незаполненного костью проксимального участка большеберцового туннеля, величина которого в среднем составила 19,81 мм ($SD=4,75$) в подгруппе 3А и 19,53 мм ($SD=6,05$) в подгруппе 3Б ($p=0,971$).

Таблица 16 – Результаты интраоперационных измерений длины трансплантата, туннелей и межтуннельной дистанции у пациентов подгрупп 3А и 3Б

Длина, мм	Пациенты подгруппы 3А	Пациенты подгруппы 3Б	Р
Костного блока надколенника	M=20,86 (SD=1,42)	M=21,50 (SD=1,98)	0,794
Связочной части трансплантата	M=45,92 (SD=5,03)	M=45,75 (SD=4,73)	0,980
Большеберцового костного блока	M=30,75 (SD=3,64)	M=33,29 (SD=3,79)	0,630
Бедренного туннеля	M=36,81 (SD=5,74)	M=36,55 (SD=5,41)	0,974
Межтуннельной дистанции	M=26,11 (SD=3,79)	M=26,91 (SD=4,59)	0,893
Большеберцового туннеля	M=43,35 (SD=4,80)	M=45,04 (SD 5,92)	0,825
Связочной части большеберцового туннеля*	M=19,81 (SD=4,75)	M=19,53 (SD=6,05)	0,971
Незаполненной части бедренного туннеля**	M=14,35 (SD=7,15)	M=15,03 (SD=6,08)	0,942

*Разность между связочной частью трансплантата и межтуннельной дистанцией.

**Разность между длиной бедренного туннеля и костного блока надколенника.

Полученные сведения послужили основанием к применению предложенной модификации операции, предусматривающей заполнение связочной части большеберцового туннеля необходимым и вычисленным по длине костным фрагментом.

5.4.4. Оценка послеоперационных изменений апертур туннелей и взаимоотношений трансплантата и туннелей у пациентов подгрупп 3А1 и 3Б1

Для изучения особенностей взаимоотношений трансплантата и туннелей из каждой подгруппы 3А и 3Б было выделено по 15 пациентов в подгруппы 3А1 и 3Б1. Значимых различий между подгруппами до операции не выявлено (см. таблицу 3). Пациентам выполняли КТ-исследование на следующий день и через 6 месяцев, МРТ-исследование – через 12 месяцев после операции. Пациентам подгруппы 3А1 выполняли модифицированную технику реконструкции ПКС без костной пластики проксимальной части большеберцового туннеля, а пациентам подгруппы 3Б1 – с вклиниванием костного фрагмента на уровне апертуры

большеберцового туннеля. Хирургическая техника детально изложена в разделе 2.3.3. Методики измерений описаны в разделах 2.5.2.1, 2.5.2.3 и 2.5.2.4, и представлены на рисунках 41, 43 и 44.

По данным послеоперационных КТ дистанция от апертуры бедренного туннеля до костного блока трансплантата в среднем составила 1,59 мм ($SD=1,24$). По данным КТ в динамике (Таблицы 17 и 18) значимых изменений в позиции и размерах апертуры бедренного туннеля, а также изменений глубины залегания костного блока в туннеле не выявлено. Через 6 месяцев после операции у всех пациентов наблюдали сращение костного блока трансплантата в месте первичной фиксации. Края туннеля, с которыми блок не соприкасался, становились склерозированными. При измерениях в динамике наблюдали небольшое смещение передней и нижней стенок туннеля, т.е. мест, испытывавших переменное давление мягкотканной части трансплантата. Величина смещения в среднем не превышала 1,6 мм кпереди и 1,4 мм книзу. Различий между группами не выявлено.

Таблица 17 – Изменения положения стенок апертуры бедренного туннеля за 6 месяцев после пластики ПКС (по КТ)

Разность расстояния от края мыщелка до края апертуры туннеля, мм	Пациенты подгруппы 3А1	Пациенты подгруппы 3Б1	Р
До верхнего, $\Delta a_6 - a_0$	$M=0,15 (SD=0,12)$	$M=0,21 (SD=0,16)$	0,766
До нижнего, $\Delta b_6 - b_0$	$M=0,99 (SD=0,39)$	$M=0,34 (SD=0,25)$	0,172
До заднего, $\Delta c_6 - c_0$	$M=0,09 (SD=0,06)$	$M=0,21 (SD=0,16)$	0,489
До переднего, $\Delta d_6 - d_0$	$M=1,23 (SD=0,35)$	$M=0,63 (SD=0,35)$	0,236

Существенных изменений в положении апертуры большеберцового туннеля через 6 мес. между группами пациентов также не было выявлено. У некоторых пациентов подгруппы 3А1 наблюдали незначительное (и незначимое) смещение задней стенки туннеля кзади (Таблица 18), что могло быть вызвано цикличным, относительно небольшим по силе, давлением трансплантата на заднюю стенку туннеля. Значимых изменений в глубине залегания дистального костного блока в

большеберцовом туннеле не наблюдали, что свидетельствовало о стабильной интерферентной фиксации, достаточной для предупреждения продольной миграции трансплантата при ранних движениях в оперированном суставе (Таблица 19). Через 6 месяцев края апертуры туннеля, содержавшего мягкотканную часть трансплантата, становились равномерно склерозированными.

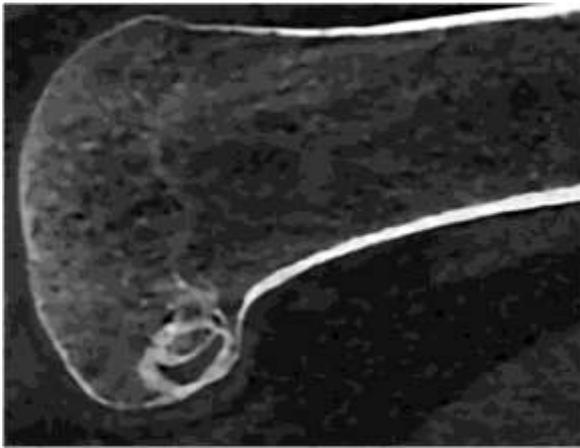
На послеоперационных КТ у пациентов подгруппы 3Б1 дополнительный костный фрагмент находился на уровне внутрисуставного входа в туннель. Дистанция от апертуры туннеля до проксимального конца фрагмента в среднем равнялась -1,30 мм; SD=2,09, через 6 месяцев – -0,61 мм; SD=1,71. Выявленное минимальное выстояние фрагмента над проведенной на КТ референтной линией не означало его протрузии в полость сустава, т.к. уровень медиального межмышцелкового гребня был выше, чем дно плато, кроме того костная поверхность покрыта слоем хряща. Разность дистанции по КТ в динамике оказалась статистически значимой ($p=0,007$), но в абсолютных значениях – не существенной. Костные фрагменты подвергались перестройке и реваскуляризации, становясь немного меньшими по размеру и менее плотными по структуре. В просвете туннеля фрагмент оставался на первоначальном месте и срастался с прилежащей стенкой. Стенки большеберцового туннеля, к которым не прилежали костные блоки, также подвергались склерозу (Рисунки 89 и 90).

Таблица 18 – Изменения положения стенок апертуры большеберцового туннеля за 6 месяцев после пластики ПКС (по КТ)

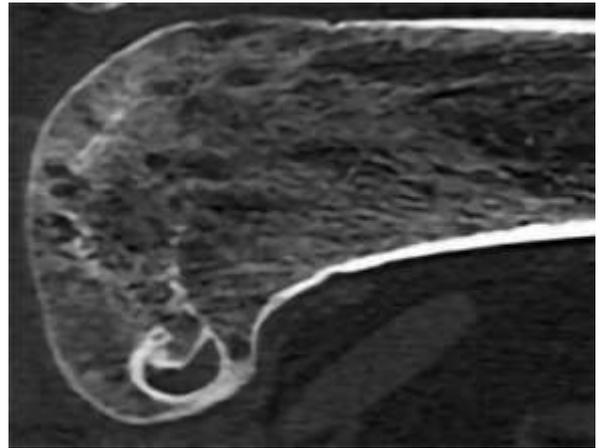
Разность расстояния от края мыщелка до края апертуры туннеля, мм	Пациенты подгруппы 3А1	Пациенты подгруппы 3Б1	Р
До медиального, Δe_6-e_0	M=0,21 (SD=0,16)	M=0,33 (SD=0,16)	0,600
До латерального, Δf_6-f_0	M=0,51 (SD=0,38)	M=0,38 (SD=0,32)	0,796
До переднего, Δg_6-g_0	M=0,43 (SD=0,37)	M=0,41 (SD=0,37)	0,970
До заднего, Δh_6-h_0	M=1,21 (SD=0,51)	M=0,46 (SD=0,34)	0,232

Таблица 19 – Изменение дистанции от апертуры туннеля до костного блока трансплантата за 6 месяцев (по КТ-реконструкции продольной оси туннелей)

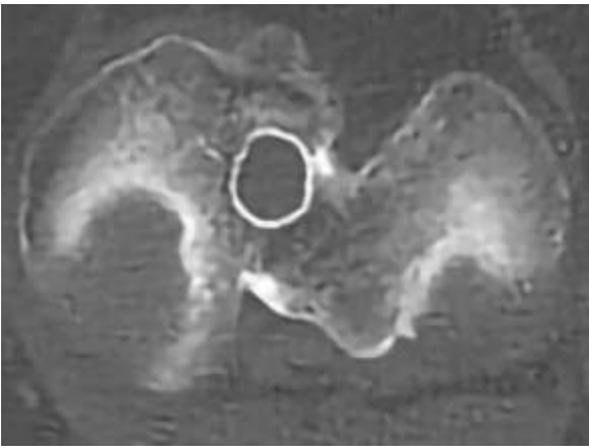
Разность дистанции, мм	Пациенты подгруппы 3А1	Пациенты подгруппы 3Б1	Р
До костного блока в бедренном туннеле, Δx_6-x_0	M=0,08 (SD=0,15)	M=0,09 (SD=0,19)	0,967
До костного блока в большеберцовом туннеле, Δy_6-y_0	M=0,23 (SD=0,77)	M=0,29 (SD=0,46)	0,947



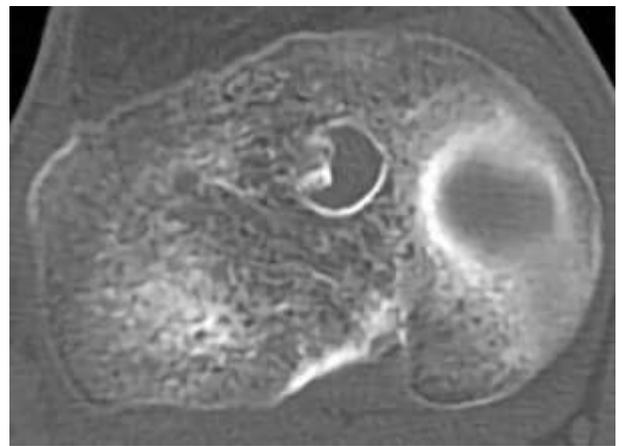
А



Б



В



Г

Рисунок 89 – КТ-изображение апертуры туннелей через 6 месяцев после пластики ПКС: А, В – вид апертуры бедренного туннеля у пациента подгруппы 3А1; Б, Г – апертура большеберцового туннеля у пациента подгруппы 3Б1, костные блоки трансплантата и фрагмент срослись в туннеле, несоприкасающиеся с костью стенки туннеля склерозированы

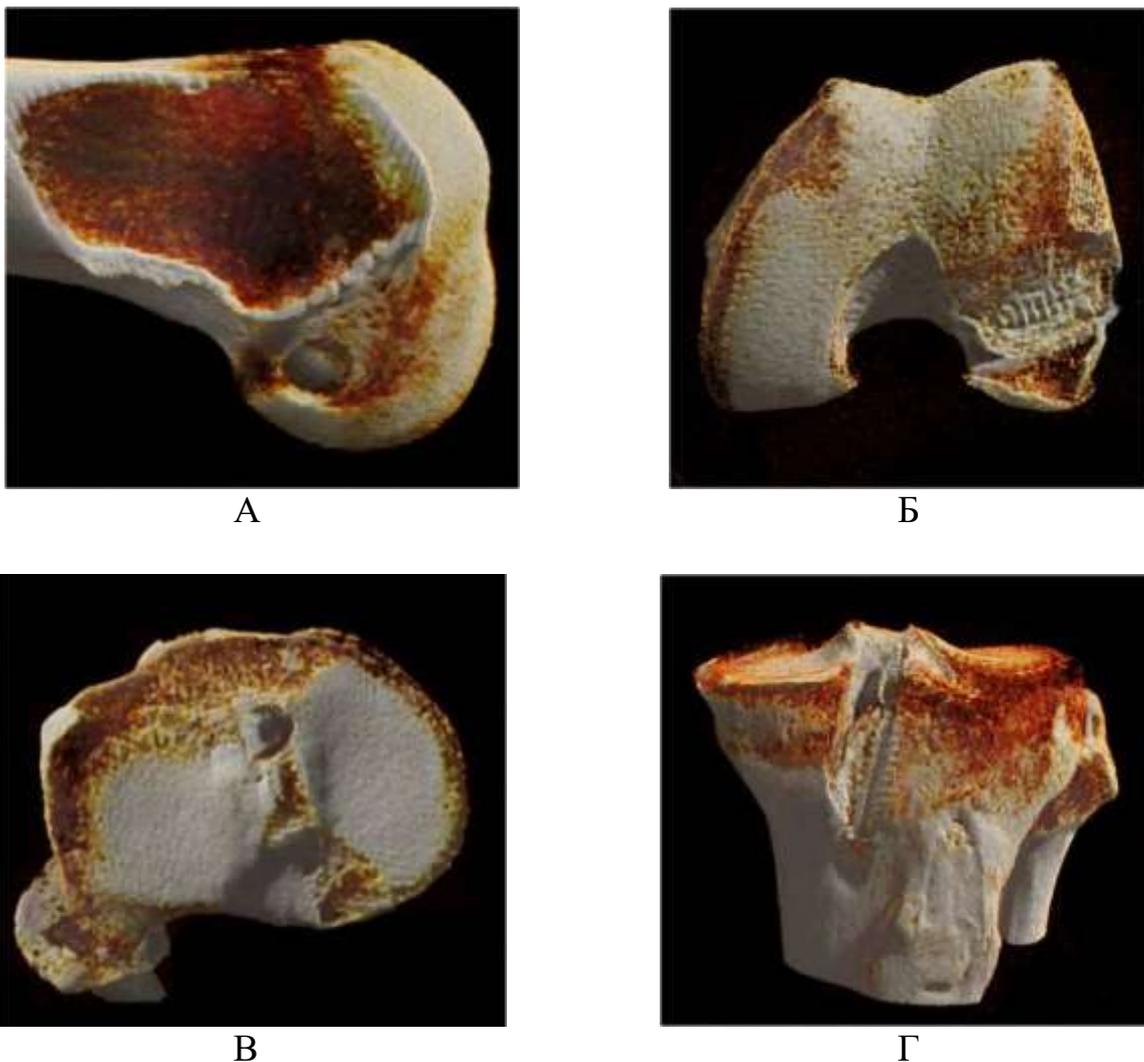


Рисунок 90 – Трехмерная КТ-реконструкция туннелей у пациента подгруппы 3Б1 через 6 месяцев после операции:

А, Б – виден сросшийся костный блок трансплантата на уровне входа в бедренный туннель; В, Г – дополнительный костный фрагмент, сросшийся с латеральной стенкой туннеля, вход в большеберцовый туннель имеет С-образную анатомическую форму, закрытый донорский дефект бугристости после костной пластики

На МР-томограммах, выполненных через 12 месяцев после пластики ПКС, у всех пациентов прослеживался неповрежденный, продольно ориентированный трансплантат. Интенсивность сигнала от него была близка к сигналу от задней крестообразной связки. Поскольку позиция туннелей в обеих группах пациентов была практически одинаковой, то значимых различий в оси созревающего, умеренно гипертрофированного, покрытого синовией, трансплантата выявить не удалось. Тем не менее, при изучении изображений во фронтальной и аксиальной

плоскости в подгруппе 3А1 можно было видеть щелевидную зону повышенного сигнала между полоской трансплантата и медиальной стенкой большеберцового туннеля, что свидетельствовало о смещении оси трансплантата к латеральной стенке. У пациентов подгруппы 3Б1 подобная щель отсутствовала. Апертура туннеля, содержащая трансплантат, принимала С-образную форму в проекции прямого прикрепления ПКС (Рисунок 91).

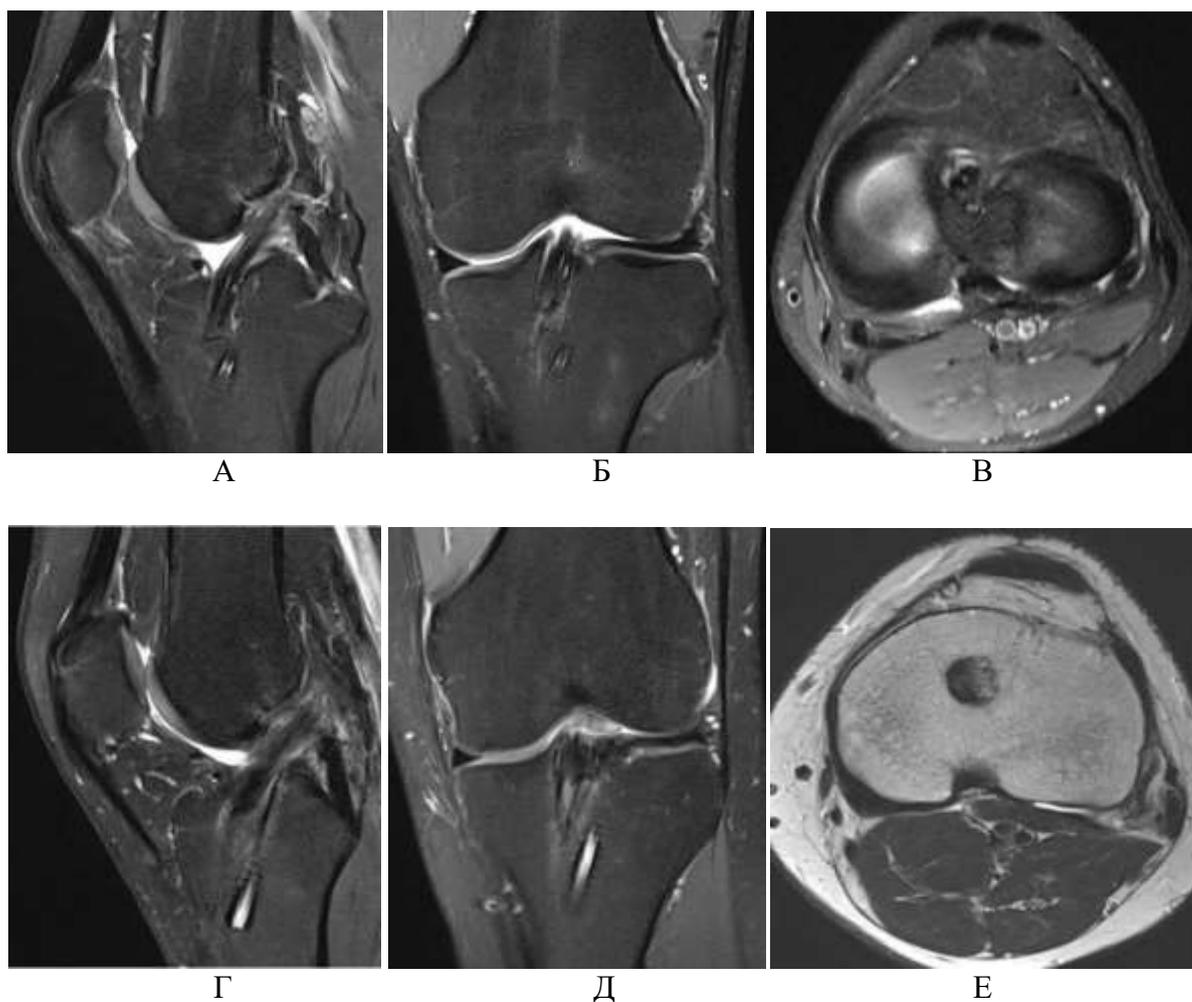


Рисунок 91 – МРТ-изображение через 12 месяцев после операции у пациентов подгрупп 3А1 (А, Б, В) и 3Б1 (Г, Д, Е):

А, Г – продольная ось трансплантата; Б, Д – щель или ее отсутствие между медиальной стенкой большеберцового туннеля и трансплантатом соответственно; В – трансплантат смещен к заднелатеральной стенке; Е – трансплантат прилежит к медиальной стенке туннеля

Таким образом, установка костно-связочного соединения трансплантата из связки надколенника на уровне внутрисуставного входа в бедренный туннель, его анатомическая ориентация в суставе, вклинение необходимого по величине

кортикального костного фрагмента между латеральным краем апертуры большеберцового туннеля и полоской трансплантата, интерферентная фиксация позволяли установить трансплантат и создать точки опоры непосредственно в местах прикрепления ПКС.

5.4.5. Оценка послеоперационных изменений в связке надколенника в подгруппах 1-СН и 3-СН

Для изучения особенностей послеоперационных изменений в донорской зоне после двух вариантов забора трансплантата и закрытия дефектов было проведено ретроспективно-проспективное исследование. В ретроспективную подгруппу вошли 30 пациентов из транстибиальной группы, которым в различные сроки после операции и по разным поводам (рецидивы, контроль, новые жалобы) выполняли МРТ, связочные и костные дефекты не устраняли. Данная выборка пациентов обозначена как подгруппа 1-СН. В проспективную подгруппу вошли все пациенты подгрупп 3А1 и 3Б1 (n=30), они составили подгруппу 3-СН. В данной выборке пациентов была возможность сравнительной оценки МРТ-изображений связки надколенника до операции и через 12 месяцев после, а для оценки костных дефектов – КТ-изображений на следующий день и через 6 месяцев после операции. Особенности хирургической техники забора трансплантата между подгруппами изложены в разделах 2.3.1. и 2.3.2. Методики измерений приведены в разделе 2.5.3.

Сравнительный анализ послеоперационных рентгенограмм между подгруппами показал, что после операции, несмотря на различия в технике забора и закрытия дефектов, рентгенологический индекс положения надколенника Insall-Salvati находился в пределах физиологической нормы. Средние значения индекса в подгруппе 1-СН составили 1,11 (SD=0,13), в подгруппе 3-СН – 1,12 (SD=0,15), значимых различий между подгруппами не было (p=0,955).

У всех пациентов ретроспективной подгруппы наблюдали не заполненные костные дефекты надколенника и бугристости, которые прослеживали вплоть до предельного срока наблюдения (Рисунок 92). В местах, где пучки связки сшивали, обнаруживали однородную связку достаточной ширины и толщины. На участках, где связку не сшивали, у всех пациентов наблюдали стойкие дефекты, заполненные рубцовой тканью, похожей по плотности и структуре на прилежащую жировую ткань.

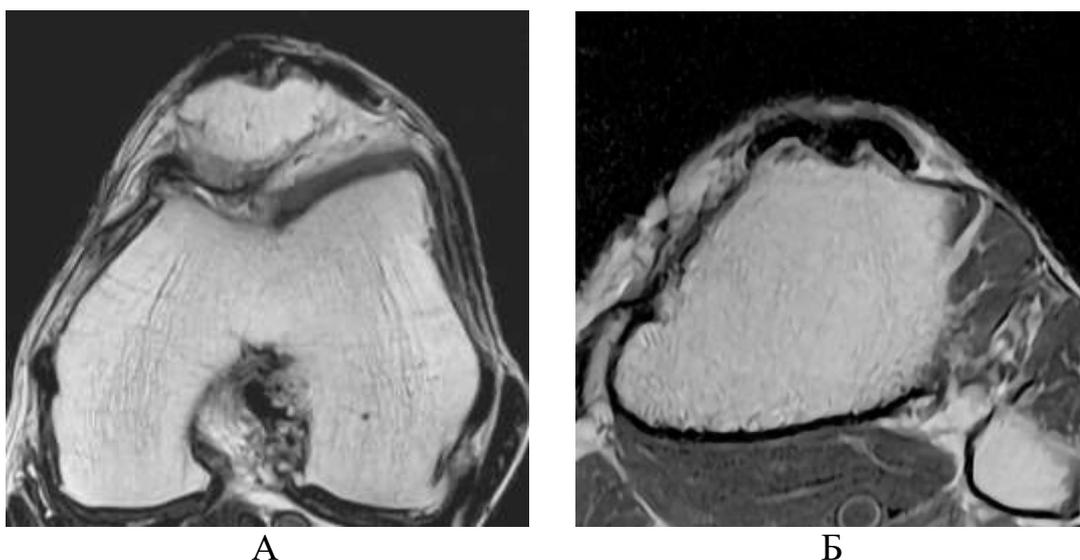


Рисунок 92 – Незаполненные костные дефекты донорской зоны у пациента подгруппы 1-СН через 13 лет после забора трансплантата:

А – дефект надколенника; Б – дефект бугристости большеберцовой кости

У одной пациентки МРТ была выполнена дважды – через 3 и через 5 лет после операции, ширина связочного дефекта не уменьшилась (Рисунок 93). Никаких признаков замещения дефектов тканью, напоминающей связку, не наблюдалось и через 13 лет после операции (Рисунок 94).

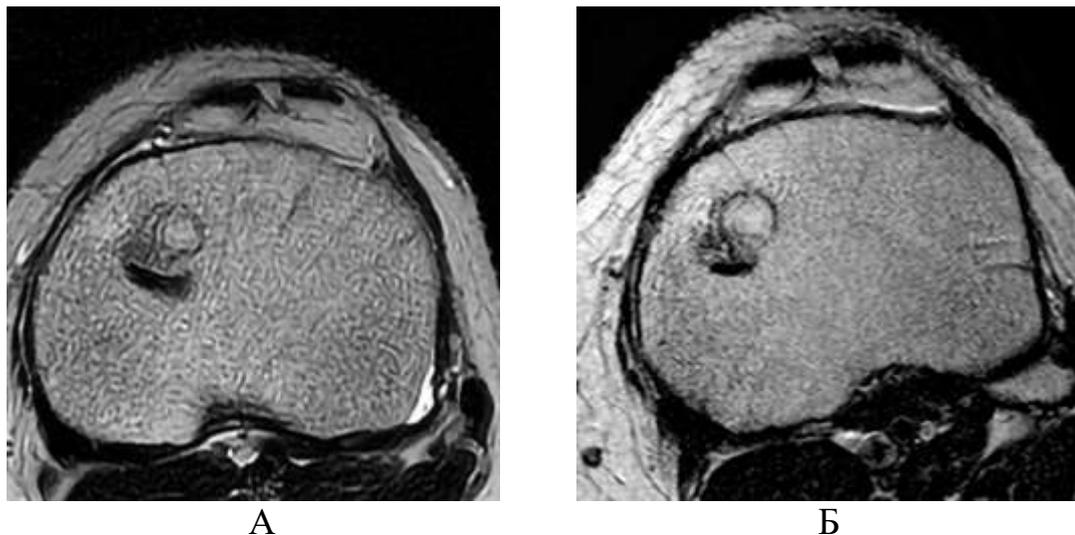


Рисунок 93 – Вид связочного дефекта на МРТ у пациента подгруппы 1-СН:
А – через 3 года; Б – через 5 лет после забора трансплантата

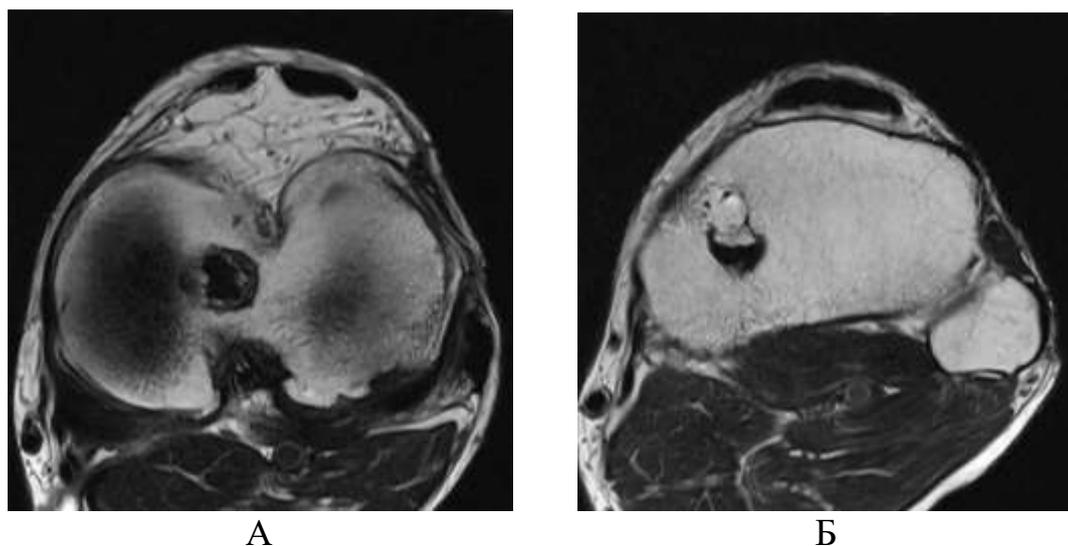


Рисунок 94 – МРТ-изображения пациента подгруппы 1-СН через 13 лет после забора трансплантата:

А – несшитый участок связки надколенника заполнен рубцовой тканью, похожей по плотности и структуре на прилежащую жировую ткань; Б – сшитый участок связки выглядит однородным, достаточно широким и немного утолщенным

Проведенный у пациентов подгруппы 3-СН (проспективной) анализ послеоперационных изменений размеров связки надколенника представлен в таблице 20.

Через 12 месяцев укорочение связки надколенника в среднем составило 3,1% ($M=-1,4$ мм, $SD=2,4$ мм, $p=0,003$), ширина связки в верхней трети и в

середине практически восстанавливалась до первоначального размера ($M=0,3$ мм, $SD=2,4$ мм, $p=0,502$ и $M=0,5$ мм, $SD=2,1$ мм, $p=0,205$ соответственно), а в нижней трети она была в среднем на 2,6% больше ($M=0,7$ мм, $SD=1,7$ мм, $p=0,034$). Толщина связки возрастала в среднем на 55% ($M=2,4$ мм, $SD=1,6$ мм, $p=0,001$).

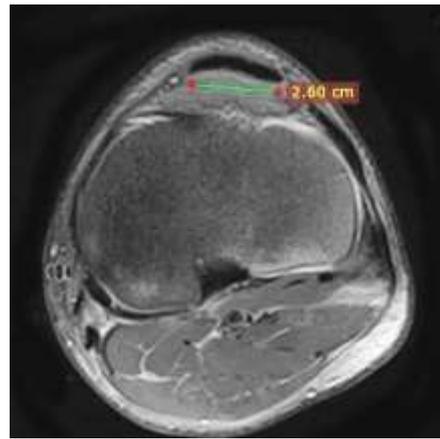
Таблица 20 – Изменения размеров связки надколенника через 12 месяцев после забора трансплантата у пациентов проспективной подгруппы 3-СН ($n=30$)

Параметры размеров связки надколенника	Значение параметра до операции (L_0)	Значение параметра через 12 месяцев после операции (L_{12})	Разница параметров ($L_{12}-L_0$)	Статистическая значимость (p – уровень)
Длина, мм	$M=44,5(SD=4,8)$	$M=43,1(SD=4,7)$	$M=-1,4(SD=2,4)$	0,003 ($<0,05$)
Ширина в верхней трети, мм	$M=30,7(SD=3,6)$	$M=31,0(SD=3,3)$	$M=0,3(SD=2,4)$	0,502 ($>0,05$)
Ширина в середине связки, мм	$M=28,9(SD=3,6)$	$M=29,4(SD=3,5)$	$M=0,5(SD=2,1)$	0,205 ($>0,05$)
Ширина в нижней трети, мм	$M=26,8(SD=3,5)$	$M=27,5(SD=3,7)$	$M=0,7(SD=1,7)$	0,034 ($<0,05$)
Толщина в середине связки, мм	$M=4,4(SD=0,6)$	$M=6,8(SD=1,7)$	$M=2,4(SD=1,6)$	0,001 ($<0,05$)

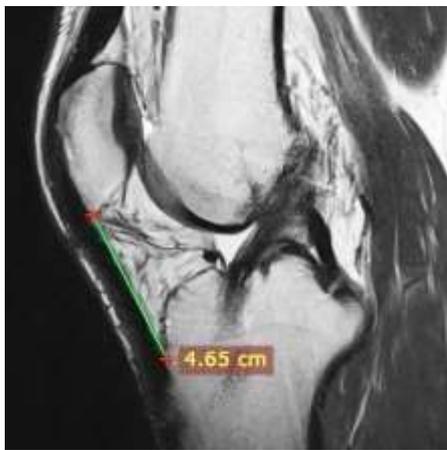
У всех пациентов подгруппы 3-СН, которым был выполнен забор трансплантата с последующим полнослойным сшиванием дефекта, связка после операции представляла собой единую структуру. Линия шва либо не была заметной, либо едва прослеживалась. Никаких сухожильных дефектов или деформаций, которые могли бы появляться вследствие расхождения швов, не наблюдали. Ширина связки практически полностью восстанавливалась (Рисунок 95). Заметным изменением было лишь умеренное утолщение связки, прослеживаемое на всех аксиальных срезах (Рисунок 96).



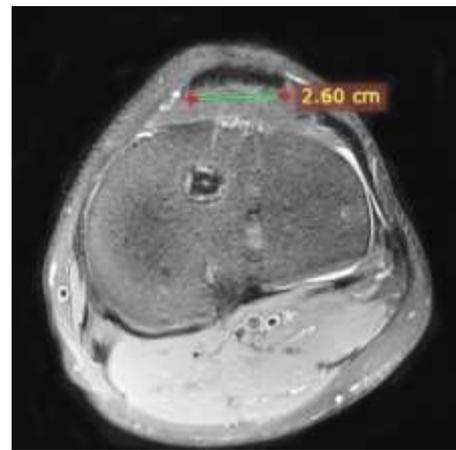
А



Б



В



Г

Рисунок 95 – Вид связки надколенника на МРТ у пациента подгруппы 3-СН:
А, Б – до забора трансплантата; В, Г – через 12 месяцев после операции



А



Б

Рисунок 96 – Толщина связки надколенника на МРТ у пациента подгруппы 3-СН:
А – до забора трансплантата; Б – через 12 месяцев после операции

У 2-х пациентов, которым швы накладывали с интервалом более 2 см и не через все слои, наблюдали участки деформированной и не полностью зажившей связки (Рисунок 97).

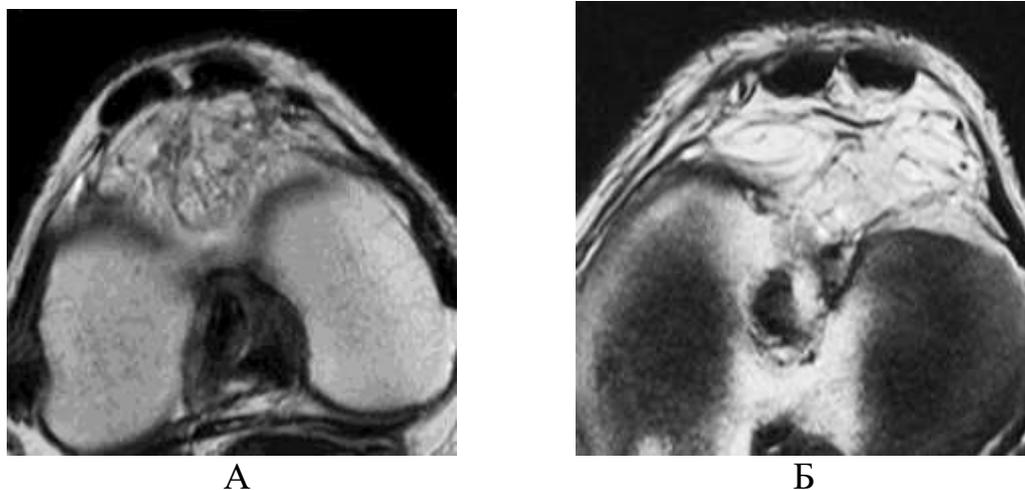
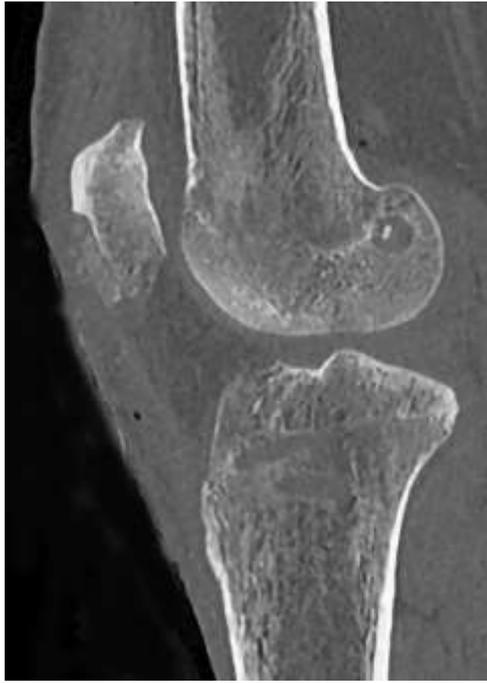


Рисунок 97 – Вид деформированной связки надколенника у пациента подгруппы 3-СН после забора трансплантата и неполноценного шва:

А – края пучков сближены, но не сшиты; Б – сшит только поверхностный слой связки и перитенон

При оценке КТ на следующий день после операции наблюдали, что костные дефекты после забора связки были практически полностью заполнены губчатой костной тканью, причем весь пластический материал находился в зонах дефектов (Рисунок 98). Через 6 месяцев во всех наблюдениях определяли, что костные трансплантаты прирастали к стенкам дефектов и по плотности были практически неотличимы от окружающей кости, поверхность их становилась более гладкой. Никаких признаков образования гетеротопических оссификатов не наблюдали (Рисунок 99).



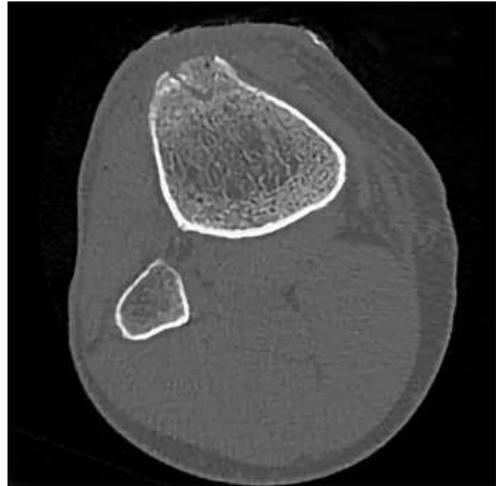
А



Б



В



Г

Рисунок 98 – Вид заполненных донорских костных дефектов у пациента подгруппы 3-СН на послеоперационных КТ-изображениях:
А, В – заполненный аутокостью дефект надколенника; Б, Г – бугристости большеберцовой кости



Рисунок 99 – Трехмерная КТ-реконструкция коленного сустава у пациента подгруппы 3-СН: видны зоны заполненных донорских дефектов надколенника и бугристости большеберцовой кости через 6 месяцев после операции

Таким образом, выявленные особенности послеоперационных изменений в связке надколенника в условиях ранней мобилизации свидетельствуют, что для восстановления структурной целостности и размеров связки необходимо создать надежный полнослойный контакт пучков связки, заполнить костные дефекты надколенника и бугристости губчатой аутокостью и тщательно укрыть зону заживления перитеноном. В таких условиях через 6 месяцев наблюдали костное сращение и закрытие дефектов надколенника и бугристости, а через 12 месяцев связка надколенника становилась целостной однородной структурой. Ее форма и размеры приближались к дооперационным показателям: ширина практически восстанавливалась, длина уменьшалась незначительно и лишь толщина умеренно увеличивалась.

Эффективное заживление донорского места достигалось при соблюдении следующих технических приемов: продольный разрез кожи вне костных выступов; полнослойное сшивание пучков связки после забора трансплантата, мобилизация и последующее сшивание листков перитенона; пластика дефектов надколенника и бугристости губчатой аутокостью; зашивание раны резорбируемой нитью.

5.5. Резюме

Полученные на первых двух этапах исследования сведения о результатах и особенностях применения известных техник реконструкции ПКС позволили определить их существенные недостатки и послужили основанием для разработки модифицированной техники с целью оптимизации анатомической позиции трансплантата и более полноценного восстановления донорской зоны связки надколенника.

Основными элементами улучшения техники были приняты следующие.

1. Выравнивание и установка проксимального костного блока на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля.
2. Разворот трансплантата из связки надколенника в соответствии с ориентацией нативной ПКС.
3. Создание плотного контакта связочной части трансплантата с медиальной стенкой большеберцового туннеля на уровне места прямого прикрепления ПКС за счет вклинения кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости.
4. Снижение последствий забора трансплантата из связки надколенника за счет полноценного ушивания связки и закрытия костного дефекта губчатой аутокостью.

Объединяющей особенностью предложенных двух вариантов модифицированного способа являлась установка костно-связочного соединения проксимального конца трансплантата на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля. Отличительной чертой второго варианта техники

реконструкции было размещение трансплантата, и создание для него точки опоры непосредственно в месте прикрепления прямых волокон ПКС путем внедрения костного фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом.

Для повышения уровня технической оснащенности хирургов был разработан и изготовлен оригинальный инструмент (направитель) для создания туннелей при реконструкции ПКС, отличающийся точностью и безопасностью проведения стандартных спиц, применяемых для чрескостного остеосинтеза. Он прост в изготовлении и практическом применении, может эффективно использоваться хирургами в качестве замещения зарубежных аналогов.

Проведенный в ходе третьего этапа исследования сравнительный проспективный анализ данных видеопроколов операций и послеоперационных рентгенограмм у 80 пациентов, разделенных на две равные и сравнимые подгруппы 3А и 3Б, показал, что практически у всех пациентов удавалось сформировать туннели в индивидуально выбранных анатомических местах прикрепления ПКС.

Выполненный на основании изучения послеоперационных рентгенограмм анализ данных разности между углом наклона трансплантата и углом наклона оси переднемедиального, наиболее изометричного, пучка ПКС, показал, что максимально близкая к анатомической позиция трансплантата ПКС была получена у пациентов 3Б подгруппы, что подтвердило эффективность создания точки опоры на уровне апертуры большеберцового туннеля. Так, у пациентов подгруппы 3А ось трансплантата была достоверно ближе к вертикальной, отклонение от оси ПКС составило $M=7,1^{\circ}$; $SD=2,8$ в прямой проекции и $M=6,8^{\circ}$; $SD=2,5$ – в боковой. В подгруппе 3Б угол наклона трансплантата практически соответствовал углу наклона нативной ПКС, различия показателей были минимальными как в прямой проекции ($M=1,1^{\circ}$; $SD=0,6$), так и в боковой ($M=1,4^{\circ}$; $SD=0,7$).

Проведенный сравнительный анализ ближайших клинических результатов не выявил существенных различий в субъективной и итоговой объективной

оценке функционального состояния. Так, субъективная оценка у пациентов подгруппы 3А по шкале IKDC составила 91,3 (SD=8,3), по шкале Lysholm – 90,1 (SD=8,4), у пациентов подгруппы 3Б – 91,5 (SD=8,5) и 92,1 (SD=7,8) соответственно; распределение пациентов подгруппы 3А (n=28) в соответствии с объективной оценкой по шкале IKDC – А-14, В-12, С-2; пациентов подгруппы 3Б (n=31) – А-22, В-8, С-1 (p=0,251). Достоверные различия были выявлены при оценке уровня объективных тестов несостоятельности ПКС. Так, в подгруппе 3А положительный тест ПВЯ 1-й степени наблюдали у 12 (42,8%) пациентов, 2-й степени – у 2 (7,2%), в подгруппе 3Б – у 5 (16,1%) и у 1 (3,2%) пациентов соответственно (p=0,046). У пациентов подгруппы 3А положительный скользящий «pivot-shift» тест выявляли в 10 (35,7%) случаях, явный – в 2 (7,2%) случаях. В подгруппе 3Б регистрировали скользящий «pivot-shift» тест у 4 (12,9%) пациентов, у остальных он был отрицательным (p=0,027).

Проведенное углубленное обследование у пациентов подгрупп 3А1 и 3Б1 (по 15 пациентов) показало однородные изменения в состоянии бедренного туннеля и позволило определить следующее. 1. Дистанция от апертуры бедренного туннеля до костного блока трансплантата в среднем составила 1,59 мм (SD=1,24). 2. Значимых изменений за 6 месяцев (по КТ в динамике) в позиции и размерах апертуры бедренного туннеля, а также изменений глубины залегания костного блока в туннеле не было. 3. У всех пациентов происходило сращение костного блока трансплантата в месте первичной фиксации. 4. Края туннеля, с которыми блок не соприкасался, становились склерозированными. 5. При измерениях в динамике наблюдали небольшое смещение передней и нижней стенок туннеля, т.е. мест, испытывавших переменное давление мягкотканной части трансплантата. Величина смещения в среднем составила 1,23 мм (SD=0,35) кпереди и 0,99 мм (SD=0,39) книзу.

Оценка большеберцового туннеля у пациентов обеих подгрупп показала: 1) существенных изменений в положении апертуры туннеля не происходило; 2) положение дистального костного блока в туннеле оставалось неизменным, что свидетельствовало о стабильности интерферентной фиксации; 3) края апертуры

туннеля, содержавшего мягкотканную часть трансплантата, становились склерозированными.

У пациентов подгруппы 3Б1, которым в туннель внедряли дополнительный костный фрагмент, установлено следующее: 1) позиция установленного костного фрагмента практически соответствовала входу в туннель, дистанция от апертуры до проксимального конца фрагмента была незначительной и составляла в среднем $-1,30$ мм; $SD=2,09$; 2) в течение 6 месяцев фрагменты подвергались перестройке и реваскуляризации, становясь немного меньшими по размеру и менее плотными по структуре, оставались на первоначальном месте и срастались с прилежащей стенкой туннеля; 3) апертура большеберцового туннеля имела С-образную, похожую на анатомическую, форму.

На МР-томограммах, выполненных через 12 месяцев, у всех пациентов прослеживался неповрежденный, продольно ориентированный трансплантат. В подгруппе 3А1 наблюдали щелевидную зону повышенного сигнала между полоской трансплантата и медиальной стенкой большеберцового туннеля, что свидетельствовало о смещении оси трансплантата к латеральной стенке. У пациентов подгруппы 3Б1 подобная щель отсутствовала. Трансплантат прилежал к медиальной стенке большеберцового туннеля.

Проведенное ретроспективно-проспективное сравнительное исследование состояния связки надколенника после двух вариантов забора трансплантата в одинаковых условиях ранней мобилизации позволило установить, что рентгенологический индекс положения надколенника после операции соответствовал физиологической норме и не отличался между группами ($M_{1-CH}=1,11$, $SD=0,13$ и $M_{3-CH}=1,12$, $SD=0,15$, $p=0,955$). Проведенный у пациентов проспективной группы анализ размеров связки надколенника перед операцией и через 12 месяцев после забора трансплантата, полнослойного сшивания связки надколенника и пластики дефектов губчатой аутокостью показал, что длина связки становилась меньше на 3,1% ($M=-1,4$ мм, $SD=2,4$, $p=0,003$); ширина связки в верхней трети и в середине незначительно увеличивалась ($M=0,3$ мм, $SD=2,4$, $p=0,502$ и $M=0,5$ мм, $SD=2,1$, $p=0,205$), а в нижней трети она становилась больше

на 2,7% ($M=0,7$ мм, $SD=1,7$, $p=0,034$); толщина связки возрастала на 55% ($M=2,4$ мм, $SD=1,6$, $p=0,001$). Через 6 месяцев после операции губчатая кость заполняла дефекты и прирастала к стенкам. Через 12 месяцев по данным МРТ связка становилась целостной, ее форма и размеры приближались к дооперационным показателям.

Таким образом, проведенная проспективная часть исследования позволила получить достоверные сведения о возможности и эффективности размещения трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС, а также восстановления целостности и размеров поврежденной при заборе трансплантата связки надколенника.

Для достижения эффекта восстановления поврежденных структур необходимо следующее:

1. Установка костно-связочного соединения трансплантата из связки надколенника на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля, его анатомическая ориентация в суставе, вклинение вычисленного размера кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральным краем туннеля и трансплантатом, интерферентная фиксация, ранняя послеоперационная мобилизация.

2. Закрытие донорской зоны связки надколенника с помощью полнослойного сшивания пучков связки и перитенона резорбируемыми нитями, заполнение дефектов надколенника и бугристости губчатой аутокостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее диссертационное исследование было предпринято с тем, чтобы определить существенные особенности взаимоотношений костно-связочно-костного аутотрансплантата из средней трети связки надколенника и костных туннелей в условиях применения известных методик реконструкции ПКС и с их учетом обосновать и разработать усовершенствованную методику операции, которая позволила бы повысить уровень анатомо-функционального восстановления пациентов.

Проведенный анализ данных специализированной медицинской научной литературы выявил наличие нерешенных проблем и подтвердил актуальность настоящего исследования.

1. Современные научно-практические исследования, посвященные строению и биомеханике ПКС, особенностям ее повреждений и методам хирургического лечения, показали, что для полноценного восстановления поврежденной связки необходимым условием является реализация анатомической концепции реконструкции ПКС.

2. К сожалению, до настоящего времени нет согласия в выборе наиболее эффективных методик анатомо-функционального восстановления коленного сустава после повреждения ПКС.

3. Результаты известных способов реконструкции ПКС показывают, что размещение сухожильных трансплантатов даже в анатомически выполненных туннелях, не позволяет добиться полноценного восстановления у всех пациентов. Так, почти половина из них в последующем испытывает, пусть и слабо выраженные, симптомы остаточной нестабильности, не позволяющие им вернуться к прежнему уровню физической активности.

4. Многие хирурги отдают предпочтение трансплантату из связки надколенника для реконструкции ПКС у пациентов с высокими функциональными требованиями, однако результаты его применения еще далеки

от совершенства, кроме того сопровождаются относительно высокой частотой болезненности в донорской зоне.

5. Неоптимальные результаты операций могут быть обусловлены несоответствием между трансплантатом из связки надколенника и туннелями, которое нередко оказывало неблагоприятное воздействие на состояние трансплантата, а также неблагоприятными изменениями в связке надколенника, возникающими после забора трансплантата. В литературе еще нет консенсуса относительно наиболее рациональных способов решения данных проблем.

6. Кроме того, известно, что сухожильный трансплантат при натяжении даже в правильно расположенных туннелях может принимать неанатомическое положение, однако приемлемых решений данной проблемы в литературе еще не найдено. Это послужило основанием для планирования и проведения настоящего исследования.

В соответствии с поставленной целью и задачами было выполнено диссертационное исследование, в ходе которого был проведен ретроспективный анализ известных техник реконструкции ПКС и проспективный анализ применения двух вариантов модифицированной техники анатомической реконструкции ПКС с использованием костно-связочно-костного трансплантата из связки надколенника. У пациентов всех исследуемых групп программа послеоперационной реабилитации была практически одинаковой и предусматривала кратковременную (до 4–5 дней) иммобилизацию выпрямленной нижней конечности в съемном тугоре, мануальную мобилизацию надколенника, дозированное восстановление подвижности коленного сустава и ходьбы, достижение полной опорной нагрузки в течение 4–6 недель.

Исследование было построено в 3 этапа. На первом этапе ретроспективно были изучены отдаленные анатомо-функциональные результаты транстибиальной реконструкции ПКС у 60 пациентов. Проведенный анализ показал следующее. У 4 (6,7%) пациентов в послеоперационном периоде наблюдали рецидив нестабильности вследствие разрыва трансплантата, у 1 (1,7%) пациента – артрофиброз, для устранения которого был выполнен артроскопический артролиз.

Анализ послеоперационных рентгенограмм и данных артроскопических видеопротоколов операций позволил выявить особенности позиции туннелей, сформированных с помощью транстибиальной техники. Трансплантат, размещенный таким способом, обычно соединял заднюю треть большеберцового прикрепления ПКС с проксимальным, наиболее изометричным участком анатомической или частично анатомической зоны на бедре. В результате новая связка приобретала вертикальную, отличную от оси ПКС позицию, что могло быть одной из причин остаточной нестабильности и ограничения амплитуды движения у значительного числа пациентов. При размещении большеберцового туннеля в проекции переднемедиального, наиболее изометричного пучка ПКС позиция бедренного туннеля во всех случаях была неанатомической и находилась кпереди от ЛМГ.

В связи с тем, что длина связки надколенника обычно превышала длину ПКС, у всех пациентов исследуемой группы наблюдали незаполненную костным блоком проксимальную часть большеберцового туннеля, длина которой, измеренной на рентгенограммах в прямой проекции, составляла в среднем 13,0 мм ($SD=4,5$). Выявленное несоответствие между относительно узкой связочной частью трансплантата и внутрисуставной незаполненной костным блоком частью цилиндрического большеберцового туннеля могло служить одной из причин сохранения остаточной нестабильности после данного способа реконструкции. Попытки замещения дефекта фрагментами кости, полученными при скусывании выстоящего участка дистального костного блока трансплантата, показали свою несостоятельность более, чем у половины пациентов.

Субъективная оценка функционального состояния коленного сустава у 56 пациентов с сохраненным трансплантатом составила по шкале IKDC в среднем 84,2 ($SD=12,3$) балла, по шкале Lysholm – в среднем 85,4 баллов ($SD=10,3$) из 100 возможных. Среди 15 пациентов, обследованных объективно, у 3 (20%) пациентов итоговая оценка соответствовала категории А, у 5 (33,3%) – категории В. У трети пациентов наблюдали незначительный дефицит разгибания. Сгибание было ограничено у 66,7% пациентов, в том числе у 8 (53,4%) пациентов незначительно

и у 2 (13,3%) умеренно. Скользящий «pivot-shift» тест выявляли у 46,7%, явный – у 33,3% пациентов. Выявленные недостатки трансбибиальной техники реконструкции ПКС послужили основанием для перехода к анатомическому способу операции.

Вторым этапом было выполнено ретроспективное исследование 3–5-летних анатомо-функциональных результатов у 60 пациентов, которым была применена известная двухдоступная анатомическая техника реконструкции ПКС. Проведенный анализ видеопротоколов операций и послеоперационных рентгенограмм у пациентов 2-й ретроспективной группы показал, что использование выбранной техники реконструкции ПКС обеспечивало расположение бедренного туннеля в анатомической позиции у 93,3% пациентов. Большеберцовый туннель располагался в зоне прикрепления переднемедиальных волокон ПКС – у 95% пациентов. Различия в позиции как бедренного, так и большеберцового туннеля между 1-й и 2-й группами пациентов были статистически значимыми ($p < 0,001$).

Характерной особенностью данного способа операции было появление внутрисуставных участков туннелей, незаполненных костными блоками трансплантата, в которых его относительно узкая связочная часть могла подвергаться раскачиванию и трению о стенки апертур туннелей. Измеренное на рентгенограммах в прямой проекции расстояние от апертуры большеберцового туннеля до костно-связочного соединения трансплантата составляло в среднем 3,7 мм ($SD=2,5$), Дистанция от апертуры бедренного туннеля до костно-связочного соединения трансплантата – 5,2 мм ($SD=3,9$). У четверти пациентов связочная часть трансплантата была настолько длинной, что незаполненные внутрисуставные части (≥ 5 мм) туннелей можно было наблюдать одновременно как на бедре, так и на голени.

По данным анкетирования 57 пациентов (за исключением 3-х пациентов с рецидивами) итоговая субъективная оценка по шкале-опроснику Lysholm составила в среднем 90,3 балла ($SD=9,2$), субъективная оценка по шкале-опроснику IKDC – 89,7 ($SD=10,6$). При опросе пациенты в основном были

удовлетворены уровнем функционального состояния своего коленного сустава. Тем не менее, жалобы на слабо выраженные ощущения нестабильности в суставе при физических нагрузках высокого уровня (теннис, горные лыжи) и очень высокого уровня (футбол, баскетбол) предъявляли 25 (43,9%) пациентов.

По данным очного объективного обследования 15 пациентов у 80% пациентов был достигнут нормальный уровень амплитуды движений. Жалобы на рецидивирующие выпоты в суставе при тяжелых физических нагрузках наблюдали у 3 (20%) пациентов, скользящий «pivot-shift» тест регистрировали у 6 (40%) пациентов, явный – у 1 (6,7%).

Таким образом, исследуемая известная техника анатомической реконструкции ПКС позволяла разместить туннели в анатомически обоснованных местах и получить более высокий уровень функционального состояния коленного сустава, чем могла обеспечить транстибиальная техника. Однако выявленное, характерное для данного способа, расположение костно-связочных соединений трансплантата в глубине туннелей, и соответственно – вдали от мест прикрепления нативной ПКС, могло быть одной из причин не оптимального функционирования новой связки и, как следствие, сохранения у почти половины пациентов проявлений, пусть и слабо выраженных, остаточной нестабильности.

Выявленные при реализации первых двух этапов ретроспективного исследования существенные недостатки известных методик реконструкции с использованием костно-связочно-костного трансплантата из связки надколенника послужили основанием для разработки модифицированной техники операции и проведения проспективного анализа результатов ее применения.

На третьем этапе исследования предпринята разработка модифицированной техники, имеющей целью оптимизацию анатомической позиции трансплантата и более полноценное восстановление донорской зоны связки надколенника. Основными элементами улучшения техники были приняты следующие: 1) выравнивание и установка проксимального костного блока на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля; 2) разворот трансплантата из связки надколенника в соответствии с ориентацией нативной ПКС; 3) создание

плотного контакта связочной части трансплантата с медиальной стенкой большеберцового туннеля на уровне места прямого прикрепления ПКС за счет вклинения кортикально-губчатого фрагмента из переднего края большеберцовой кости; 4) снижение последствий забора трансплантата из связки надколенника за счет полноценного сшивания связки и закрытия костного дефекта губчатой аутокостью.

Объединяющей особенностью предложенных двух вариантов модифицированного способа являлась установка костно-связочного соединения проксимального конца трансплантата на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля. Отличительной чертой второго варианта техники реконструкции было размещение трансплантата и создание для него точек опоры непосредственно в месте прикрепления прямых волокон ПКС с одновременным выравниванием проксимального костного блока на бедре и с дополнительным вклинением кортикального костного фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом.

Для повышения уровня технической оснащенности хирургов был разработан и изготовлен оригинальный инструмент (направитель) для создания туннелей при реконструкции ПКС, в т.ч. с применением техники снаружи внутрь, отличающийся точностью и безопасностью проведения спиц, применяемых для чрескостного остеосинтеза. Он прост в изготовлении и практическом применении, может эффективно использоваться хирургами в качестве замещения зарубежных аналогов.

Проведенный в ходе третьего этапа исследования сравнительный проспективный анализ данных видеопроколов операций и послеоперационных рентгенограмм у 80 пациентов, разделенных на две равные и сравнимые подгруппы 3А и 3Б, показал, что практически у всех пациентов удавалось сформировать туннели в индивидуально выбранных анатомических местах прикрепления ПКС.

Выполненный на основании изучения послеоперационных рентгенограмм анализ данных разности между углом наклона трансплантата и углом наклона оси

переднемедиального, наиболее изометричного, пучка ПКС, показал, что максимально близкая к анатомической позиция трансплантата ПКС была получена у пациентов подгруппы 3Б, что подтвердило эффективность создания точки опоры на уровне апертуры большеберцового туннеля. Так, у пациентов подгруппы 3А ось трансплантата была достоверно ближе к вертикали, отклонение от оси ПКС составило $M=7,1^\circ$; $SD=2,8$ в прямой проекции и $M=6,8^\circ$; $SD=2,5$ – в боковой. В подгруппе 3Б угол наклона трансплантата практически соответствовал углу наклона нативной ПКС, различия показателей были минимальными как в прямой проекции ($M=1,1^\circ$; $SD=0,6$), так и в боковой ($M=1,4^\circ$; $SD=0,7$).

Проведенный сравнительный анализ ближайших клинических результатов не выявил существенных различий в субъективной и итоговой объективной оценке функционального состояния. Так, субъективная оценка у пациентов подгруппы 3А по шкале IKDC составила 91,3 ($SD=8,3$), по шкале Lysholm – 90,1 ($SD=8,4$), у пациентов подгруппы 3Б – 91,5 ($SD=8,5$) и 92,1 ($SD=7,8$) соответственно. Распределение пациентов подгруппы 3А ($n=28$) в соответствии с объективной оценкой по шкале IKDC – А-14, В-12, С-2; пациентов подгруппы 3Б ($n=31$) – А-22, В-8, С-1 ($p=0,251$).

Достоверные различия были выявлены при оценке уровня объективных тестов несостоятельности ПКС. Так, в подгруппе 3А положительный тест ПВЯ 1-й степени наблюдали у 12 (42,8%) пациентов, 2-й степени – у 2 (7,2%), в подгруппе 3Б – у 5 (16,1%) и у 1 (3,2%) пациентов соответственно ($p=0,046$). У пациентов подгруппы 3А положительный скользящий «pivot-shift» тест выявляли в 10 (35,7%) случаях, явный – в 2 (7,2%) случаях. В подгруппе 3Б регистрировали скользящий «pivot-shift» тест у 4 (12,9%) пациентов, у остальных он был отрицательным ($p=0,027$).

Проведенное углубленное обследование у пациентов подгрупп 3А1 и 3Б1 (по 15 пациентов) показало однородные изменения в состоянии бедренного туннеля и позволило определить следующее:

1. Дистанция от апертуры бедренного туннеля до костного блока трансплантата в среднем составила 1,59 мм ($SD=1,24$).

2. Значимых изменений за 6 месяцев (по КТ в динамике) в позиции и размерах апертуры бедренного туннеля, а также изменений глубины залегания костного блока в туннеле не было.

3. У всех пациентов происходило сращение костного блока трансплантата в месте первичной фиксации.

4. Края туннеля, с которыми блок не соприкасался, становились склерозированными.

5. При измерениях в динамике наблюдали небольшое смещение передней и нижней стенок туннеля, т.е. мест, испытывавших переменное давление мягкотканной части трансплантата. Величина смещения в среднем составила 1,23 мм ($SD=0,35$) кпереди и 0,99 мм ($SD=0,39$) книзу.

Оценка большеберцового туннеля у пациентов обеих подгрупп показала: 1) существенных изменений в положении апертуры туннеля не происходило; 2) положение дистального костного блока в туннеле оставалось неизменным, что свидетельствовало о стабильности интерферентной фиксации; 3) края апертуры туннеля, содержавшего мягкотканную часть трансплантата, становились склерозированными.

У пациентов подгруппы 3Б1, которым в туннель внедряли дополнительный костный фрагмент, установлено следующее:

1. Позиция установленного костного фрагмента практически соответствовала входу в туннель, дистанция от апертуры до проксимального конца фрагмента была незначительной и составляла в среднем -1,30 мм; $SD=2,09$.

2. В течение 6 месяцев фрагменты подвергались перестройке и реваскуляризации, становясь немного меньшими по размеру и менее плотными по структуре, оставались на первоначальном месте и срастались с прилегающей стенкой туннеля.

3. Апертура большеберцового туннеля приобретала С-образную, похожую на анатомическую, форму.

На МР-томограммах, выполненных через 12 месяцев, у всех пациентов прослеживался неповрежденный трансплантат. В подгруппе 3А1 нередко

наблюдали щелевидную зону повышенного сигнала между полоской трансплантата и медиальной стенкой большеберцового туннеля, что свидетельствовало о смещении оси трансплантата к латеральной стенке. У пациентов подгруппы ЗБ1 подобная щель отсутствовала, трансплантат прилежал к медиальной стенке большеберцового туннеля.

Выполненное ретроспективно-проспективное сравнительное исследование состояния связки надколенника после двух вариантов забора трансплантата в одинаковых условиях ранней послеоперационной мобилизации позволило установить, что рентгенологический индекс положения надколенника после операции соответствовал физиологической норме и не отличался между подгруппами ($M_{1-CH}=1,11$, $SD=0,13$ и $M_{3-CH}=1,12$, $SD=0,15$, $p=0,955$). Проведенный у пациентов проспективной группы анализ размеров связки надколенника перед операцией и через 12 месяцев после забора трансплантата, полнослойного сшивания связки надколенника и заполнения дефектов губчатой аутокостью показал, что длина связки становилась меньше на 3,1% ($M=-1,4$ мм, $SD=2,4$, $p=0,003$); ширина связки в верхней трети и в середине незначительно увеличивалась ($M=0,3$ мм, $SD=2,4$, $p=0,502$ и $M=0,5$ мм, $SD=2,1$, $p=0,205$), а в нижней трети она становилась больше на 2,7% ($M=0,7$ мм, $SD=1,7$, $p=0,034$); толщина связки возрастала на 55% ($M=2,4$ мм, $SD=1,6$, $p=0,001$); она имела вид целостной структуры. По данным КТ через 6 месяцев после операции губчатая кость заполняла дефекты и прирастала к стенкам донорского дефекта.

В итоге проспективной части исследования были получены достоверные сведения о возможности и эффективности размещения трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС, а также определены условия, при которых можно получить более полноценное восстановление поврежденной при заборе трансплантата связки надколенника.

Для достижения эффекта восстановления поврежденных структур необходимо следующее: 1) установка костно-связочного соединения трансплантата из связки надколенника на уровне апертуры бедренного туннеля, его анатомическая ориентация в суставе, вклинение вычисленного размера

кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральным краем туннеля и трансплантатом, интерферентная фиксация, ранняя послеоперационная мобилизация; 2) закрытие донорской зоны связки надколенника с помощью полнослойного сшивания пучков связки и перитенона резорбируемыми нитями, заполнение дефектов надколенника и бугристости губчатой аутокостью.

Таким образом, полученные сведения подтвердили эффективность разработанной модификации анатомической техники реконструкции ПКС для оптимизации размещения и прочной фиксации костных блоков трансплантата непосредственно в местах прямого прикрепления ПКС и для восстановления целостности и размеров связки надколенника, при которой наблюдали улучшение клинических исходов.

ВЫВОДЫ

1. Применение транстибиальной техники реконструкции передней крестообразной связки характеризуется наличием незаполненной костным блоком проксимальной части большеберцового туннеля (по рентгенограммам $M=13,0$ мм; $SD=4,5$) и размещением туннелей в типичной позиции, при которой трансплантат соединяет заднюю треть места большеберцового прикрепления ПКС с проксимальным участком анатомической или частично анатомической зоны на бедре и приобретает вертикальную, отличную от оси ПКС ориентацию, что в сроки через 10–13 лет проявлялось у пациентов остаточной нестабильностью (скользящим «pivot-shift» тестом – у 46,7%, и явным – у 33,3%), а также частым (до 66,7%) ограничением подвижности сустава.

2. Известная техника анатомической реконструкции ПКС обеспечивала достижение анатомической позиции бедренного туннеля у 93,3%, большеберцового туннеля – у 95% пациентов, а также отличалась наличием незаполненных внутрисуставных участков туннелей, чаще бедренного ($M=5,2$ мм; $SD=3,9$), что было одной из причин того, что через 3–5 лет после операции тесты функциональной несостоятельности ПКС выявляли у 46,7% пациентов (скользящий «pivot-shift» тест – у 40%, явный – у 6,7%), причем нормальный уровень амплитуды движений наблюдали у 80% пациентов.

3. Разработанная (с учетом выявленных недостатков изученных методик операции) модифицированная техника анатомической реконструкции ПКС обеспечивает установку костно-связочного соединения проксимального костного блока трансплантата на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля, его анатомическую ориентацию внутри сустава, создание точки опоры в месте большеберцового прямого прикрепления ПКС за счет вклинения кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом.

4. Модифицированная техника реконструкции ПКС в варианте, включающем создание точек опоры в местах прямого прикрепления связки,

обеспечивает размещение трансплантата в истинно анатомической позиции, что подтверждается величиной наклона трансплантата, равной наклону ПКС, сохранением размеров и формы апертур туннелей, сращением костных блоков (и дополнительного костного фрагмента) со стенками туннелей в местах первичной установки. Практическое применение усовершенствованного варианта техники реконструкции ПКС позволило в ближайшем послеоперационном периоде (через 1,5–2,0 года) получить достоверно более высокие, чем после известных техник операции, показатели анатоμο-функционального состояния оперированного коленного сустава, что проявлялось нормальной амплитудой движений и отрицательным «pivot-shift» тестом у 87,1% пациентов ($p=0,027$) и почти нормальными показателями у остальных.

5. Малоинвазивная техника забора трансплантата из средней трети связки надколенника с сохранением фасциального футляра и сшиванием пучков связки надколенника лишь у ее концов приводят к формированию стойких связочных и костных дефектов. Полнослойное сшивание пучков связки и перитенона, заполнение дефектов губчатой аутокостью обеспечивают более благоприятные условия для заживления в донорском месте. Костно-пластическое закрытие дефектов надколенника и бугристости происходит к 6 месяцам после операции. Связка надколенника становится единой структурой, приобретает форму и размеры, близкие к дооперационным параметрам, через 12 месяцев после операции. Укорочение связки надколенника в среднем составило 3,1%, ширина связки в верхней трети и в середине приобретала первоначальные размеры, а в нижней трети она была в среднем на 2,6% больше, толщина связки возрастала в среднем на 55%.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для достижения лучших анатомо-функциональных результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями ПКС целесообразно применять разработанный вариант анатомической техники реконструкции костно-связочно-костным аутотрансплантатом из средней трети связки надколенника, включающий следующие технические приемы: 1) разметку центров туннелей на основе измерений с учетом анатомических ориентиров; 2) установку проксимального костного блока трансплантата на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля; 3) размещение костных блоков в соответствии с анатомической ориентацией ПКС; 4) создание точки опоры в месте большеберцового прямого прикрепления ПКС путем вклинения необходимого по величине фрагмента из переднего края большеберцовой кости между латеральной стенкой туннеля и трансплантатом; 5) натяжение и интерферентную фиксацию трансплантата в положении его максимальной длины, т.е. при полном разгибании в суставе.

2. Применение разработанного инструмента позволит хирургам увеличить количество операций, выполняемых за один операционный день, а также заменить зарубежные аналоги при их утрате или повреждении.

3. Более полноценное заживление дефектов, возникающих при заборе аутотрансплантата из средней трети связки надколенника, может быть получено при выполнении следующих действий: 1) произвести операционный разрез вне костных выступов и мобилизовать края раны и перитенона над связкой надколенника; 2) после забора костно-связочно-костного трансплантата из средней трети связки надколенника выполнить полнослойное сшивание пучков связки и перитенона; 3) со дна дефекта бугристости забрать два губчатых столбика, заполнить ими дефект надколенника и сшить над дефектом края перитенона и препателлярной сумки; 4) собрать костную стружку, образующуюся при рассверливании туннелей и скусывании краев костных блоков трансплантата

и заполнить ею после фиксации трансплантата в туннелях дефект бугристости; 5) использовать резорбируемые шовные нити; 6) применять после операции мануальную мобилизацию надколенника и раннее восстановление (через 3–5 дней после операции) подвижности коленного сустава и ходьбы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПКС – передняя крестообразная связка

ЛМГ – латеральный межмыщелковый гребень бедренной кости

Тест ПВЯ – тест переднего выдвижного ящика

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бальжинимаев, Д.Б. Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава с подготовкой трансплантата по известной и новой методикам / Д.Б. Бальжинимаев, И.Н. Михайлов, М.Э. Пусева [и др.] // Acta biomedica scientifica. – 2022. – Т. 7, № 6. – С. 229–238.
2. Володин, И.В. Вариативная анатомия коленного сустава и влияние отдельных ее параметров на топографию передней крестообразной связки / И.В. Володин, Д.А. Маланин, К.Ю. Калитин [и др.] // Уральский медицинский журнал. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 76–88.
3. Володин, И.В. Гендерные особенности областей прикрепления передней крестообразной связки к наружному мыщелку бедренной кости с позиции хирургической анатомии / И.В. Володин, Д.А. Маланин, И.А. Сучилин [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 98–104.
4. Герасимов, С.А. Реинсерция или аутопластика передней крестообразной связки при ее проксимальных разрывах: сравнительное исследование / С.А. Герасимов, Е.А. Морозова, Д.А. Найда [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 82–91.
5. Гончаров, Е.Н. Сравнение результатов восстановления передней крестообразной связки коленного сустава с использованием аутотрансплантата из сухожилия длинной малоберцовой мышцы и из связки надколенника с двумя костными блоками / Е.Н. Гончаров, Н.Г. Гончаров, Э.Н. Безуглов [и др.] // Гений ортопедии. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 53–61.
6. Гончаров, Е.Н. Среднесрочные результаты одномоментного восстановления передней крестообразной и антеролатеральной связок коленного сустава у спортсменов / Е.Н. Гончаров, О.А. Коваль, В.А. Дубров [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 62–71.

7. Гончаров, Е.Н. Топографо–анатомическая характеристика антеролатеральной связки коленного сустава / Е.Н. Гончаров, О.А. Коваль, Г.О. Краснов [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 88–95.

8. Демещенко, М.В. Референтные анатомические структуры большеберцовой кости при анатомической пластике передней крестообразной связки / М.В. Демещенко, Д.А. Маланин, И.А. Сучилин [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 34–42.

9. Заяц, В.В. Анализ эффективности технологий артроскопической пластики передней крестообразной связки коленного сустава / В.В. Заяц, А.К. Дулаев, А.В. Дыдыкин [и др.] // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. – 2017. – Т. 176, № 2. – С. 77–82.

10. Заяц, В.В. Клиническая эффективность анатомической пластики передней крестообразной связки коленного сустава / В.В. Заяц, А.К. Дулаев, А.В. Дыдыкин, И.Н. Ульяновченко // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 48–54.

11. Заяц, В.В. Технологии анатомической реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава: возможности и преимущества / В.В. Заяц // Ученые записки СПбГМУ им. И.П. Павлова. – 2018. – Т. 25, № 1. – С. 28–34.

12. Лазишвили, Г.Д. Артроскопическая и гистологическая оценка характера ремоделирования трансплантата после аутопластического замещения передней крестообразной связки коленного сустава / Г.Д. Лазишвили, А.Б. Шехтер, М.П. Лисицын [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2007. – № 1. – С. 28–33.

13. Лазишвили, Г.Д. Артроскопическое замещение передней крестообразной связки коленного сустава свободным ауто трансплантатом из сухожилия четырехглавой мышцы бедра / Г.Д. Лазишвили, И.В. Храменкова, П.А. Скорогляднов [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2008. – № 4. – С. 44–48.

14. Лазишвили, Г.Д. Осложнения при артроскопическом аутопластическом замещении передней крестообразной связки коленного сустава / Г.Д. Лазишвили, В.Э. Дубров, А.Б. Бут–Гусаим [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2006. – № 4. – С. 48–52.

15. Лазишвили, Г.Д. Причины возникновения артрофиброза после артроскопической стабилизации коленного сустава и его профилактика / Г.Д. Лазишвили, В.Э. Дубров, А.Б. Шехтер [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2005. – Т. 12, № 1. – С. 38–42.

16. Магнитская, Н.Е. Перевод, валидация и культурная адаптация ортопедического опросника IKDC 2000 subjective knee form для оценки состояния коленного сустава / Н.Е. Магнитская, М.С. Рязанцев, М.Н. Майсигов [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 348–354.

17. Маланин, Д.А. Область большеберцового прикрепления передней крестообразной связки с позиций хирургической анатомии / Д.А. Маланин, М.В. Демещенко, А.И. Краюшкин [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2015. – № 1 (53). – С. 43–46.

18. Маланин, Д.А. Связанные с полом особенности строения областей прикрепления передней крестообразной связки / Д.А. Маланин, И.В. Володин, И.А. Сучилин [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 80–92.

19. Призов, А.П. Применение сухожилия длинной малоберцовой мышцы в качестве аутотрансплантата при первичной пластике передней крестообразной связки: систематический обзор / А.П. Призов, А.М. Востриков, Д.В. Скворцов [и др.] // Клиническая практика. – 2024. – Т. 15, № 4. – С. 59–69.

20. Рикун, О.В. Современные тенденции в хирургическом лечении пациентов с разрывами передней крестообразной связки (обзор литературы) / О.В. Рикун, В.В. Хоминец, А.О. Федотов // Травматология и ортопедия России. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 134–145.

21. Романов, Д.А. Оценка проприоцептивной функции у пациентов после восстановления передней крестообразной связки / Д.А. Романов, А.В. Гаркави, А.Р. Дрогин [и др.] // Вестник современной клинической медицины. – 2022. – Т. 15, № 5. – С. 58–65.

22. Сантамурти, Т. Сравнительные результаты анатомической реконструкции ПКС ауто трансплантатом ВТВ и ауто трансплантатом из подколенных сухожилий: средний срок наблюдения восемь лет / Т. Сантамурти, А. Ксавье, Л. Челламуто [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 72–81.

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.

24. Сучилин, И.А. Восстановление уровня физической активности у пациентов после артроскопической пластики передней крестообразной связки ауто трансплантатом "кость–сухожилие–кость" / И.А. Сучилин, Д.А. Маланин, И.В. Володин [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 4 (80). – С. 115–119.

25. Сучилин, И.А. Клинические результаты анатомической пластики передней крестообразной связки ауто трансплантатом "кость–сухожилие–кость" / И.А. Сучилин, Д.А. Маланин, А.Л. Жуликов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2019. – № 3 (71). – С. 120–123.

26. Сучилин, И.А. Сравнительные результаты артроскопической анатомической пластики передней крестообразной связки ауто трансплантатами из связки надколенника и сухожилий подколенных сгибателей / И.А. Сучилин, Д.А. Маланин, И.В. Володин [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2020. – № 2 (74). – С. 163–167.

27. Ходжанов, И.Ю. Модифицированный способ пластики передней крестообразной связки с использованием аутотрансплантата ВТВ / И.Ю. Ходжанов, Б.С. Убайдуллаев // Травматология и ортопедия России. – 2024. – Т. 30, № 2. – С. 143–150.

28. Хоминец, В.В. Ревизионные реконструкции передней крестообразной связки при переднелатеральной нестабильности коленного сустава у военнослужащих / В.В. Хоминец, О.В. Рикун, В.М. Шаповалов [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2016. – № 6. – С. 24–29.

29. Abram, S.G.F. Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and meniscal repair rates have both increased in the past 20 years in England: hospital statistics from 1997 to 2017 / S.G.F. Abram, A.J. Price, A. Judge [et al.] // Br. J. Sports Med. – 2020. – Vol. 54, N 5. – P. 286–291.

30. Adriani, E. Healing of the patellar tendon after harvesting of its mid-third for anterior cruciate ligament reconstruction and evolution of the unclosed donor site defect / E. Adriani, P.P. Mariani., G. Maresca, N. Santori // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. – 1995. – Vol. 3, N 3. – P. 138–143.

31. Ahldén, M. The Swedish national anterior cruciate ligament register: a report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18,000 patients / M. Ahldén, K. Samuelsson, N. Sernert [et al.] // Am. J. Sports Med. – 2012. – Vol. 40, N 10. – P. 2230–2235.

32. Alkhalaf, F.N.A. Autograft diameter in ACL reconstruction: size does matter / F.N.A. Alkhalaf, S. Hanna, M.S.H. Alkhaldi [et al.] // SICOT J. – 2021. – Vol. 7. – P. 16.

33. Amis, A.A. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries / A.A. Amis, G.P. Dawkins // J. Bone Joint Surg. Br. – 1991. – Vol. 73, N 2. – P. 260–267.

34. Arner, J.W. Practice patterns and return-to-sports timing of national football league head team physicians for acl reconstruction / J.W. Arner, J.P. Bradley // Orthop. J. Sports Med. – 2024. – Vol. 12, N 10. – 23259671241274139.

35. Arnold, M.P. ACL Study Group survey reveals the evolution of anterior cruciate ligament reconstruction graft choice over the past three decades / M.P. Arnold, J.G. Calcei, N. Vogel [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2021. – Vol. 29, N 11. – P. 3871–3876.
36. Ashy, C. Quadriceps tendon autograft has similar clinical outcomes when compared to hamstring tendon and bone–patellar tendon–bone autografts for revision ACL reconstruction: a systematic review and meta–analysis / C. Ashy, E. Bailey, J. Hutchinson [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2023. – Vol. 31, N 12. – P. 5463–5476.
37. Balendra, G. Factors affecting return to play and graft re–rupture after primary ACL reconstruction in professional footballers / G. Balendra, M. Jones, K.A. Borque [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2022. – Vol. 30, N 7. – P. 2200–2208.
38. Banios, K. Anterior and posterior cruciate ligaments mechanoreceptors: a review of basic science / K. Banios, V. Raoulis, A. Fylos [et al.] // *Diagnostics.* – 2022. – Vol. 12, N 2. – P. 331.
39. Beckers, L. Clinical outcomes of contemporary lateral augmentation techniques in primary ACL reconstruction: a systematic review and meta–analysis / L. Beckers, T. Vivacqua, A.D. Firth [et al.] // *J. Exp. Orthop.* – 2021. – Vol. 8, N 1. – P. 59.
40. Berg, E.E. Parsons' knob (tuberculum intercondylare tedium): a guide to tibial anterior cruciate ligament insertion / E.E. Berg // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1993. – N 292. – P. 229–231.
41. Bergstein, V.E. Decreasing incidence of anterior cruciate ligament tears and increasing utilization of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States from 2010 to 2020 / V.E. Bergstein, U. Ahiarakwe, M. Haft [et al.] // *Arthroscopy.* – 2025. – Vol. 41, N 6. – P. 1912–1918.
42. Bhatia, S. Effect of tibial tunnel diameter on femoral tunnel placement in transtibial single bundle ACL reconstruction / S. Bhatia, K. Korth, G.S. Van Thiel [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 1. – P. 51–57.

43. Borque, K.A. Rebranding the ‘anatomic’ ACL reconstruction: current concepts / K.A. Borque, M.S. Laughlin, V.H. Pinheiro [et al.] // *J. ISAKOS*. – 2023. – Vol. 8, N 1. – P. 23–28.
44. Brophy, R.H. American academy of orthopaedic surgeons clinical practice guideline summary: management of anterior cruciate ligament injuries / R.H. Brophy, K.J. Lowry // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2023. – Vol. 31, N 11. – P. 531–537.
45. Burnham, J.M. Anatomic femoral and tibial tunnel placement during anterior cruciate ligament reconstruction: anteromedial portal all–inside and outside–in techniques / J.M. Burnham, C.S. Malempati, A. Carpiaux [et al.] // *Arthroscopy techniques*. – 2017. – Vol. 6, N 2. – P. e275–e282.
46. Cerullo, G. Anterior cruciate ligament patellar tendon reconstruction: it is probably better to leave the tendon defect open! / G. Cerullo, G. Puddu, E. Gianni [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 1995. – Vol. 3, N 1. – P. 14–17.
47. Chahla, J. Arthroscopic anatomic single–bundle anterior cruciate ligament reconstruction using bone–patellar tendon–bone autograft: pearls for an accurate reconstruction / J. Chahla, G. Moatshe, M.E. Cinque [et al.] // *Arthroscopy techniques*. – 2017. – Vol. 6, N 4. – P. e1159–e1167.
48. Chung, K.S. An increasing trend in the number of anterior cruciate ligament reconstruction in Korea: a nationwide epidemiologic study / K.S. Chung, J.H. Kim, D.H. Kong [et al.] // *Clin. Orthop. Surg.* – 2022. – Vol. 14, N 2. – P. 220–226.
49. Cone, S.G. Size and shape of the human anterior cruciate ligament and the impact of sex and skeletal growth: a systematic review / S.G. Cone, D. Howe, M.B. Fisher // *JBJS Rev.* – 2019. – Vol. 7, N 6. – P. e8.
50. Coupens, S.D. Magnetic resonance imaging evaluation of the patellar tendon after use of its central one–third for anterior cruciate ligament reconstruction / S.D. Coupens, C.K. Yates, C. Sheldon [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1992. – Vol. 20, N 3. – P. 332–335.

51. Cristiany, R. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomized controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation / R. Cristiany, C. Mikkelsen, P. Wange [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2021. – Vol. 29, N 9. – P. 3025–3036.
52. Daniel, A.V. Primary all-soft tissue quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction with suture tape augmentation resulted in satisfactory patient outcomes and a low graft failure rate in high school and collegiate athletes / A.V. Daniel, P.A. Smith // *Arthroscopy.* – 2025. – Vol. 41, N 1. – P. 95–105.
53. Devitt, B.M. Combined anterolateral complex and anterior cruciate ligament injury: anatomy, biomechanics, and management-state-of-the-art / B.M. Devitt, T. Neri, B.A. Fritsch // *J. ISAKOS.* – 2023. – Vol. 8, N 1. – P. 37–46.
54. Dimitriou, D. Do sex-specific differences exist in ACL attachment location? An MRI-based 3-dimensional topographic analysis / D. Dimitriou, Z. Wang, D. Zou [et al.] // *Orthop. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 8, N 11. – 2325967120964477.
55. Ding, G. No difference in 10-to 14-year outcomes after modified transtibial versus anteromedial portal techniques in anterior cruciate ligament reconstruction / G. Ding, H. Li, F. Cai [et al.] // *Arthroscopy Sports Med. Rehabil.* – 2025. – Vol. 7. – 101173.
56. Duthon, V.B. Anatomy of the anterior cruciate ligament / V.B. Duthon, C. Barea, S. Abrassart [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2006. – Vol. 14, N 3. – P. 204–213.
57. Eilerman, M. The effect of harvesting the central one-third of the patellar tendon on patellofemoral contact pressure / M. Eilerman, J. Thomas, D. Marsalka // *Am. J. Sports Med.* – 1992. – Vol. 20, N 6. – P. 738–741.
58. Feagin, J.A. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study / J.A. Feagin, W.W. Curl // *Am. J. Sports Med.* – 1976. – Vol. 4, N 3. – P. 95–100.

59. Ferretti, M. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study / M. Ferretti, M. Ekdahl, W. Shen [et al.] // *Arthroscopy*. – 2007. – Vol. 23, N 11. – P. 1218–1225.
60. Fowler, B.L. Tibial tunnel bone grafting a new technique for dealing with graft–tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction / B.L. Fowler, V.J. DiStefano // *Arthroscopy*. – 1998. – Vol. 14, N 2. – P. 224–228.
61. Fox, M.A. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: Freddie Fu's paradigm / M.A. Fox, I.D. Engler, B.T. Zsidai [et al.] // *J. ISAKOS*. – 2023. – Vol. 8, N 1. – P. 15–22.
62. Frank, R.M. Closure of patellar tendon defect in anterior cruciate ligament reconstruction with bone–patellar tendon–bone autograft: systematic review of randomized controlled trials / R.M. Frank, R. Mascarenhas, M. Haro [et al.] // *Arthroscopy*. – 2015. – Vol. 31, N 2. – P. 329–338.
63. Friederich, N.F. Functional anatomy of the cruciate ligaments / N.F. Friederich, W.R. O'Brien // *The knee and the cruciate ligaments* / Ed. by R.P. Jakob, H.– U. Staubli. – Berlin: Springer–Verlag, 1992. – P. 78–91.
64. Fukuda, H. Bone–patellar–bone autograft maturation is superior to double–bundle hamstring tendon autograft maturation following anatomical anterior cruciate ligament reconstruction / H. Fukuda, T. Ogura, S. Asai [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2022. – Vol. 30, N 5. – P. 1661–1671.
65. Gabler, C.M. Comparison of graft failure 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, N 4. – P. 1069–1079.
66. Gagliardi, A.G. ACL Repair with suture ligament augmentation is associated with a high failure rate among adolescent patients / A.G. Gagliardi, P.M. Carry, H.B. Parikh [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2019. – Vol. 47, N 3. – P. 560–566.

67. Gaudot, F. Double-incision mini-invasive technique for BTB harvesting: its superiority in reducing anterior knee pain following ACL reconstruction / F. Gaudot, J.B. Leymarie, O. Drain [et al.] // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2009. – Vol. 95, N 1. – P. 28–35.
68. Gifstad, T. Lower risk of revision with patellar tendon autografts compared with hamstring autografts: a registry study based on 45,998 primary ACL reconstructions in Scandinavia / T. Gifstad, O.A. Foss, L. Engebretsen [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2014. – Vol. 42, N 10. – P. 2319–2328.
69. Giusto, J.D. When is anterolateral complex augmentation indicated? Perspectives from the 2024 Freddie Fu panther sports medicine symposium / J.D. Giusto, E. Konstantinou, S.J. Rabuck [et al.] // *J. ISAKOS.* – 2025. – Vol. 11. – 100393.
70. Graf, R.M. The "N+10 rule" to avoid graft-tunnel mismatch in bone-patellar tendon-bone ACL Reconstruction using independent femoral tunnel drilling / R.M. Graf, S.E. Dart, I.S. MacLean [et al.] // *Orthop. J. Sports Med.* – 2023. – Vol. 11, N 5. – 23259671231168885.
71. Guenther, D. Area of the tibial insertion site of the anterior cruciate ligament as a predictor for graft size / D. Guenther, S. Irrarázaval, M. Albers [et al.] // *Knee Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc.* – 2017. – Vol. 25, N 5. – P. 1576–1582.
72. Guerra-González, A. Anterior cruciate ligament innervation in primary knee osteoarthritis / A. Guerra-González, C. da Casa, Í. Crespo [et al.] // *Histol. Histopathol.* – 2022. – Vol. 37, N 2. – P. 151–157.
73. Hacken, B.A. A novel scoring instrument to assess donor site morbidity after anterior cruciate ligament reconstruction with a patellar tendon autograft at 2-year follow-up using contemporary graft-harvesting techniques / B.A. Hacken, L.K. Keyt, D.P. Leland [et al.] // *Orthop. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 8, N 6. – 2325967120925482.
74. Han, J.K. Comparison of modified transtibial and anteromedial portal techniques in anatomic single-bundle ACL reconstruction / J.K. Han, K.C. Chun, S.I. Lee [et al.] // *Orthopedics.* – 2019. – Vol. 42, N 2. – P. 83–89.

75. Hofbauer, M. The concept of individualized anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction / M. Hofbauer, B. Muller, C.D. Murawski [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 5. – P. 979–986.
76. Hollyer, I. Trends in lateral extra-articular augmentation use and surgical technique with anterior cruciate ligament reconstruction from 2016 to 2023, an ACL Study Group survey / I. Hollyer, C. Sholtis, G. Loughran [et al.] // *J. ISAKOS.* – 2024. – Vol. 9, N 6. – 100356.
77. Hoshino, Y. Stress distribution is deviated around the aperture of the femoral tunnel in the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction / Y. Hoshino, R. Kuroda, Y. Nishizawa [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2018. – Vol. 26, N 4. – P. 1145–1151.
78. Hospodar, S.J. Controversies in ACL reconstruction: bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction remains the gold standard / S.J. Hospodar, M.D. Miller // *Sports Med. Arthrosc. Rev.* – 2009. – Vol. 17, N 4. – P. 242–246.
79. Howell, S.M. Checkpoints for judging tunnel and anterior cruciate ligament graft placement / S.M. Howell, M.L. Hull // *J. Knee Surg.* – 2009. – Vol. 22, N 2. – P. 161–170.
80. Hutchinson, M.R. Resident's ridge: Assessing the cortical thickness of the lateral wall and roof of the intercondylar notch / M.R. Hutchinson, S.A. Ash // *Arthroscopy.* – 2003. – Vol. 19, N 9. – P. 931–935.
81. Inderhaug, E. Long-term results after reconstruction of the ACL with hamstrings autograft and transtibial femoral drilling / E. Inderhaug, T. Strand, C. Fischer-Bredenbeck [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, N 9. – P. 2004–2010.
82. Inoue, M. Tunnel location in transparent 3-dimensional CT in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with the trans-tibial tunnel technique / M. Inoue, S. Tokuyasu, S. Kuwahara [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2010. – Vol. 18, N 9. – P. 1176–1183.

83. Insall, J.N. Patella position in normal knee joint / J.N. Insall, E. Salvati // *Radiology*. – 1971. – Vol. 101, N 1. – P. 101–104.
84. Iwahashi, T. Direct anterior cruciate ligament insertion to the femur assessed by histology and 3–dimensional volume–rendered computed tomography / T. Iwahashi, K. Shino, K. Nakata [et al.] // *Arthroscopy*. – 2010. – Vol. 26, N 9 (Suppl.). – P. 13–20.
85. Janani, G. Anterior knee pain in ACL reconstruction with BPTB graft – Is it a myth? Comparative outcome analysis with hamstring graft in 1,250 patients / G. Janani, P. Suresh, A. Prakash [et al.] // *J. Orthop.* – 2020. – Vol. 22. – P. 408–413.
86. Janani, G. Preoperative templating of bone–patellar tendon–bone graft for anterior cruciate ligament reconstruction: a morphometry–based graft harvest method / G. Janani, S. Lakshmi, A. Prakash [et al.] // *Clin. Orthop. Surg.* – 2023. – Vol. 15, N 3. – P. 410–417.
87. Janssen, R.P.A. Anterior cruciate ligament reconstruction with 4–strand hamstring autograft and accelerated rehabilitation: a 10–year prospective study on clinical results, knee osteoarthritis and its predictors / R.P.A. Janssen, A.W.F. du Mée, J. van Valkenburg [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, N 9. – P. 1977–1988.
88. Jones, K.G. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. A technique using the central one–third of the patellar ligament / K.G. Jones // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1963. – Vol. 45, N 5. – P. 925–932.
89. Kaarre, J. Scoping review on acl surgery and registry data / J. Kaarre, B. Zsidai, E. Narup [et al.] // *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* – 2022. – Vol. 15, N 5. – P. 385–393.
90. Kaeding, C.C. Risk factors and predictors of subsequent ACL injury in either knee after ACL reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstruction from the MOON cohort / C.C. Kaeding, A.D. Pedrosa, E.K. Reinke [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2015. – Vol. 43, N 7. – P. 1583–1590.

91. Kartus, J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts / J. Kartus, T. Movin, J. Karlsson // *Arthroscopy*. – 2001. – Vol. 17, N 9. – P. 971–980.
92. Kartus, J. Magnetic resonance imaging of the patellar tendon after harvesting its central third: a comparison between traditional and subcutaneous harvesting techniques / J. Kartus, S. Lindahl, S. Stener [et al.] // *Arthroscopy*. – 1999. – Vol. 15, N 6. – P. 587–593.
93. Kennedy, J.C. Nerve supply of the human knee and its functional importance / J.C. Kennedy, I.J. Alexander, K.C. Hayes // *Am. J. Sports Med.* – 1982. – Vol. 10, N 6. – P. 329–335.
94. Kim, B.S. No differences in clinical outcomes between rectangular and round tunnel techniques for anterior cruciate ligament reconstruction / B.S. Kim, J.H. Kim, Y.B. Park [et al.] // *Arthroscopy*. – 2022. – Vol. 38, N 6. – P. 1933–1943.
95. Kohn, D. Donor-site morbidity after harvest of a bone-tendon-bone patellar tendon autograft / D. Kohn, A. Sander-Beuermann // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 1994. – Vol. 2, N 4. – P. 219–223.
96. Kooy, C.E.V.W. Major increase in incidence of pediatric ACL reconstructions from 2005 to 2021: a study from the Norwegian knee ligament register / C.E.V.W. Kooy, R.B. Jakobsen, A.M. Fenstad [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2023. – Vol. 51, N 11. – P. 2891–2899.
97. Kurihara, S. Increased bone plug depth from the joint increases tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone autograft with suspensory femoral fixation / S. Kurihara, S. Yanagisawa, T. Takahashi [et al.] // *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* – 2023. – Vol. 5, N 4. – 100755.
98. Kusano, M. Tibial insertions of the anterior cruciate ligament and the anterior horn of the lateral meniscus: a histological and computed tomographic study / M. Kusano, Y. Yonetani, T. Mae [et al.] // *The Knee*. – 2017. – Vol. 24, N 4. – P. 782–791.

99. Kvist, J. Radiographic and symptomatic knee osteoarthritis 32 to 37 years after acute anterior cruciate ligament rupture / J. Kvist, S. Filbay, C. Andersson [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 48, N 10. – P. 2387–2394.

100. Lameire, D.L. Bone grafting the patellar defect after bone–patellar tendon–bone anterior cruciate ligament reconstruction decreases anterior knee morbidity: a systematic review / D.L. Lameire, H. Abdel Khalik, A. Zakharia [et al.] // *Arthroscopy.* – 2021. – Vol. 37, N 7. – P. 2361–2376.

101. Lee, B.H. Eccentric graft positioning within the femoral tunnel aperture in anatomic double–bundle anterior cruciate ligament reconstruction using the transportal and outside–in techniques / B.H. Lee, S. Bansal, S.H. Park [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2015. – Vol. 43, N 5. – P. 1180–1188.

102. Lee, J.K. Anatomic single–bundle ACL reconstruction is possible with use of the modified transtibial technique: a comparison with the anteromedial transportal technique / J.K. Lee, S. Lee, S.C. Seong [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2014. – Vol. 96, N 8. – P. 664–672.

103. Lidén, M. A histological and ultrastructural evaluation of the patellar tendon 10 years after reharvesting its central third / M. Lidén, T. Movin, L. Ejerhed [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 4. – P. 781–788.

104. Lien–Iversen, T. Does surgery reduce knee osteoarthritis, meniscal injury and subsequent complications compared with non–surgery after ACL rupture with at least 10 years follow–up? A systematic review and meta–analysis / T. Lien–Iversen, D.B. Morgan, C. Jensen [et al.] // *Br. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 54, N 10. – P. 592–598.

105. Lind, M. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction is associated with high revision rates: results from the Danish knee ligament registry / M. Lind, M.J. Strauss, T. Nielsen, L. Engebretsen // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2020. – Vol. 28, N 7. – P. 2163–2169.

106. Lindanger, L. Effect of early residual laxity after anterior cruciate ligament reconstruction on long-term laxity, graft failure, return to sports, and subjective outcome at 25 years / L. Lindanger, T. Strand, A.O. Mølster [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2021. – Vol. 49, N 5. – P. 1227–1235.

107. Luites, J.W.H. Description of the attachment geometry of the anteromedial and posterolateral bundles of the ACL from arthroscopic perspective for anatomical tunnel placement / J.W.H. Luites, A.B. Wymenga, L. Blankevoort [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2007. – Vol. 15, N 12. – P. 1422–1431.

108. Lysholm, J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale / J. Lysholm, J. Gillquist // *Am. J. Sports Med.* – 1982. – Vol. 10, N 3. – P. 150–154.

109. Magnussen, R.A. Neither residual anterior knee laxity up to 6 mm nor a pivot glide predict patient-reported outcome scores or subsequent knee surgery between 2 and 6 years after ACL reconstruction / R.A. Magnussen, E.K. Reinke, L.J. Huston [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2021. – Vol. 49, N 10. – P. 2631–2637.

110. Mall, N.A. The functional and surgical anatomy of the anterior cruciate ligament / N.A. Mall, A.S. Lee, B.J. Cole [et al.] // *Oper. Tech. Sports Med.* – 2013. – Vol. 21, N 1. – P. 2–9.

111. Markatos, K. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction / K. Markatos, M.K. Kasetta, S.N. Lалlos [et al.] // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* – 2013. – Vol. 23, N 7. – P. 747–752.

112. Martorell-de Fortuny, L. Patellar bone defect grafting does not reduce anterior knee pain after bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction / L. Martorell-de Fortuny, R. Torres-Claramunt, J.F. Sánchez-Soler [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2025. – Vol. 33, N 4. – P. 1299–1307.

113. Matsuo, T. Anatomical rectangular tunnel anterior cruciate ligament reconstruction provides excellent clinical outcomes / T. Matsuo, M. Kusano, R. Uchida [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2022. – Vol. 30, N 4. – P. 1396–1403.

114. Medina, G. No clinically significant differences in outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction when comparing quadriceps, bone–patellar tendon–bone, and hamstring autografts of 9 mm or greater / G. Medina, N.A. Lowenstein, J.E. Collins [et al.] // *Arthroscopy*. – 2025. – Vol. 41, N 6. – P. 1970–1976.

115. Migliorini, F. Reduced knee laxity and failure rate following anterior cruciate ligament reconstruction compared with repair for acute tears: a meta–analysis / F. Migliorini, G. Vecchio, J. Eschweiler [et al.] // *J. Orthop. Traumatol.* – 2023. – Vol. 24, N 1. – P. 8.

116. Miller, M.D. The "N + 7 rule" for tibial tunnel placement in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction / M.D. Miller, D.T. Hinkin // *Arthroscopy*. – 1996. – Vol. 12, N 1. – P. 124–126.

117. Mishra, A.K. Patellar tendon graft harvesting using horizontal incisions for anterior cruciate ligament reconstruction / A.K. Mishra, G.S. Fanton, M.F. Dillingham [et al.] // *Arthroscopy*. – 1995. – Vol. 11, N 6. – P. 749–752.

118. Mochizuki, T. Anatomic and histologic analysis of the mid–substance and fan–like extension fibres of the anterior cruciate ligament during knee motion, with special reference to the femoral attachment / T. Mochizuki, H. Fujishiro, A. Nimura [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 2. – P. 336–344.

119. MOON knee group. Anterior cruciate ligament reconstruction in high school and college–aged athletes: does autograft choice influence anterior cruciate ligament revision rates? / K.P. Spindler, L.J. Huston, A. Zajichek [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 48, N 2. – P. 298–309.

120. Morales–Avalos, R. The morphology of the femoral footprint of the anterior cruciate ligament changes with aging from a large semicircular shape to a small flat ribbon–like shape / R. Morales–Avalos, S. Perelli, F. Vilchez–Cavazos [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2022. – Vol. 30, N 10. – P. 3402–3413.

121. Morales–Avalos, R. The morphology of the tibial footprint of the anterior cruciate ligament changes with ageing from oval/elliptical to C–shaped / R. Morales–Avalos, T.A. Castillo–Escobedo, R.E. Elizondo–Omana [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2021. – Vol. 29, N 3. – P. 922–930.

122. Morgan, C.D. Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited / C.D. Morgan, V.R. Kalmam, D.M. Grawl // *Arthroscopy*. – 1995. – Vol. 11, N 6. – P. 647–659.

123. Muellner, T. Shortening of the patellar tendon after anterior cruciate ligament reconstruction / T. Muellner, W. Kaltenbrunner, A. Nikolic [et al.] // *Arthroscopy*. – 1998. – Vol. 14, N 6. – P. 592–596.

124. Murgier, J. Current evidence around patellar tendon graft in ACLR for high-risk patients: current concepts / J. Murgier, D. Hansom, M. Clatworthy // *J. ISAKOS*. – 2020. – Vol. 5, N 1. – P. 32–35.

125. Murgier, J. Effectiveness of thicker hamstring or patella tendon grafts to reduce graft failure rate in anterior cruciate ligament reconstruction in young patients / J. Murgier, A. Powell, S. Young [et al.] // *Knee Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc.* – 2021. – Vol. 29, N 3. – P. 725–731.

126. Musahl, V. Current trends in the anterior cruciate ligament part II: evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation / V. Musahl, I.D. Engler, E.M. Nazzal [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2022. – Vol. 30, N 1. – P. 34–51.

127. Nishimori, M. Parsons' knob, the bony landmark of the tibial insertion of the anterior cruciate ligament, evaluated by three-dimensional computed tomography / M. Nishimori, T. Furuta, M. Deie // *Asia-Pacific J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol.* – 2014. – Vol. 1, N 4. – P. 126–131.

128. Noailles, T. Torsional appearance of the anterior cruciate ligament explaining "ribbon" and double-bundle concepts: a cadaver-based study / T. Noailles, Ph. Boisrenoult, M. Sanche [et al.] // *Arthroscopy*. – 2017. – Vol. 33, N 9. – P. 1703–1709.

129. O'Brien, W.R. Isometric placement of anterior cruciate ligament substitutes / W.R. O'Brien // *Oper. Tech. Orthop.* – 1992. – Vol. 2, N 2. – P. 49–54.

130. Oka, S. Histological analysis of the tibial anterior cruciate ligament insertion / S. Oka, P. Schuhmacher, A. Brehmer [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 3. – P. 747–753.

131. Parkes C.W. Hamstring autograft anterior cruciate ligament reconstruction using an all–inside technique with and without independent suture tape reinforcement / C.W. Parkes, D.P. Leland, B.A. Levy [et al.] // *Arthroscopy*. – 2021. – Vol. 37, N 2. – P. 609–616.

132. Pathare, N.P. Kinematic analysis of the indirect femoral insertion of the anterior cruciate ligament: implications for anatomic femoral tunnel placement / N.P. Pathare, S.J. Nicholas, R. Colbrunn [et al.] // *Arthroscopy*. – 2014. – Vol. 30, N 11. – P. 1430–1438.

133. Paudel, Y.R. Increasing incidence of anterior cruciate ligament reconstruction: a 17–year population–based study / Y.R. Paudel, M. Sommerfeldt, D. Voaklander // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2023. – Vol. 31, N 1. – P. 248–255.

134. Pearle, A.D. Comparison of 3–dimensional obliquity and anisometric characteristics of anterior cruciate ligament graft positions using surgical navigation / A.D. Pearle, F.J. Shannon, C. Granchi [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 8. – P. 1534–1541.

135. Peebles, L.A. Following anterior cruciate ligament reconstruction with bone–patellar tendon–bone autograft, the incidence of anterior knee pain ranges from 5.4% to 48.4% and the incidence of kneeling pain ranges from 4.0% to 75.6%: a systematic review of level i studies / L.A. Peebles, R.A. Akamefula, Z.S. Aman [et al.] // *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* – 2024. – Vol. 6, N 2. – P. 1–9.

136. Pryymachenko, Y. Epidemiology of cruciate ligament injuries in New Zealand: exploring differences by ethnicity and socioeconomic status / Y. Pryymachenko, R. Wilson, J.H. Abbott // *Inj. Prev.* – 2023. – Vol. 29, N 3. – P. 213–218.

137. Purnell, M.L. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high–resolution volume–rendering computed tomography / M.L. Purnell, A.I. Larson, W. Clancy // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 11. – P. 2083–2090.

138. Rahr–Wagner, L. Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population–based cohort study: results from the Danish registry of knee ligament reconstruction / L. Rahr–Wagner, T.M. Thillemann, A.B. Pedersen [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2014. – Vol. 42, N 2. – P. 278–284.

139. Saltzman, B.M. An update on graft–tunnel mismatch in anterior cruciate ligament reconstruction: A survey of the experts in the field of orthopedic sports medicine demonstrates no clear consensus in management / B.M. Saltzman, D.T. Varkey, D.P. Trofa [et al.] // *The Knee.* – 2020. – Vol. 27, N 5. – P. 1525–1533.

140. Sandon, A. Factors associated with returning to football after anterior cruciate ligament reconstruction / A. Sandon, S. Werner, M. Forssblad // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 9. – P. 2514–2521.

141. Sasaki, N. The femoral insertion of the anterior cruciate ligament: discrepancy between macroscopic and histological observations / N. Sasaki, Y. Ishibashi, E. Tsuda [et al.] // *Arthroscopy.* – 2012. – Vol. 28, N 8. – P. 1135–1146.

142. Shaffer, B. Graft–tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a new technique of intraarticular measurement and modified graft harvesting / B. Shaffer, W. Gow, J.E. Tibone // *Arthroscopy.* – 1993. – Vol. 9, N 6. – P. 633–646.

143. Shino, K. Rectangular tunnel double–bundle anterior cruciate ligament reconstruction with bone–patellar tendon–bone graft to mimic natural fiber arrangement / K. Shino, K. Nakata, N. Nakamura [et al.] // *Arthroscopy.* – 2008. – Vol. 24, N 10. – P. 1178–1183.

144. Shino, K. The resident's ridge as an arthroscopic landmark for anatomical femoral tunnel drilling in ACL reconstruction / K. Shino, T. Suzuki, T. Iwahashi [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Artrosc.* – 2010. – Vol. 18, N 9. – P. 1164–1168.

145. Siebold, R. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial "C"–shaped insertion site / R. Siebold, P. Schuhmacher, F. Fernandez [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 11. – P. 3136–3142.

146. Siegel, L. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management / L. Siegel, C. Vandenakker–Albanese, D. Siegel // *Clin. J. Sport Med.* – 2012. – Vol. 22, N 4. – P. 349–355.

147. Simard, S.G. Anterior cruciate ligament repair with suture tape augmentation of proximal tears and early anterior cruciate ligament reconstruction with suture tape augmentation result in comparable clinical outcomes with anterior cruciate ligament reconstruction at 2-year follow-up / S.G. Simard, C.J. Greenfield, A.N. Khoury // *Arthroscopy.* – 2025. – Vol. 41, N 6. – P. 1852–1867.

148. Śmigielski, R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees / R. Śmigielski, U. Zdanowicz, M. Drwięga [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 11. – P. 3143–3150.

149. Snoeker, B. Risk of knee osteoarthritis after different types of knee injuries in young adults: a population-based cohort study / B. Snoeker, A. Turkiewicz, K. Magnusson [et al.] // *British journal of sports medicine.* – 2020. – Vol. 54, N 12. – P. 725–730.

150. Sutherland, K. Marked increase in the incidence of anterior cruciate ligament reconstructions in young females in New Zealand / K. Sutherland, M. Clatworthy, M. Fulcher [et al.] // *ANZ J. Surg.* – 2019. – Vol. 89, N 9. – P. 1151–1155.

151. Svensson, M. Does the patellar tendon normalize after harvesting its central third?: a prospective long-term MRI study / M. Svensson, J. Kartus, L. Ejerhed [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2004. – Vol. 32, N 1. – P. 34–38.

152. Tachibana, Y. Anatomical rectangular tunnels identified with the arthroscopic landmarks result in excellent outcomes in ACL reconstruction with a BTB graft / Y. Tachibana, K. Shino, T. Mae [et al.] // *Knee Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc.* – 2019. – Vol. 27, N 8. – P. 2680–2690.

153. Tanifuji, K. Three-dimensional computed tomography confirmed that the meniscal root attachments and menisiofemoral ligaments are morphologically

consistent / K. Tanifuji, G. Tajima, J. Yan [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2020. – Vol. 28, N 11. – P. 3450–3456.

154. Tsuda, E. Techniques for reducing anterior knee symptoms after anterior cruciate ligament reconstruction using a bone–patellar tendon–bone autograft / E. Tsuda, Y. Okamura, Y. Ishibashi [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2001. – Vol. 29, N 4. – P. 450–456.

155. Tuca, M. Current trends in anterior cruciate ligament surgery. A worldwide benchmark study / M. Tuca, I. Valderrama, K. Eriksson [et al.] // *J. ISAKOS.* – 2023. – Vol. 8, N 1. – P. 2–10.

156. Uchida, R. Relationship between bone plug position and morphological changes of tunnel aperture in anatomic rectangular tunnel ACL reconstruction / R. Uchida, Y. Shiozaki, Y. Tanaka [et al.] // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2019. – Vol. 27, N 8. – P. 2417–2425.

157. van Eck, C.F. Evidence to support the interpretation and use of the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction checklist / C.F. van Eck, K. Gravare–Silbernagel, K. Samuelsson [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2013. – Vol. 95, N 20. – P. e153 (1–9).

158. Webster, K.E. Comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: A 15–year follow–up a randomized controlled trial / K.E. Webster, J.A. Feller, N. Hartnett [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, N 1. – P. 83–90.

159. Xie, X. A meta–analysis of bone–patellar tendon–bone autograft versus four–strand hamstring autograft for anterior cruciate ligament reconstruction / X. Xie, X. Liu, Z. Chen [et al.] // *Knee.* – 2015. – Vol. 22, N 2. – P. 100–110.

160. Yang, J.S. Risk of revision and reoperation after quadriceps tendon autograft ACL reconstruction compared with patellar tendon and hamstring autografts in a US cohort of 21,973 patients / J.S. Yang, H.A. Prentice, C.E. Reyes [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2024. – Vol. 52, N 3. – P. 670–681.

161. Yonetani, Y. Tibial insertion of the anterior cruciate ligament and anterior horn of the lateral meniscus share the lateral slope of the medial intercondylar ridge: a computed tomography study in a young, healthy population / Y. Yonetani, M. Kusano, A. Tsujii [et al.] // *The Knee*. – 2019. – Vol. 26, N 3. – P. 612–618.

162. Zhang, L. Anatomic femoral tunnel and satisfactory clinical outcomes achieved with the modified transtibial technique in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis / L. Zhang, J. Xu, Y. Luo [et al.] // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, N 16. – P. e35824.

163. Zhang, L. Race and gender differences in anterior cruciate ligament femoral footprint location and orientation: a 3D-MRI study / L. Zhang, T. Huang, C. Li [et al.] // *Orthop. Surg.* – 2024. – Vol. 16, N 1. – P. 216–226.