

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Р.Р. ВРЕДЕНА»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

БАНЦЕР

Сергей Александрович

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧРЕЗБОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И  
ПЕРЕДНЕМЕДИАЛЬНОЙ ТЕХНИК ФОРМИРОВАНИЯ КОСТНЫХ  
ТУННЕЛЕЙ ПРИ АРТРОСКОПИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ  
КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

14.01.15 – травматология и ортопедия

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук профессор  
Тихилов Рашид Муртузалиевич

Санкт-Петербург - 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6	
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАТОМИИ И ИЗОМЕТРИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ (ПКС). ПРИНЦИПЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПЛАНТАТА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) .....		15
1.1. Общие сведения об анатомии и изометрии ПКС .....	15	
1.2. Современные представления о строении ПКС .....	19	
1.2.1. Костные ориентиры на бедренной кости .....	20	
1.2.2. Костные ориентиры на большеберцовой кости.....	21	
1.2.3. Концепция двухпучкового строения.....	22	
1.2.4. Концепция лентовидного строения.....	23	
1.2.5. Прямое и не прямое прикрепление ПКС .....	24	
1.3. Принципы рационального размещения трансплантата .....	25	
1.3.1. Изометричное расположение трансплантата .....	26	
1.3.2. Анатомичная и индивидуализированная концепция .....	26	
1.4. Клинико-анатомическая характеристика чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник формирования костных туннелей.....	29	
1.4.1. Характеристика костных туннелей при чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техниках реконструкции ПКС .....	30	
1.4.2. Клинические результаты чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник формирования костных туннелей.....	34	
1.5. Резюме.....	35	
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....		37
2.1. Общая структура исследования.....	37	
2.2. Материал исследования.....	38	
2.2.1. Сведения о группах пациентов и методиках обследования .....	41	
2.3. Хирургическая техника .....	44	
2.3.1. Чрезбольшеберцовая техника .....	45	

2.3.2. Переднемедиальная техника с использованием линейки и формированием бедренного туннеля в проекции центральной части прикрепления ПКС.....	47
2.3.3. Переднемедиальная техника с позицией бедренного туннеля в проекции проксимальной части прикрепления ПКС с использованием оригинального устройства.....	50
2.3.4. Реабилитация.....	53
2.4. Методы обследования пациентов.....	53
2.4.1. Субъективная оценка.....	53
2.4.2. Объективное клиническое обследование.....	54
2.4.3. Оценка топографии костных туннелей.....	55
2.4.5. Оценка состояния и особенностей внутрисуставной перестройки трансплантата ПКС.....	62
2.4.6. Оценка характера расширения бедренного костного туннеля.....	65
2.5. Статистический анализ.....	66
ГЛАВА 3. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСХОДОВ ЧРЕЗБОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И ПЕРЕДНЕМЕДИАЛЬНОЙ ТЕХНИК РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ.....	68
3.1. Общая характеристика ретроспективных групп.....	68
3.1.1. Рецидивы нестабильности.....	69
3.2. Анатомо-функциональные среднесрочные результаты чрезбольшеберцовой техники реконструкции ПКС.....	69
3.2.1. Оценка трансплантата ПКС.....	69
3.2.2. Положение костных туннелей.....	69
3.2.3 Субъективные результаты оперативного лечения.....	71
3.2.4. Объективные результаты оперативного лечения.....	71
3.3. Влияние положения туннелей на клинические результаты.....	72
3.4. Оценка возможности и условий для анатомичного размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники.....	77

3.5. Анатомо-функциональные среднесрочные результаты центрально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции ПКС .....	83
3.5.1. Оценка трансплантата ПКС .....	83
3.5.2. Положение костных туннелей .....	83
3.5.3. Субъективные результаты оперативного лечения .....	85
3.5.4. Объективные результаты оперативного лечения .....	85
3.5.5. Сравнительный анализ результатов чрезбольшеберцовой и центрально-анатомичной переднемедиальной техник реконструкции ПКС .	86
3.6. Резюме .....	89

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСХОДОВ ЧРЕЗБОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И ДВУХ ВАРИАНТОВ ПЕРЕДНЕМЕДИАЛЬНОЙ ТЕХНИК РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ.....	92
---	----

4.1. Обоснование необходимости в разработке модифицированного способа формирования бедренного туннеля при переднемедиальной технике .	92
4.1.1. Рациональный вариант переднемедиальной реконструкции ПКС и прицельное устройство для разметки проксимально-анатомичного бедренного туннеля.....	95
4.1.2. Модифицированный вариант переднемедиальной техники реконструкции ПКС с использованием оригинального прицельного устройства .....	99
4.2. Сравнительный анализ ближайших анатомо-функциональных результатов лечения пациентов проспективных групп.....	110
4.2.1. Положение костных туннелей у пациентов проспективных групп .....	111
4.2.2. Анализ клинических результатов и динамики восстановления функции у пациентов проспективных групп.....	115
4.3. Особенности внутрисуставной перестройки аутотрансплантата ПКС в первый год после операции.....	125

4.4. Сравнительная оценка расширения бедренного туннеля при чрезбольшеберцовой и переднемедиальной технике реконструкции ПКС.....	131
4.5. Сравнительный анализ результатов переднемедиальной техники реконструкции ПКС с центрально-анатомичным и проксимально-анатомичным положением бедренного туннеля .....	133
4.5.1. Положение костных туннелей.....	133
4.5.2. Оценка субъективных и объективных результатов двух вариантов переднемедиальной реконструкции ПКС.....	135
4.6. Резюме.....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	140
ВЫВОДЫ.....	156
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....	158
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	159
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	160
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	174
Приложение 1. Шкала-опросник пациента IKDC-2000 (субъективная оценка).....	174
Приложение 2. Балльная шкала оценки функционального состояния коленного сустава (Lysholm J., Gillquist J., 1982; Tegner Y., Lysholm J., 1985)	177
Приложение 3. Шкала-опросник пациента KOOS .....	178
Приложение 4. Функциональная шкала оценки коленного сустава.....	185
IKDC-2000 (объективная часть) .....	185

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

Повреждения передней крестообразной связки (ПКС) являются частой травмой коленного сустава и характеризуются выраженным нарушением его функции (Миронов С.П., Миронова З.С., Орлецкий А.К., 2001). Такие поражения приводят к развитию нестабильности коленного сустава, существенно увеличивают вероятность повреждений менисков и хряща и, вследствие этого, повышают риск развития посттравматического остеоартроза (Neuman P. et al., 2008; Ajuied A. et al., 2014; Tsoukas D. et al., 2016).

Поврежденная связка из-за внутрисуставного положения не имеет достаточных условий для полноценной репаративной регенерации, поэтому основным методом лечения разрывов ПКС, в особенности у молодых и физически активных лиц, является ее оперативное восстановление. Активная хирургическая тактика позволяет достигнуть более высоких функциональных результатов по сравнению с консервативными методами и является необходимым условием возвращения к спортивным состязаниям (Рыбин А.В. с соавт., 2015; Прохоренко В.М., Фоменко С.М., Симагаев Р.О., 2016).

Предложено множество методик восстановления ПКС с использованием различных трансплантатов. Однако, по мнению многих исследователей, основным фактором, влияющим на результаты оперативного лечения, является положение костных туннелей для размещения трансплантата (Лазишвили Г.Д. с соавт., 2006; Amis A.A., Jacob R.P., 1998; Kato Y. et al., 2010; Araujo P.H. et al., 2015; Fu F.H. et al., 2015).

Широко распространенная с 90-х годов XX века чрезбольшеберцовая техника реконструкции ПКС предполагает сверление бедренного туннеля через сформированный ранее большеберцовый туннель. Основными ее преимуществами считают относительно простую хирургическую технику и изометричное положение трансплантата (Robin B.N. et al., 2015). Однако данная техника, по мнению ряда авторов, не позволяет разместить костные туннели в местах нормального прикрепления ПКС и приводит к не анатомичной (более

вертикальной) ориентации трансплантата (Arnold M.P., Kooloos J., van Kampen A., 2001; Kopf S. et al., 2010; Strauss E.J. et al., 2011). Именно не анатомичное положение трансплантата ПКС обуславливает остаточную нестабильность коленного сустава у многих пациентов после восстановления его функции. Данные симптомы впоследствии не позволяют примерно половине пациентов вернуться к прежнему спортивному уровню и предрасполагают к раннему развитию посттравматического остеоартроза коленного сустава (Ardern C.L. et al., 2012; Varenius B. et al., 2014 и др.).

С целью улучшения клинических результатов в 2000-х годах рядом исследователей во главе с доктором Freddy Fu из Питтсбурга (США) была разработана «анатомичная концепция», согласно которой предлагалось размещать трансплантат в центрах зоны прикрепления ПКС, т.е. между переднемедиальным и заднелатеральным пучками связки (Martins C.A.Q. et al., 2008; Fu F.H. et al., 2015). Для реализации данного условия многие хирурги перешли на независимые техники формирования костных туннелей (Altertorn-Geli E. et al., 2010; Karlsson J. et al., 2011; Murawski D.C. et al., 2013). Другие авторы предложили модифицировать традиционную чрезбольшеберцовую технику, ориентируя трансплантат в более косом, чем обычно, направлении (Rue J.P., Ghodadra N., Bach V.R. Jr., 2008; Noh J.H. et al., 2011; Lee J.K. et al., 2014; Youm Y.S. et al., 2014). Среди хирургов все большую популярность стала приобретать переднемедиальная техника реконструкции ПКС, которая позволяла точнее установить трансплантат в зонах нормального прикрепления связки. Анатомо-функциональные кадаверные исследования показали значительные преимущества анатомической позиции костных туннелей над изометрическим положением: биомеханическое поведение трансплантата ПКС приближалось к норме, более полно восстанавливалась стабильность коленного сустава (Steiner M.E. et al., 2009; Bedi A. et al., 2011; Kondo E. et al., 2011; Wang H., Fleischli J.E., Zheng N.N., 2013). Однако анализ среднесрочных клинических результатов переднемедиальной техники показал отсутствие значительного улучшения по сравнению с чрезбольшеберцовой методикой (Chalmers P.N. et al., 2013; Noh J.H.

et al., 2013; Mulcahey M.K. et al., 2014; Bohn M.V. et al., 2015; Robin B.N. et al., 2015). Причем некоторые авторы сообщали об увеличении числа ревизионных операций после анатомической пластики, что связывали с техническими ошибками более сложной техники, а также с избыточным натяжением менее изометричного трансплантата (Rahr-Wagner L. et al., 2013 и др.). Таким образом, среди хирургов отсутствует единое мнение о выборе оптимальной техники для размещения костных туннелей.

### **Степень разработанности темы исследования**

Основополагающим условием для успешной реконструкции ПКС является понимание и изучение ее анатомии и биомеханики, что является предметом активных дискуссий в настоящее время. Широко распространенной среди хирургов остается концепция двухпучкового строения ПКС, согласно которой ее разделяют на переднемедиальный и заднелатеральный анатомо-функциональные пучки (Girgis F.G., Marshall J.L., Monajem A., 1975; Amis A.A., Jacob R.P., 1998; Colombet P. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007). Однако ряд авторов определяют ПКС как единую структуру, напоминающую ленту (Triantafyllidi E. et al., 2013; Smigielski R. et al., 2015). В последние годы были проведены многочисленные анатомические, гистологические и биомеханические исследования ПКС, где была подробно изучена биомеханическая роль функциональных пучков, выделены волокна с прямым и непрямым прикреплением и определены особенности их функционирования. Данные результаты помогают хирургам более точно понимать цели и задачи реконструкции ПКС.

Оптимальная позиция костных туннелей для размещения трансплантата является широко обсуждаемым в литературе вопросом. Авторы анатомичной концепции считают наиболее рациональным размещение связки в центрах мест прикрепления, при котором трансплантат располагается в зоне обоих анатомо-функциональных пучков (Irrrazaval S. et al., 2016). По данным других исследователей, такое положение является не изометричным и приводит к



значительным нагрузкам на трансплантат, что повышает вероятность его раннего разрыва (Lubowitz J.H., 2014; Araujo P.H. et al., 2015).

Формирование бедренного туннеля считают более сложным хирургическим этапом реконструкции ПКС, чем большеберцового. У больных с хроническими повреждениями ПКС, в условиях дегенеративно-дистрофических изменений коленного сустава, четкая артроскопическая визуализация места бедренного прикрепления связки затруднена. Анатомические ориентиры, такие как остатки культи ПКС, латеральный межмышечковый гребень (ЛМГ) и латеральный бифуркационный гребень (ЛБГ), позволяют определить необходимое место для формирования бедренного туннеля, однако их визуализация возможна не во всех случаях (Маланин Д.А. с соавт., 2013). Использование известных специальных направителей помогает хирургам точнее определить место туннеля, но также не исключает технических ошибок и не учитывает индивидуальных анатомических особенностей пациента (Королев А.В. с соавт., 2016).

Таким образом, анализ современной литературы показывает отсутствие единого мнения среди хирургов об оптимальной методике реконструкции ПКС. Актуальным является определение рационального положения костных туннелей и техники их формирования, а также разработка относительно простого и эффективного метода их интраоперационной разметки. Практическая важность данных вопросов определила цель и задачи диссертационного исследования.

**Цель исследования:** на основании сравнительного анализа анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник реконструкции передней крестообразной связки улучшить методику операции за счет обоснования рационального положения костных туннелей и совершенствования техники их формирования.

#### **Задачи исследования**

1. Провести анализ среднесрочных анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой реконструкции передней крестообразной связки и оценить влияние положения костных туннелей на клинические исходы.

2. На основе трехмерной визуализации предоперационных компьютерных томограмм больных выполнить моделирование возможных вариантов размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники их формирования, а также оценить условия, необходимые для анатомической реконструкции передней крестообразной связки.

3. Провести ретроспективный сравнительный анализ среднесрочных анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и центрально-анатомичной переднемедиальной техник реконструкции передней крестообразной связки.

4. Разработать и апробировать в клинике модифицированный способ проксимально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции передней крестообразной связки и разработать техническое устройство для улучшения позиционирования бедренного туннеля.

5. Изучить в сравнительном плане особенности внутрисуставной перестройки сухожильных аутотрансплантатов, а также характер расширения костных туннелей в течение первых 12 месяцев после реконструкции передней крестообразной связки с использованием чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник формирования костных туннелей.

6. Провести сравнительный анализ анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и двух вариантов переднемедиальной техник реконструкции передней крестообразной связки и определить наиболее эффективную.

### **Научная новизна**

1. На основании анализа трехмерных компьютерных томограмм профильных пациентов получены новые данные об особенностях локализации костных туннелей в бедренной и большеберцовой костях, а также определено их влияние на среднесрочные клинические результаты чрезбольшеберцовой реконструкции передней крестообразной связки.

2. На основании трехмерного компьютерного моделирования возможных вариантов чрезбольшеберцового формирования костных туннелей впервые изучены особенности топографии этих туннелей и определены условия для их наиболее рационального позиционирования.

3. Разработаны и защищены патентом РФ на изобретение новое прицельное устройство для определения места формирования бедренного костного туннеля и оригинальный способ его использования при артроскопической реконструкции передней крестообразной связки.

4. Проведенный анализ магнитно-резонансной томографии позволил получить новые сведения об особенностях внутрисуставной перестройки сухожильных аутотрансплантатов и расширения костных туннелей в зависимости от их положения в течение первого года после проведения операций артроскопической пластики передней крестообразной связки.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Полученные данные позволили обосновать необходимость точного позиционирования костных туннелей и определить рациональную технику для их формирования при артроскопической реконструкции передней крестообразной связки.

2. Разработанная методика интраоперационной разметки бедренного туннеля позволяет произвести у профильных пациентов его точное формирование в наиболее рациональной позиции с учетом индивидуальных анатомических особенностей.

3. Полученные данные о внутрисуставной перестройке сухожильного аутотрансплантата позволили уточнить рациональные сроки возвращения пациентов к активным физическим и спортивным нагрузкам после операций изученного типа.

### **Методология и методы исследования**

Объектом исследования являлись больные с первичными повреждениями передней крестообразной связки после различных методов ее реконструкции с

использованием однотипного сухожильного аутологичного трансплантата. Предметом изучения являлись позиция костных туннелей и особенности функционирования пациентов с неповрежденным трансплантатом ПКС, поэтому больные с его разрывами (по данным анамнеза и контрольной МРТ) были исключены из сравнительного анализа.

В качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение о том, что достижение в ходе операции по замещению поврежденной ПКС рационального анатомического положения трансплантата будет способствовать улучшению клинических исходов.

Исходя из поставленных задач, в работе применялись соответствующие методы исследования. 1. Проведен ретроспективный сравнительный анализ среднесрочных анатомо-функциональных результатов известных способов чрезбольшеберцовой и переднемедиальной реконструкции ПКС, в результате были определены их недостатки и обоснована необходимость достижения рациональной анатомической позиции костных туннелей. 2. Выполнено предоперационное компьютерное моделирование возможных вариантов чрезбольшеберцового проведения туннелей и поиск условий для их рационального анатомического позиционирования. 3. Разработан и апробирован собственный способ переднемедиальной реконструкции ПКС, в основе которого лежит более точное позиционирование бедренного туннеля в оптимальной проксимально-анатомической зоне прикрепления связки. 4. Проведен проспективный сравнительный анализ ближайших анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и собственного способа переднемедиальной реконструкции ПКС, в итоге были выявлены клинические преимущества последнего. Для достижения достоверных результатов применены следующие методы: трехмерная реконструкция послеоперационных компьютерных изображений, магнитно-резонансная томография в стандартных и специальных режимах в динамике в течение 12 месяцев после операции, компьютерное 3-Д моделирование возможных вариантов чрезбольшеберцового проведения туннелей. При клиническом субъективном и объективном обследовании

использовали общепризнанные шкалы-опросники IKDC-2000, KOOS и Lysholm, мануальные тесты оценки функции трансплантата ПКС – «переднего выдвигающего ящика», Лахмана, «pivot-shift», инструментальную артрометрию. При сравнительном анализе использовали средства медицинской статистики.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Позиционирование туннелей в бедренной и большеберцовой костях при артроскопической пластике передней крестообразной связки оказывает значимое влияние на ближайшие (до года) и среднесрочные (от 1 до 5 лет) клинические результаты указанных операций.

2. Формирование костных туннелей для размещения трансплантата передней крестообразной связки в проксимально-анатомичной части бедренного прикрепления восстанавливаемой связки и в переднемедиально-центральной части ее большеберцового прикрепления обеспечивает лучшие ближайшие и среднесрочные клинические результаты оперативного лечения по сравнению с двумя другими изученными вариантами позиционирования костных туннелей.

3. Использование задневерхнего края суставной поверхности латерального мыщелка бедренной кости в качестве референтной структуры при проведении операций артроскопической пластике передней крестообразной связки с переднемедиальной техникой формирования костных туннелей позволяет сформировать бедренный туннель в наиболее рациональной позиции с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента.

### **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 VII и VIII конференциях молодых ученых Северо-Западного Федерального округа

«Актуальные вопросы травматологии и ортопедии» (СПб., 2016, 2017); XII Конгрессе Российского Артроскопического Общества (Москва, 2016); 1257-м заседании научно-практической секции ассоциации травматологов-ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области (СПб., 2016); I съезде травматологов-ортопедов Центрального Федерального округа (Смоленск, 2017); Третьем Всероссийском конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах мирного и военного времени. Новое в организациях и технологиях» (СПб., 2018); XI Всероссийском съезде травматологов-ортопедов (СПб., 2018).

По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации научных результатов диссертационных исследований. В соавторстве с О.Е. Богопольским и А.П. Трачуком получен Патент РФ на изобретение № 2655079 от 23.05.2018г. «Прицельное устройство для определения места формирования бедренного костного туннеля и способ его использования при артроскопической реконструкции передней крестообразной связки».

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую работу клиники ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России. Материалы диссертации используются также при обучении на базе указанного института клинических ординаторов, аспирантов и травматологов-ортопедов, проходящих усовершенствование по программам дополнительного образования.

### **Объем и структура диссертации**

Материалы диссертации представлены на 185 страницах текста и включают введение, обзор литературы, главу, посвященную описанию материалов и методов исследования, две главы собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации, список сокращений, список литературы и приложения. Диссертационная работа содержит 133 рисунка и 15 таблиц. Список литературы включает 155 источников, из них 15 – отечественных и 140 зарубежных авторов.

# ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАТОМИИ И ИЗОМЕТРИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ (ПКС). ПРИНЦИПЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПЛАНТАТА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## 1.1. Общие сведения об анатомии и изометрии ПКС

Передняя крестообразная связка является внутрисуставной экstrasиновиальной структурой коленного сустава длиной  $31,1 \pm 3,1$  мм, которая соединяет суставные концы бедренной и большеберцовой костей (Petersen W., Tillman B., 2002; Fujimaki Y. et al., 2016). Основу ее составляет матрица, построенная на 90% из коллагена I типа и на 10% из коллагена III типа (Baek G.H. et al., 1998).

Площадь поперечного сечения ПКС в средней трети (в области так называемого перешейка) составляет от  $35,4 \text{ мм}^2$  до  $46,9 \text{ мм}^2$ , что примерно в 3 раза меньше бедренного и в 3,5 раза меньше площади большеберцового прикрепления (Iriuchishima T. et al., 2012; Triantafyllidi E. et al., 2013; Smigielski R. et al., 2015; Siebold R. et al., 2015; Fujimaki Y. et al., 2016).

Общепринятой среди большинства хирургов и анатомов остается двухпучковая концепция строения ПКС. Согласно данным представлениям, она состоит из двух анатомо-функциональных пучков – переднемедиального и заднелатерального, которые получили свое название согласно их месту прикрепления к большеберцовой кости (Girgis F.G., Marshall J.L., Monajem A., 1975; Amis A.A., Jacob R.P., 1998; Colombet P. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007).

При разогнутом коленном суставе переднемедиальный пучок ПКС располагается в проксимальной части бедренного прикрепления, а заднелатеральный – в дистальной части. По мере сгибания в коленном суставе до угла  $90^\circ$ , происходит изменение их взаимоотношения. При таком положении переднемедиальный пучок на бедре лежит кзади от заднелатерального пучка.

В 1911-м году Rudolf Fick одним из первых подробно описал характер взаимоотношения двух пучков ПКС и указал, что они остаются натянутыми при

любых движениях в коленном суставе. Данная работа послужила основанием для развития теории «изометрии» (Schindler O.S., 2012). Указанный термин по отношению к крестообразным связкам означает, что расстояние между бедренным и большеберцовым прикреплениями остается неизменным при любом угле сгибания в коленном суставе (Penner D.A. et al., 1988; Sidles J.A. et al., 1988; Hefzy M.S., Grood E.S., Noyes F.R., 1989; Bylski-Austrow D.I. et al., 1990; Amis A.A., Zavras T.D., 1995; Collete M. et al., 1996).

С 80-х годов XX века основным условием успешной реконструкции ПКС считалось размещение трансплантата в наиболее изометричных местах прикрепления связки. Достижение изометричного положения трансплантата должно было обеспечить хорошую стабильность коленного сустава при полной амплитуде движений (Melhorn J.M., Henning C.E., 1987; Collete M. et al., 1996). С целью поиска таких точек было проведено множество исследований, большинство из которых были выполнены на препаратах коленных суставов (Penner D.A. et al., 1988; Sidles J.A. et al., 1988; Hefzy M.S., Grood E.S., Noyes F.R., 1989; Bylski-Austrow D.I. et al., 1990; Amis A.A., Dawkins G.P.C., 1991; Kurosawa H. et al., 1991; Raunest J., 1991; Furia J.P. et al, 1997). В ходе исследований изометрию оценивали на примерах с неповрежденной, резецированной или восстановленной связкой. Допустимым изменением длины трансплантата во всей амплитуде движений в коленном суставе было определено значение около 2 мм (от 5% до 9,4%) (Arms S.W. et al, 1984; Melhorn J.M., Henning C.E., 1987; Amis A.A., Dawkins G.P., 1991; Kurosawa H. et al., 1991).

Ряд авторов проводили количественный интраоперационный анализ изменений длины трансплантата ПКС с использованием специальных измерительных устройств – изометров (Shutzer S.F., 1989; Colville M.R., Bowman R.R., 1993; Collete M. et al., 1996). В экспериментальном исследовании на 19-ти анатомических препаратах коленных суставов помещали датчик напряжения на поверхность переднемедиальной части ПКС и изучали особенности растяжения связки. В результате изменение ее длины составило 5,5%, т.е. было менее 2 мм (Arms S.W. et al, 1984).



Проведенные в конце 1980-х годов биомеханические исследования поведения ПКС позволили швейцарским хирургам N.F. Friedrich и W.R. O'Brien выдвинуть теорию так называемой «функциональной изометрии». Было показано, что при полностью разогнутом коленном суставе все волокна ПКС натянуты и располагаются параллельно друг другу. Волокна, соединяющие изометрические точки крестообразной связки, функционируют как жесткие звенья в четырехзвенном шарнирном соединении и в качестве оси вращения для связки во время сгибания и разгибания. Эти «наиболее изометрические» волокна всегда натягиваются первыми. Остальные «неизометрические» волокна расположены так, что их можно постепенно перевести из расслабленного в натянутое состояние по мере того, как биомеханические требования возрастают. То есть, «изометричность» ПКС прогрессивно уменьшается спереди назад. Авторы определили наличие изометрических точек ПКС, которые соответствовали прикреплению наиболее передних волокон, а также зоны относительной изометрии для большеберцового и бедренного прикрепления ПКС. Кроме того, они сделали вывод о том, что трансплантат ПКС, помещенный в центре анатомического прикрепления, будет не изометричным (Jacob R.P., Staubli H.-U., 1992).

По мнению многих авторов, наиболее значимо на изометрию трансплантата ПКС влияет положение бедренного туннеля по сравнению с большеберцовым. Оптимальным местом для его формирования называли точку, расположенную непосредственно впереди от проксимальной части бедренного прикрепления. Искомая точка располагалась в месте перехода крыши межмышцелковой вырезки бедренной кости в ее боковую стенку на латеральной мышцелке, то есть в так называемой позиции «over-the-top». Центр туннеля устанавливали во время операции с помощью специальных ориентирующих устройств, оставляя минимальную (1–2 мм) стенку от задневерхнего края латеральной мышцелки бедренной кости (Melhorn J.M., Henning C.E., 1987; Bylski-Austrow D.I. et al., 1990; Sapega A.A., Moyer R.A., Schnek C., 1990; Amis A.A., Dawkins G.P., 1991; Kurosawa H. et al., 1991; Fleming B. et al., 1993; Nawabi D.H. et al., 2016).

С целью обобщения более ранних исследований, T.D. Zavras с соавторами в 2001 году провели работу, в которой было проанализировано 13 изометричных точек на латеральном мышечке бедренной кости, ранее описанных другими авторами. Целью исследования было проверить, насколько изменяется длина трансплантата, расположенного в этих зонах. В результате, лишь 4 точки на бедренной кости показали увеличение длины менее 1 мм, при этом все они располагались в проксимальной части анатомического прикрепления примерно в 3 мм кпереди от заднего края линии Blumensaat'a и на 10:30–11:00 часов условного циферблата (Zavras T.D. et al., 2001).

Согласно результатам исследований других авторов, более биомеханически обоснованной зоной для размещения трансплантата ПКС была центральная часть ее бедренного прикрепления. Они объясняли преимущество такой позиции трансплантата ПКС тем, что он будет одновременно перекрывать часть переднемедиального и заднелатерального пучков, принимая на себя их функцию в обеспечении ротационной и передне-задней стабильности коленного сустава. Меньшую изометричность центрально-ориентированного трансплантата они оправдывали тем, что ПКС в целом не является изометрической структурой (Shutzer S.F., Christen S., Jacob R.P., 1989; Raunest J., 1991, и др.).

Так, M.S. Hefzy с соавторами (1989) опубликовали работу, в которой было проведено изучение факторов, влияющих на изменение длины ПКС. В результате исследования были сделаны выводы, что ПКС не имеет абсолютно изометрической точки. Авторы выделили зоны, наименее подверженные растяжению при различных движениях, которые соответствовали центру прикрепления ПКС на бедренной и задней части прикрепления на большеберцовой костях (Hefzy M.S., Grood E.S., Noyes F.R., 1989).

Схожие результаты получили в 1991-м году J.M. Hollis с соавторами, которые на 10-ти препаратах коленных суставов изучили изменение длины трех частей ПКС при различных углах сгибания и нагрузках. В результате исследователи пришли к выводу, что однопучковый трансплантат не

воспроизводит в полной мере сложную биомеханику нормальной ПКС (Hollis J.M. et al., 1991).

Ряд авторов все же рекомендовали размещать трансплантат в переднемедиальной части бедренного прикрепления ПКС, т.к. в таком случае он не будет испытывать избыточного напряжения при функционировании сустава (Odensten M., Gillquist J., 1985; Shutzer S.F., Christen S., Jacob R.P., 1989; Sapega A.A., 1990; Kurosawa H. et al., 1991; Raunest J., 1991; Smith J.O. et al., 2014).

Таким образом, сохраняются противоречия между стремлением достичь изометрии трансплантата ПКС и анатомическим принципом восстановления поврежденной связки. Трансплантат ПКС, размещенный в центре анатомического прикрепления может быть не изометричным, а если он будет установлен в изометричных точках, то он может находиться вне зоны «анатомии» (Melhorn J.M., Henning C.E., 1987; Furia J.P. et al, 1997).

## 1.2. Современные представления о строении ПКС

С 2000-х годов по настоящее время проводится большое количество исследований, направленных на подробное изучение анатомии ПКС и особенностей ее прикрепления. За это время различными авторами была широко представлена как макро-, так и микроскопическая картина ее строения.

Так, на основании ряда исследований было выявлено, что ПКС прикрепляется к задней части внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости (ЛМБК) и имеет овальную (Luites J.W.H. et al., 2007) или полуовальную форму (Dodds J.A., Arnoczky S.P., 1994). Спереди она ограничена костным выступом – латеральным межмышцелковым гребнем, сзади – краем хряща внутренней поверхности ЛМБК (Colombet P. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007; Siebold R. et al., 2008). По данным разных авторов, бедренное прикрепление имеет длину от 12,7 мм до 18,3 мм, ширину от 3,5 до 10,3 мм. Площадь его составляет от  $69,8 \pm 25 \text{ мм}^2$  до  $196,8 \pm 23,1 \text{ мм}^2$ , что соответствует примерно 18% от всей внутренней поверхности ЛМБК (Harner C.D. et al., 1999; Colombet P. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007; Edwards A., Bull A.M., Amis A.A., 2008; Siebold R. et

al., 2008; Iwahashi T. et al., 2010; Kopf S. et al., 2011; Iriuchishima T. et al., 2015; Kawaguchi Y. et al., 2015; Smigielski R. et al., 2015; Fujimaki Y. et al., 2016).

На большеберцовой кости ПКС прикрепляется спереди от медиального бугорка и вдоль латерального края медиального гребня межмышечкового возвышения и имеет овальную или эллипсовидную форму (Маланин Д.А. с соавт., 2015; Dodds J.A., Arnoczky S.P., 1994; Luites J.W.H. et al., 2007; Nishimori M., Furuta T., Deie M., 2014; Oka S. et al., 2016). По данным разных авторов, большеберцовое прикрепление имеет длину от 14,0 до 18,1 мм, ширину от 9,0 до 12,7 мм. Площадь его составляет от  $114 \pm 36$  до  $136 \pm 33$  мм<sup>2</sup>, что соответствует примерно 6% от общей поверхности плато большеберцовой кости (Маланин Д.А. с соавт., 2015; Harner C.D. et al., 1999; Colombet P. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007; Siebold R. et al., 2008; Kopf S. et al., 2011; Iriuchishima T. et al., 2015; Fujimaki Y. et al., 2016; Guenther D. et al., 2017).

### **1.2.1. Костные ориентиры на бедренной кости**

Костные ориентиры, определяющие места прикрепления ПКС, имеют большое значение для интраоперационной разметки мест формирования костных туннелей, особенно в случаях застарелых повреждений, когда у большинства пациентов отсутствует культя ПКС.

В 2007-м году М. Ferretti с соавторами провели анатомическое исследование бедренного прикрепления ПКС. Ими были предложены термины «латеральный межмышечковый гребень» и «латеральный бифуркационный гребень». ЛМГ был описан как костный выступ длиной от 12 до 17,5 мм в проксимально-дистальном направлении. ЛБГ по данным авторов, был длиной от 2 до 4,5 мм и начинался от ЛМГ в направлении перпендикулярно кзади (Ferretti M. et al., 2007).

В последующем, при помощи рентгенологических и гистологических методов, рядом авторов была описана более точная локализация ЛМГ. По данным Konsei Shino с соавторами данный костный выступ располагается на расстоянии от 7 до 10 мм от заднего края хряща латерального мыщелка бедренной кости (Shino K. et al., 2010). По результатам исследований других авторов ЛМГ

располагается на расстоянии от 7,7 до 14,8 мм от данной структуры (Nawabi D.H. et al., 2016; Norman D. et al., 2017). По общепринятому мнению ЛМГ является передней границей бедренного прикрепления ПКС, тогда как ЛБГ разделяет ее на переднемедиальный и заднелатеральный анатомо-функциональные пучки (Ferretti M. et al., 2007; Nawabi D.H. et al., 2016; Norman D. et al., 2017). Однако данные костные ориентиры могут быть выявлены не у всех пациентов. Так, по данным разных авторов, ЛМГ может быть визуализирован от 90% до 100% случаев, тогда как ЛБГ встречается лишь примерно у половины пациентов (Сучилин И.А., Маланин Д.А., Краюшкин И.А., 2012; Purnell M.L., Larson A.I., Clancy W., 2008; Shino K. et al., 2010).

Еще одним костным ориентиром на внутренней поверхности ЛМБК может служить задневерхний край хряща. А. Hart с соавторами в 2015 году на примере 8 препаратов коленных суставов определили, что при согнутом до 90° суставе центр бедренного прикрепления ПКС находится на 3 мм выше и на 12 мм кпереди от наиболее проксимальной точки заднего контура хряща ЛМБК (Hart A., Nan Y., Martineau P.A., 2015).

### **1.2.2. Костные ориентиры на большеберцовой кости**

На большеберцовой кости область прикрепления ПКС имеет более четкие и постоянные костные ориентиры. M.L. Purnell с соавторами (2008) при помощи компьютерной томографии с трехмерной реконструкцией оценили 8 препаратов коленных суставов. По их данным, наиболее задняя часть ПКС прикрепляется к гребню, который соединяет медиальный и латеральный бугорки большеберцовой кости. Гребень располагается на 16,5 мм кпереди от переднего края задней крестообразной связки (ЗКС). По бокам область большеберцового прикрепления ПКС ограничена медиальным и латеральным гребнями межмышцелкового возвышения (Purnell M.L., Larson A.I., Clancy W., 2008).

В 2012-м году M. Ferretti с соавторами на примере 8-ми непарных препаратов коленных суставов оценили ориентиры большеберцового прикрепления ПКС. По их данным, наиболее постоянной структурой для

разметки костного туннеля является медиальный бугорок большеберцовой кости, при этом центр ПКС располагался на расстоянии 5,7 мм кпереди от него (Ferretti M. et al., 2012).

М. Nishimori с соавторами (2014) провели исследование 100 пациентов в возрасте от 15 до 57 лет. Всем пациентам перед операцией была выполнена компьютерная томография коленного сустава с последующей трехмерной реконструкцией. Авторам во всех случаях удалось визуализировать и подробно описать костную структуру высотой 1,2 мм и шириной 11,5 мм – бугорок Парсона (Nishimori M., Futura T., Deie M., 2014). Данный бугорок является передней границей большеберцового прикрепления, что было подтверждено при гистологическом исследовании, выполненном другими авторами (Tensho K. et al., 2014; Oka S. et al., 2016).

### **1.2.3. Концепция двухпучкового строения**

До настоящего времени широко распространенной остается концепция двухпучкового строения ПКС. Разделение на переднемедиальный и заднелатеральный пучки было проведено на основании макроскопических, функциональных и гистологических исследований. Полагают, что каждый пучок имеет собственное место прикрепления к бедренной и большеберцовой костям (Colombet P. et al., 2006; Edwards A., Bull A.M., Amis A.A., 2008).

М. Ferretti с соавторами (2007) на основании гистологического исследования определил, что на сроке 20 недель внутриутробного развития у человека присутствует хорошо кровоснабжаемая перегородка, разделяющая ПКС на два пучка (Ferretti M. et al., 2007).

По данным разных авторов, длина прикрепления переднемедиального пучка на бедренной кости составляет от 7,2 до 9,2 мм, ширина от 4,7 до 7,1 мм, площадь от 44 до 120 мм<sup>2</sup>. Длина заднелатерального пучка – от 6,0 до 7,0 мм, ширина – от 4,7 до 7,0 мм, площадь составляет 40 до 76,8 мм<sup>2</sup> (Harner C.D. et al., 1999; Mochizuki T. et al., 2006; Ferretti M. et al., 2007; Edwards A., Bull A.M., Amis A.A., 2008; Siebold R. et al., 2008).

ПКС имеет более широкое прикрепление к большеберцовой кости, чем к бедренной. В литературе описано большое количество вариантов большеберцового прикрепления, а также доказано, что размер его зависит, в том числе, и от антропометрических данных пациента (Colombet P. et al., 2006; Edwards A., Bull A.M., Amis A.A., 2008). По ряду исследований, переднемедиальный пучок наиболее выражен на большеберцовой кости. Так, площадь его прикрепления составляет от 56 до 67 мм<sup>2</sup>, тогда как заднелатерального – от 52 до 53 мм<sup>2</sup> (Harner C.D. et al., 1999; Siebold R. et al., 2008).

#### 1.2.4. Концепция лентовидного строения

R. Smigielski с соавторами (2015) провели детальное изучение 111-ти свежемороженых препаратов коленных суставов. Согласно их анатомическим исследованиям, ПКС по строению напоминает ленту и имеет более узкие зоны прикрепления, чем представлялось прежде. Также авторам ни в одном наблюдении не удалось обнаружить четкого деления ее на дискретные пучки. Длина ПКС в области бедренного прикрепления по их данным составила 16,0 мм, толщина – 3,5 мм, длина в области средней трети около 11,4 мм, толщина – 3,4 мм (Smigielski R. et al., 2015).

Данные анатомо-гистологических исследований места большеберцового прикрепления ПКС, полученные R. Siebold с соавторами (2014) и S. Ока с соавторами (2016), подтвердили представления о строении ПКС как однородной лентовидной структуры. По их мнению, данная связка имеет прямое прикрепление к большеберцовой кости узкой полоской лишь по краю медиального гребня межмышцелкового возвышения. Авторам не удалось обнаружить заднелатеральной части большеберцового прикрепления ПКС, что дало основания назвать заднюю часть ПКС «заднемедиальным функциональным пучком» (Siebold R. et al., 2014; Ока S. et al., 2016).

Недавние анатомические исследования ПКС в различных положениях коленного сустава показали, что в положении сгибания под углом 90°

лентовидная ПКС разворачивается наружу по направлению от бедра к большеберцовой кости на  $83,6 \pm 9,4^\circ$ . В этом положении авторы у 26% исследованных суставов наблюдали в проксимальной трети передней поверхности ПКС продольную борозду. То есть, при сгибании коленного сустава под прямым углом внешний вид ПКС действительно напоминал структуру, состоящую из отдельных пучков (Noailles T. et al., 2017).

### 1.2.5. Прямое и не прямое прикрепление ПКС

Известно, что прикрепление ПКС к кости осуществляется при помощи переходной зоны, в которой выделяют участки фиброзного и минерализованного хряща (Cooper R.R., Misol S., 1970). Однако в ряде гистологических исследований описано, что в некоторых участках прикрепления ПКС коллагеновые волокна вплетаются в кость минуя переходную зону. Такой тип прикрепления был назван «непрямым» (Iwahashi T. et al., 2010).

N. Sasaki соавторами (2012) провели гистологическую оценку бедренного прикрепления ПКС. Авторами было установлено, что она имеет прямое прикрепление к бедренной кости полоской шириной от 4,6 до 6,0 мм. При этом передней границей его является ЛМГ. Непрямые волокна располагаются по заднему краю суставной поверхности ЛМБК (Sasaki N. et al., 2012). Впоследствии благодаря своему внешнему виду они получили название «веерообразные» волокна (Mochizuki T. et al., 2014; Iriuchishima T. et al., 2016).

Дальнейшие исследования показали, что натяжение и ориентация прямых волокон по отношению к бедренной кости изменяются в зависимости от угла сгибания в коленном суставе. При этом не прямые волокна всегда остаются в одном положении (Mochizuki T. et al., 2014).

Согласно результатам исследований ряда авторов прямые волокна ПКС играют определяющую роль в ограничении передне-заднего и ротационного смещения голени относительно бедра (Pathare N.P., Nicholas S.J., Colbrunn R., 2014; Kawaguchi Y. et al., 2015). При этом часть волокон, которые прикрепляются



непосредственно к проксимальной части ЛМГ, являются наиболее изометричными (Nawabi D.H. et al., 2016).

### **1.3. Принципы рационального размещения трансплантата**

Большинство хирургов называют неизменным условием успешной пластики ПКС выполнение костных туннелей в правильном анатомическом положении (Amis A.A., Jacob R.P., 1998; Gougoulas N. et al., 2008; Kato Y. et al., 2010; Araujo P.H. et al., 2015; Fu F.H. et al., 2015). Технические ошибки при их размещении являются основной причиной неудовлетворительных результатов оперативного лечения (Хоминец В.В. с соавт., 2016; Lee M.C. et al., 2007; Bohn M.V., 2015). При этом к ревизионным операциям наиболее часто приводит неправильное положение именно бедренного костного туннеля (Трачук А.П. с соавт., 2006; Magnussen R.A. et al., 2012; Morgan J.A. et al., 2012).

А. Bedi с соавторами (2011) провели лабораторные испытания на примере 10-ти препаратов коленных суставов с целью определения оптимальной позиции большеберцового костного туннеля. По их мнению, его размещение в передней части зоны прикрепления ПКС обеспечивает лучшие результаты по данным тестов на стабильность коленного сустава, чем в задней трети. Однако слишком близкое расположение края туннеля к переднему краю плато большеберцовой кости может приводить к соударению трансплантата с крышей межмыщелковой вырезки бедренной кости (Bedi A. et al., 2011). В работе E. Inderhaug с соавторами (2014) также было отмечено, что у пациентов с более задним положением большеберцового туннеля чаще выявлялась нестабильность коленного сустава (Inderhaug E. et al., 2014).

В связи с наличием ряда четких анатомических ориентиров и возможностью хорошей визуализации плато, формирование большеберцового канала обычно не вызывает технических сложностей у хирургов. Поэтому, большинство исследований были направлены на определение оптимальной позиции для формирования бедренного туннеля.

### **1.3.1. Изометричное расположение трансплантата**

Широко распространенная с 1980-х годов среди хирургов чрезбольшеберцовая техника реконструкции ПКС основана на принципах изометричного размещения трансплантата. Согласно данной концепции, оптимальным считается такое положение трансплантата, при котором происходит минимальное изменение его длины при любых углах сгибания в коленном суставе (Arms S.W. et al, 1984; Melhorn J.M., Henning C.E., 1987; Amis A.A., Dawkins G.P., 1991; Kurosawa H. et al., 1991).

С целью упрощения чрезбольшеберцовой техники и предупреждения возможных хирургических ошибок были разработаны специальные направители для формирования большеберцового и бедренного костных туннелей (McGuire D.A, Hendricks S.D., Grinstead G.L., 1996). Типичная локализация каналов при использовании данной техники соответствует проекции средней или задней трети прикрепления ПКС к большеберцовой кости и в проксимальной части или несколько выше и впереди от зоны анатомии на бедренной – в позиции «over-the-top» (Williams R.J. et al., 2004).

Такое положение костных туннелей позволяет трансплантату практически не изменять своей длины при движениях в коленном суставе, однако приводит к его более вертикальной ориентации, отличающейся от нормального положения ПКС (Ahn J.H. et al., 2007). По данным лабораторных исследований, такое вертикальное положение новой связки, хотя и обеспечивает хороший контроль передне-заднего смещения голени, но приводит к сохранению остаточной ротационной нестабильности коленного сустава (Lee M.C. et al., 2007; Araujo P.H. et al., 2015).

### **1.3.2. Анатомичная и индивидуализированная концепция**

С целью улучшения функциональных результатов пластики ПКС ряд авторов предложили «анатомичную концепцию», которая основывается на 4-х основных принципах: замещение обоих анатомо-функциональных пучков, локализация костных туннелей в анатомических зонах прикрепления ПКС,

корректное натяжение обоих пучков и индивидуальный хирургический подход к каждому пациенту (Martins C.A.Q. et al., 2008; Murawski D.C. et al., 2013). Понятие индивидуализированной реконструкции ПКС означает выбор трансплантата и техники формирования костных туннелей в зависимости от анатомических особенностей и физической активности пациента (Hofbauer M. et al., 2014).

Непременным условием анатомичной концепции является замещение обоих анато-функциональных пучков ПКС. С этой целью рядом авторов было предложено использовать однопучковую или двухпучковую технику реконструкции ПКС (Irrazaval S. et al., 2016). Костные туннели при анатомической двухпучковой технике при этом необходимо располагать в центрах анатомического прикрепления переднемедиального и заднелатерального пучков ПКС. В исследовании, проведенном Т. Zantop с соавторами (2008), было изучено влияние различного положения костных туннелей на стабильность коленного сустава. По их данным, результаты тестов на стабильность были значительно выше в случае анатомичной локализации обоих пучков трансплантата (Zantop T. et al., 2008).

Многочисленные лабораторные исследования выявили более высокую ротационную стабильность коленного сустава после двухпучковой пластики ПКС по сравнению с традиционным изометричным расположением трансплантата (Markolf K.L. et al., 2009; Kondo E., 2010; Izawa T. et al., 2011).

Очевидными недостатками двухпучковой пластики ПКС авторы называют более сложную хирургическую технику, необходимость использования специальных направителей, а также ограниченные возможности выбора трансплантата и способов его фиксации. К тому же, во время лабораторных исследований было выявлено, что при использовании данной техники заднелатеральный пучок испытывает избыточно высокие нагрузки, что может приводить к его разрывам (Markolf K.L. et al., 2009; Seon J.K. et al., 2010).

В связи с этим, многочисленные исследования были проведены с целью определения оптимального положения костных туннелей при использовании однопучковой техники реконструкции ПКС. Ряд кадаверных испытаний показал,

что трансплантат, расположенный в анатомических зонах прикрепления ПКС позволяет лучше контролировать смещение голени относительно бедра и более полно восстанавливать биомеханику коленного сустава (Steiner M.E. et al., 2009; Bedi A. et al., 2011; Kondo E. et al., 2011; Wang H., Fleischli J.E., Zheng N.N., 2013).

Важную роль в обеспечении стабильности коленного сустава играет угол наклона трансплантата, который зависит от локализации костных туннелей. Авторы R.H. Brophy и A.D. Pearle (2009) провели лабораторные испытания на примере 5-ти препаратов коленных суставов, где оценивали функцию трансплантата ПКС при его вертикальном, среднем и косо-горизонтальном положении. Сравнительный анализ результатов показал, что более косое расположение трансплантата обеспечивало лучшую ротационную стабильность коленного сустава (Brophy R.H., Pearle A.D., 2009).

Ряд проведенных лабораторных исследований показывает, что центр анатомического прикрепления ПКС является наиболее оптимальным местом для формирования бедренного туннеля. Так, Y. Kato с соавторами (2010) провели сравнительный анализ влияния различных положений костных туннелей на стабильность коленного сустава. По их данным, расположение туннелей в центрах прикрепления ПКС к большеберцовой и бедренной костям было наиболее оптимальным (Kato Y. et al., 2010). Данные выводы были также подтверждены другими авторами на основании собственных результатов (Bedi A. et al., 2011; Kondo E. et al., 2011; Driscoll M.D. et al., 2012).

Таким образом, по мнению ряда авторов, центральное расположение костных туннелей позволяет устранить как передне-заднюю, так и ротационную нестабильность коленного сустава. Однако дальнейшие исследования выявили существенные недостатки такого расположения трансплантата.

Так, S. Imhauser с соавторами (2013) провели исследование на примере 11-ти препаратов коленных суставов. В результате они определили, что позиция туннелей в центрах анатомического прикрепления ПКС приводит к чрезмерному давлению на латеральный отдел коленного сустава при движениях, что впоследствии может приводить к развитию остеоартроза (Imhauser S. et al., 2013).

Центральное расположение бедренного туннеля также влияет на изометрию и натяжение трансплантата при движениях. J.H. Lubowitz (2014) сообщил, что при его расположении в центрах анатомического прикрепления ПКС при амплитуде движений от 0 до 120° происходило изменение его длины на 6,7 мм, что на 2,2 мм больше, чем при локализации бедренного туннеля в проекции переднемедиального пучка (Lubowitz J.H., 2014). Аналогичные выводы были сделаны также другими авторами (Smith J.O. et al., 2014).

P.H. Araujo с соавторами (2015) провели лабораторные испытания на примере 12-ти препаратов коленных суставов, где оценивали влияние бедренного туннеля на стабильность коленного сустава и натяжение трансплантата ПКС. В результате выяснилось, что низко расположенный бедренный туннель (в проекции центра прикрепления ПКС) обеспечивал лучший контроль ротационного смещения голени, чем более высокое его расположение. Однако при такой позиции туннеля возникало значительное натяжение трансплантата при небольших углах сгибания в коленном суставе (Araujo P.H. et al., 2015).

Целью дальнейшего поиска было определение такого места расположения трансплантата, при котором он должен обеспечивать хороший контроль стабильности коленного сустава и не испытывать перегрузок, т.е. нахождение компромисса между «анатомичным» и «изометричным» положением. На основании ряда биомеханических исследований A.D. Pearle с соавторами (2015) предложили позицию для размещения бедренного туннеля, которую они назвали I.D.E.A.L. (isometric, direct, eccentric, anatomic, low tension). По их мнению, более рациональным является его расположение в наиболее изометричном месте анатомической зоны прикрепления прямых волокон ПКС (Pearle A.D., McAllister D., Howell S.M., 2015).

#### **1.4. Клинико-анатомическая характеристика чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник формирования костных туннелей**

Вопрос выбора хирургической техники для формирования костных туннелей при реконструкции ПКС, наряду с выбором трансплантата и способа его

фиксации, является широко обсуждаемым в настоящее время. Причем, чрезбольшеберцовая и переднемедиальная техники являются наиболее распространенными среди хирургов (Заяц В.В. с соавт., 2017; Alertorn-Geli E. et al., 2010; Chechik O. et al., 2013).

#### **1.4.1. Характеристика костных туннелей при чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техниках реконструкции ПКС**

Основным различием между основными техниками реконструкции ПКС является локализация и характеристики костных туннелей (Lee D.H. et al., 2016). Ряд исследований показывает, что использование чрезбольшеберцовой техники приводит к расположению большеберцового канала в задней части прикрепления ПКС или даже вне его проекции (Kopf S. et al., 2010; Strauss E.J. et al., 2011; Keller T.C. et al., 2014). Хирурги E. Inderhaug с соавторами (2014) на основании оценки отдаленных клинических результатов выявили, что при таком заднем расположении большеберцового туннеля у пациентов чаще выявлялись симптомы ротационной нестабильности коленного сустава и были более низкие субъективные оценки (Inderhaug E. et al., 2014). Преимуществом переднемедиальной техники реконструкции называют независимое формирование костных туннелей, что позволяет хирургу более точно расположить большеберцовый канал в анатомической зоне (Araujo P.H. et al., 2011; Keller T.C. et al., 2014).

По мнению ряда авторов, традиционная чрезбольшеберцовая техника не всегда позволяет провести бедренный туннель в месте нормального прикрепления ПКС, так как его положение зависит от ориентации большеберцового туннеля (Heming J.F. et al., 2007; Strauss E.J. et al., 2011). Так, S. Kopf с соавторами (2010) провели КТ-анализ костных туннелей после чрезбольшеберцовой пластики ПКС у 32-х больных и показали, что данная техника приводит к положению бедренного туннеля кпереди и выше от зоны анатомического прикрепления ПКС (Kopf S. et al., 2010). Схожие результаты также были получены другими авторами на

основании собственных исследований (Arnold M.P., Kooloos J., van Kampen A., 2001; Shin Y.S. et al., 2013; Lee D.H. et al., 2016).

Диаметр костных туннелей при использовании чрезбольшеберцовой техники также может оказывать влияние на локализацию бедренного туннеля. Широко используемый для реконструкции ПКС аутотрансплантат из сухожилий подколенных мышц имеет диаметр в среднем 7,5–8,0 мм (Аксенов С.Ю. с соавт., 2014). Хирурги S. Bhatia с соавторами (2016) на основании кадаверных исследований пришли к выводу, что разместить бедренный туннель в анатомической зоне было возможным лишь при использовании сверла диаметром 9 мм и более. Использование трансплантатов меньшего диаметра при чрезбольшеберцовой пластике ПКС увеличивало вероятность получения не оптимальной позиции туннеля на бедренной кости, на что указывали и другие авторы (Strauss E.J. et al., 2011).

С целью улучшения позиционирования костных туннелей некоторые авторы предложили модифицировать традиционную чрезбольшеберцовую технику путем формирования большеберцового канала в более косом направлении, а также за счет придания оперируемой конечности определенного положения в момент сверления бедренного туннеля (Rue J.P., Ghodadra N., Bach V.R. Jr., 2008; Noh J.H. et al., 2011; Lee J.K. et al., 2014; Youm Y.S. et al., 2014). В то же время J.H. Noh с соавторами сообщили об отсутствии статистически значимых различий при клинической оценке результатов после традиционной и модифицированной чрезбольшеберцовой техник (Noh J.H. et al., 2011).

Хирурги J.K. Lee с соавторами (2014) представили сравнительный анализ результатов лечения 104-х пациентов, которым они выполняли модифицированную чрезбольшеберцовую и переднемедиальную реконструкцию ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника. Авторы сообщили о схожей локализации костных туннелей, которые соответствовали анатомическим зонам прикрепления, а также об отсутствии различий при клинической оценке через 2 года после оперативного лечения (Lee J.K. et al.,

2014). Подобные результаты были получены также в исследованиях других авторов (Youm Y.S. et al., 2014).

При изучении возможности чрезбольшеберцового проведения туннелей на кадаверном материале J.F. Heming с соавторами (2007) пришли к выводу, что выполнение бедренного туннеля в зоне нормального прикрепления ПКС возможно. Но длина большеберцового туннеля в таком случае должна быть менее 30 мм, что существенно затрудняет фиксацию трансплантата (Heming J.F., Rand J., Steiner M.E., 2007; Tompkins M. et al., 2013).

С целью улучшения позиционирования костных туннелей ряд авторов предложили формировать их с использованием дополнительного переднемедиального портала (Martins C.A.Q. et al., 2008; Altertorn-Geli E. et al., 2010; Karlsson J. et al., 2011; Murawski D.C. et al., 2013;). Использование двух переднемедиальных порталов (один для наблюдения, другой для сверления) позволяло более точно выбрать место в анатомической зоне бедренного прикрепления ПКС (Brown C.H. Jr., Spalding T., Robb C., 2013; Koutras G. et al., 2013; Noh J.H. et al., 2013; Shin Y.S. et al., 2013; Keller T.C. et al., 2014).

Однако использование переднемедиальной техники имеет и ряд существенных недостатков. Одним из них является необходимость сгибания конечности в коленном суставе до угла  $120^\circ$  и более во время формирования бедренного туннеля, что значительно ухудшает интраоперационную визуализацию. Также, при технических ошибках, существует риск повреждения хряща медиального мыщелка бедренной кости сверлом, перелом задней стенки костного туннеля или формирование слишком короткого бедренного туннеля (Rue J.P. et al., 2008; Brown C.H. Jr., Spalding T., Robb C., 2013; Alavekios D. et al., 2014; Robin B.N. et al., 2015).

Отсутствие четких ориентиров при интраоперационной разметке бедренного туннеля может приводить к ошибкам в его локализации (Inderhaug E. et al., 2016). Для определения его оптимальной позиции были предложены различные методики. Формирование бедренного туннеля при переднемедиальной технике возможно с использованием стандартных чрезбольшеберцовых офсетных



направителей, однако они не учитывают индивидуальных анатомических особенностей коленного сустава (Steiner M.E., 2009; Hart A., Han Y., Martineau P.A., 2015). В связи с этим, большинство авторов предпочитают использовать метод «свободной руки» (Маланин Д.А. с соавт., 2013; Martins C.A.Q. et al., 2013; Park J.S. et al., 2015).

При отсутствии культуры ПКС в качестве ориентира для формирования бедренного туннеля при переднемедиальной технике могут служить ЛМГ и ЛБГ. Д.А. Маланин с соавторами (2013) предлагали использовать их в качестве референтных структур и размечать центр бедренного туннеля в точке, расположенной на 1,5-2 мм кзади от середины ЛБГ и на 3 мм вверх по направлению к ЛМГ. Однако артроскопическая визуализация этих структур не всегда может быть отчетливой. Так, по данным авторов, ЛМГ был виден в 94% случаев, а ЛБГ – лишь в 48% (Маланин Д.А. с соавт., 2013).

Также возможна интраоперационная разметка бедренного туннеля с использованием линейки, введенной через переднелатеральный артроскопический доступ. Ряд хирургов предлагали определять середину расстояния между передним и задним краями хряща ЛМБК (в положении сгибания коленного сустава под углом  $90^\circ$ ), что соответствовало, по их мнению, проекции центра нормального прикрепления ПКС (Bird J.H. et al., 2011; Brown C.H. Jr., Spalding T., Robb C., 2013). Для определения центра ПКС некоторые хирурги предлагали использовать верхушку заднего края хряща ЛМБК, отступая от нее кпереди на 12 мм и кверху на 2 мм (Hart A., Han Y., Martineau P.A., 2015). Для более точного позиционирования туннелей предлагали также использовать интраоперационно рентгеноскопию, которая, однако, увеличивает лучевую нагрузку (Загородний Н.В., Радыш И.И., Неверкович А.С., 2011; Brown C.H. Jr., Spalding T., Robb C., 2013).

#### **1.4.2. Клинические результаты чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник формирования костных туннелей**

Частота хороших и отличных среднесрочных исходов при использовании чрезбольшеберцовой техники реконструкции ПКС по оценкам разных авторов составляет от 50% до 97% (Карасева Т.Ю., Карасев Е.А., 2013; Кавалерский Г.М. и др., 2014; Anderson A.F., Snyder R.B., Lipscomb A.B. Jr., 2001; Feller J.A., Webster K.E., 2003; Laxdal G. et al., 2005). При этом далеко не все пациенты после операций с применением этой техники возвращаются к прежнему спортивному уровню. Так С.L. Ardern с соавторами (2012) оценили результаты лечения 314-ти пациентов в сроки от 2-х до 7-ми лет после чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС. По их данным, 74% пациентов продолжили заниматься спортом, однако лишь 45% больных смогли вернуться к прежнему уровню нагрузок (Ardern C.L. et al., 2012).

По мнению ряда авторов, неудовлетворительные клинические исходы у части пациентов после чрезбольшеберцовой техники реконструкции ПКС связаны с не анатомичным расположением костных туннелей. В связи с этим, примерно у половины больных в отдаленном периоде выявляется остаточная нестабильность коленного сустава, что может вести к раннему развитию остеоартроза (Ardern C.L. et al., 2012; Janssen R.P. et al., 2013; Varenius B. et al., 2014).

С целью более точного позиционирования костных туннелей и улучшения клинических результатов многие авторы перешли на техники независимого сверления. На практике наиболее широко используемой стала переднемедиальная техника реконструкции ПКС. Так, в 2006-м году около 90% хирургов называли чрезбольшеберцовую технику основной, тогда как в 2013-м году – более 68% использовали переднемедиальную реконструкцию (Duquin T.R. et al., 2009; Chechik O. et al., 2013).

Ближайшие клинические результаты после переднемедиальной техники показали значимое улучшение как субъективных, так и объективных показателей по сравнению с чрезбольшеберцовой реконструкцией ПКС (Заяц В.В. с соавт., 2017; Hussein M. et al., 2012; Franceschi F. et al., 2013;). Кроме того, использование

переднемедиальной техники давало преимущество в реабилитации и способствовало возвращению к физическим нагрузкам в более ранние сроки (Alertorn-Geli E. et al., 2010).

Однако при анализе среднесрочных и отдаленных клинических результатов после переднемедиальной пластики ПКС не было выявлено значительных преимуществ над чрезбольшеберцовой реконструкцией (Chalmers P.N. et al., 2013; Noh J.H. et al., 2013; Mulcahey M.K. et al., 2014; Robin B.N. et al., 2015; Bohn M.B. et al., 2015). Напротив, ряд авторов сообщил об увеличении числа рецидивов, которые были связаны с техническими ошибками при расположении костных туннелей. Так, по данным анализа Шведского регистра от 2013-го года, авторами было выявлено, что частота рецидивов через 4 года после переднемедиальной техники реконструкции ПКС составила 5,16%, тогда как после чрезбольшеберцовой – 3,2% (Rahr-Wagner L. et al., 2013).

На основании систематического анализа клинических результатов американская академия хирургов-ортопедов в 2015 году была вынуждена признать, что «для восстановления ПКС хирург может использовать как независимое, так и чрезбольшеберцовое формирование бедренного туннеля, поскольку клинические исходы одинаковы» (Shea K.G. et al., 2015).

### 1.5. Резюме

Анализ современных источников литературы показал, что основным методом лечения повреждений передней крестообразной связки является ее оперативное восстановление при помощи ауто- или аллотрансплантатов. Широко используемая с 1980-х годов чрезбольшеберцовая техника, которая была основана на принципах изометричного расположения трансплантата, является относительно простой и эффективной. С ее помощью многие пациенты смогли вернуться к прежним спортивным и физическим нагрузкам. Однако, явления остаточной нестабильности коленного сустава после данной техники, которые выявляются у части больных, приводят к раннему развитию остеоартроза и снижению спортивного уровня.

Переход к анатомичной реконструкции, по мнению ряда авторов, должен был способствовать улучшению клинических результатов и более точно восстанавливать биомеханику коленного сустава, что было доказано на большом количестве лабораторных исследований. Переднемедиальная техника формирования костных туннелей позволяет хирургам более точно выбирать места для их размещения, однако характеризуется большим количеством ошибок. К тому же, анализ клинических результатов не показывает значительных преимуществ анатомичного расположения трансплантата. Напротив, ряд авторов сообщают об увеличении количества ревизионных операций после переднемедиальной техники реконструкции ПКС, что чаще всего связывают с ошибками в размещении костных туннелей, а также, возможно, и с менее изометричным расположением трансплантата. К тому же, неясным остается вопрос выбора оптимальной позиции для размещения костных туннелей.

Высокая актуальность данной проблемы, несоответствие литературных данных и отсутствие единой точки зрения послужили основными причинами для выполнения настоящего диссертационного исследования.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Общая структура исследования

Объектом исследования являлись больные с первичными повреждениями передней крестообразной связки после различных методов ее реконструкции с использованием однотипного сухожильного аутологичного трансплантата. Предметом изучения являлись позиция костных туннелей и особенности функционирования пациентов с не поврежденным трансплантатом ПКС. Поэтому больные с разрывами трансплантата в послеоперационном периоде (по данным анамнеза и контрольной МРТ) были исключены из дальнейшего сравнительного анализа.

В соответствии с поставленной целью и задачами настоящее диссертационное исследование было разделено на два последовательных этапа.

На первом этапе был проведен ретроспективный анализ среднесрочных анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник реконструкции ПКС. В соответствии с первой задачей было выполнено клиническое и лучевое обследование пациентов в сроки от 2-х до 5-и лет после применения чрезбольшеберцовой техники формирования костных туннелей. Пациентам проводили рентгенографию, компьютерную (КТ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ) коленного сустава, а также субъективную и объективную оценку результатов. Затем по данным КТ-анализа пациенты после чрезбольшеберцовой техники были разделены на две подгруппы в зависимости от локализации бедренного туннеля. На основании полученных данных было определено влияние положения костных туннелей на результаты реконструкции, а также определена их наиболее выгодная позиция.

Затем на предоперационных компьютерных томограммах 20 больных было проведено моделирование возможных положений костных туннелей при чрезбольшеберцовой технике и определены условия для их рационального размещения.

Далее был выполнен сравнительный анализ анатомо-функциональных среднесрочных результатов чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник реконструкции ПКС.

На втором этапе с учетом полученных результатов было разработано и апробировано в клинике устройство для интраоперационной разметки бедренного туннеля и способ его применения при переднемедиальной технике реконструкции передней крестообразной связки. Затем в соответствии с поставленной задачей № 5 с целью определения особенностей внутрисуставной перестройки аутотрансплантата и характера расширения костных туннелей с использованием лучевых методов было проведено проспективное обследование пациентов после чрезбольшеберцовой и модифицированной переднемедиальной техник реконструкции ПКС. Для определения МР-картины нативной ПКС предварительно были проанализированы компьютерные томограммы пациентов с неповрежденной связкой.

Затем был проведен сравнительный анализ клинических исходов чрезбольшеберцовой и обоих вариантов переднемедиальной техник реконструкции ПКС, который позволил обосновать преимущества использования предложенной методики формирования костных туннелей.

## **2.2. Материал исследования**

Настоящее исследование построено на ретроспективном и проспективном анализе клинических результатов оперативного лечения 202-х пациентов с повреждениями ПКС. Все хирургические вмешательства осуществлялись в период с 2012 по 2016 годы в клинике ФГБУ «РНИИТО им Р.Р. Вредена» МЗ РФ.

Критериями включения в исследование были: а) возраст на момент оперативного лечения от 18 до 45 лет; б) первичная реконструкция ПКС; в) аутотрансплантат из сухожилий подколенных мышц.

Критериями исключения были: а) множественные повреждения связок; б) выраженный остеоартроз (II и III стадии по Н.С. Косинской); в) глубокие

повреждения хряща; г) послеоперационные инфекционные осложнения; д) наличие в анамнезе разрыва ПКС на другой стороне.

Поскольку предметом исследования было выявление особенностей функционирования трансплантата ПКС после различных методов реконструкции, то пациенты с его разрывами в послеоперационном периоде не были включены в итоговую оценку. Так, из анализа в связи с разрывами трансплантата (по данным анамнеза или контрольной МРТ) были исключены 9 пациентов из 1-й группы, 5 из 2-й группы и 1 из 4-й группы. Кроме того у 1-го больного из 3-й группы возник послеоперационный гонит, из-за чего он также был исключен из дальнейшего наблюдения.

Ретроспективно были изучены результаты лечения 140 пациентов в сроки от 2-х до 5-ти лет после реконструкции ПКС, которые были разделены на две группы в зависимости от способа формирования костных туннелей: чрезбольшеберцовая техника (группа 1) и переднемедиальная (группа 2). 1-ю группу составили 88 больных, из которых 60 прошли обследование в очной форме и 28 – в заочной. Во 2-ю группу вошли 52 пациента, из них - 41 пациент был обследован в очной форме и 11 – в заочной. Также 54 пациента из 1-й группы, которые прошли обследование в очной форме и у которых отсутствовали признаки повреждения трансплантата ПКС, были разделены на две подгруппы в зависимости от положения центра бедренного туннеля по отношению к латеральному межмышцелковому гребню (ЛМГ). Подгруппа 1А (n = 32) – расположение кпереди от ЛМГ (не анатомичное положение бедренного туннеля), подгруппа 1Б (n = 22) – в зоне ЛМГ (частично анатомичное положение бедренного туннеля).

В проспективную часть работы были включены 62 пациента, прооперированных в РНИИТО по поводу разрыва ПКС, которые были разделены на две группы в зависимости от способа формирования костных туннелей. Группу 3 составил 21 больной после чрезбольшеберцовой техники, в группу 4 вошел 41 пациент после модифицированной переднемедиальной техники. Дизайн исследования и группы сравнения представлены на Рисунке 1.

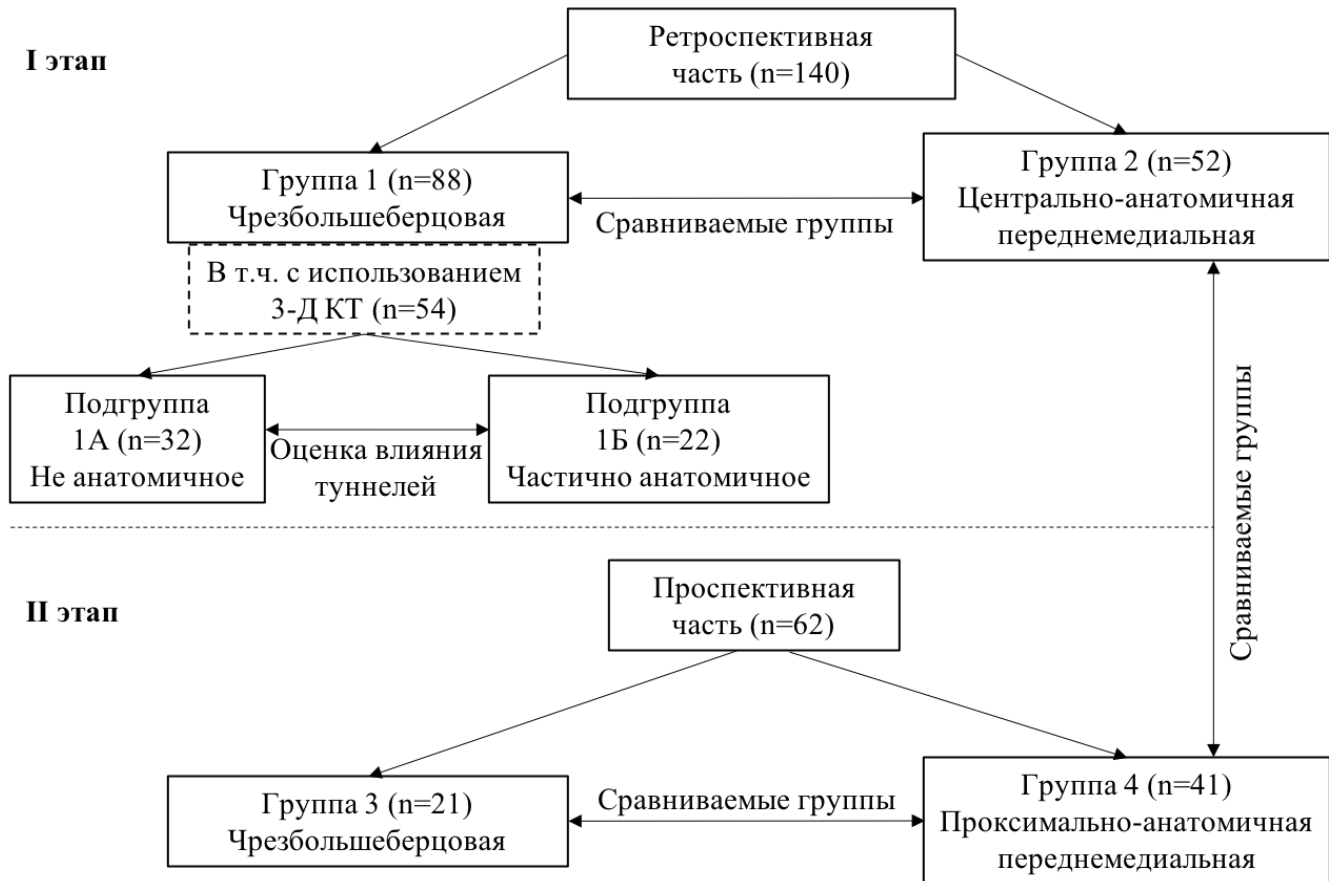


Рисунок 1 – Дизайн исследования

Дополнительно были выбраны 20 пациентов, поступивших в РНИИТО для оперативного лечения по поводу разрыва ПКС. Данным больным перед операцией было выполнено КТ коленного сустава с последующим трехмерным моделированием с целью определения возможности и условий для анатомического размещения трансплантата при чрезбольшеберцовой технике. Данные пациенты не были включены в клиническую часть исследования. Для определения условной нормы при оценке внутрисуставной перестройки ауто трансплантата из компьютерной базы были выбраны МР-томограммы 25-ти больных с отсутствием признаков повреждения ПКС, которым исследование выполнялось по другим причинам.

Также на основании анализа историй болезней и интраоперационных видеозаписей были получены дополнительные сведения о пациентах, такие как демографические данные (пол, возраст и т.д.), сопутствующие повреждения



капсуло-связочного аппарата коленного сустава, интраоперационные данные (длина и диаметр туннелей, длительность операции и т.д.).

### **2.2.1. Сведения о группах пациентов и методиках обследования**

Больные ретроспективных групп прошли обследование в очной ( $n = 101$ ) или в заочной ( $n = 39$ ) форме в сроки от 2-х до 5-и лет после операции. При обследовании использовали клинические (субъективные и объективные), а также лучевые методы диагностики. Субъективная часть исследования с использованием шкал-опросников IKDC-2000, KOOS и Lysholm была проведена у всех пациентов ретроспективных групп. Часть больных ( $n = 89$ ), которые были доступны для очной оценки, прошли углубленное клиничко-лучевое обследование. Объективная часть включала оценку амплитуды движений в коленном суставе, измерение окружности бедра (степени атрофии мышц), мануальные тесты «переднего выдвигающего ящика», Лахмана, «Pivot-shift», а также артрометрию. Оценка проводилась в сравнении с неповрежденным коленным суставом, что позволило получить данные о норме для каждого конкретного пациента. Лучевые методы включали в себя рентгенографию и трехмерную КТ коленного сустава с целью определения топографии и локализации костных туннелей, а также МРТ – для оценки состояния трансплантата ПКС.

Все пациенты проспективной части прошли очное клиничко-лучевое обследование. При поступлении в РНИИТО больные прошли субъективную и объективную предоперационную оценку. Лучевые методы включали рентгенографию и КТ коленного сустава, которые выполняли на следующий день после операции, а также МРТ через 3-5 суток после операции, а затем через 3, 6 и 12 месяцев. Также в указанные сроки больные подвергались послеоперационному клиническому обследованию в динамике, т.е. через 3, 6 и 12 месяцев. Окончательные субъективные и объективные результаты оперативного лечения были оценены в сроки от 1-го до 2-х лет после операции.

После исключения больных с разрывами трансплантата и инфекционными осложнениями пациенты были распределены на следующие группы, которые

представлены в Таблице 1. Проведенный статистический анализ не выявил значимых различий по основным демографическим показателям между группами сравнения, что позволило нам продолжить исследование.

Таблица 1 – Распределение пациентов по группам сравнения

Группа	1-я	2-я	3-я	4-я	Р–значение		
					1-я и 2-я гр.	2-я и 4-я гр.	3-я и 4-я гр.
Количество	79	47	20	40	–	–	–
Пол	Муж-64 Жен-15	Муж-36 Жен-11	Муж-15 Жен-5	Муж-28 Жен-12	–	–	–
Возраст, лет	28,5±5,4	28,4±6,4	29,9±5	29,1±7,2	0.883	0.642	0.633
Рост, см	1,75±0,1	1,73±0,1	1,74±0,1	1,73±0,1	0.263	0.801	0.249
Вес, кг	73±11,3	70,9±8,7	72±9,7	70,6±11,3	0.258	0.924	0.323
Индекс массы тела, кг/см <sup>2</sup>	23,8±2,5	23,5±2,1	23,5±2,3	23,5±2,5	0.529	0.968	0.582
Срок от травмы до операции, мес.	22,6±28,6	29,1±31	20,1±27,4	24,6±29,6	0.216	0.532	0.739
Период наблюдения, мес.	35,9±14,9	29,1±7	18,9±2,1	19,2±2,3	< 0,05	< 0,05	0.627

Среди всех больных наиболее часто повреждения ПКС происходили во время игровых видов спорта (43%), в 27% случаев – вследствие бытовых травм (падение с высоты, на неровной или скользкой поверхности), у 17% пациентов разрывы возникли во время единоборств, у 10% – во время катания на горных лыжах или сноуборде и у 3% – при ДТП (Рисунок 2).

Изолированные разрывы ПКС встречались в 21% случаев. У 37% пациентов был поврежден медиальный мениск, у 20% – латеральный и у оставшихся 22% больных были повреждены оба мениска (Рисунок 3).

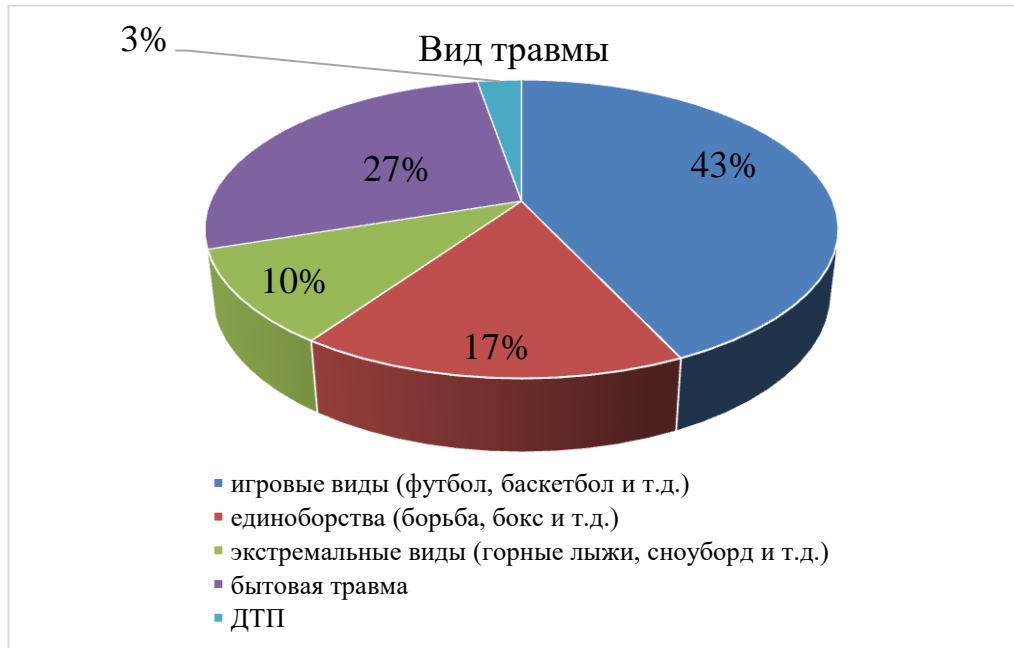


Рисунок 2 – Вид деятельности, во время которого было получено повреждение ПКС



Рисунок 3 – Сопутствующие повреждения менисков

### 2.3. Хирургическая техника

Все оперативные вмешательства выполнялись одной хирургической бригадой в положении пациента на спине с кратковременным использованием кровоостанавливающего жгута. После обработки операционного поля осуществляли диагностическую артроскопию коленного сустава из стандартных передних доступов. После выявления и устранения сопутствующих внутрисуставных повреждений оценивали состояние ПКС и частично удаляли ее остатки, мешающие выполнению реконструкции. Затем при необходимости выполняли резекцию остеофитов межмышцелковой вырезки бедренной кости и осуществляли подготовку межмышцелковой области, т.е. экономно удаляли мягкие ткани, мешающие визуализировать внутреннюю стенку ЛМБК. После чего переходили к этапу заготовки ауто трансплантата. Из косога, реже – прямого разреза до 5 см по переднемедиальной поверхности верхней трети голени выделяли сухожилия полусухожильной и нежной мышц. С помощью специального инструмента («стриппера») производили их забор. Из сухожилий формировали четырехпучковый трансплантат длиной от 10 до 12 см и измеряли его диаметр. Затем переходили к этапу формирования костных туннелей по одной из методик. Для этого выбирали сверло, соответствующее диаметру подготовленного ауто трансплантата. Укладка пациента на операционном столе и основные этапы подготовки ауто трансплантата представлены на Рисунке 4.



А



Б



В



Г

Рисунок 4 – Укладка пациента на операционном столе: установлены два боковых упора для устойчивого удержания ноги в различных положениях (А, Б); выделение сухожилий у бугристости большеберцовой кости (В); конечный вид сформированного ауто трансплантата, состоящего из двух сухожильных петель (Г)

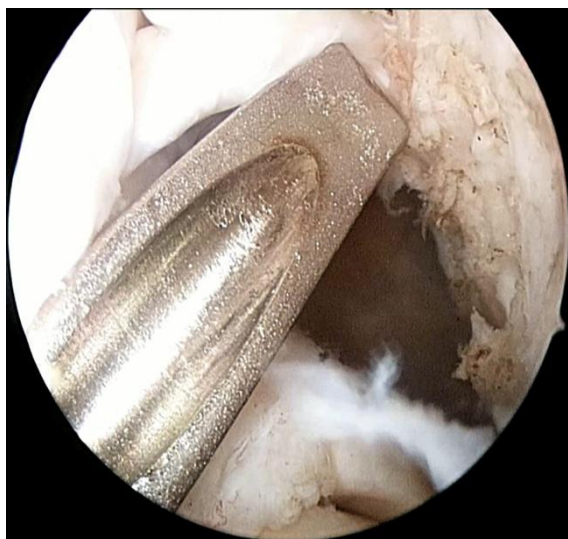
### 2.3.1. Чрезбольшеберцовая техника

Пациенты 1-й и 3-й групп были прооперированы по примерно одинаковой методике с использованием чрезбольшеберцовой техники формирования костных

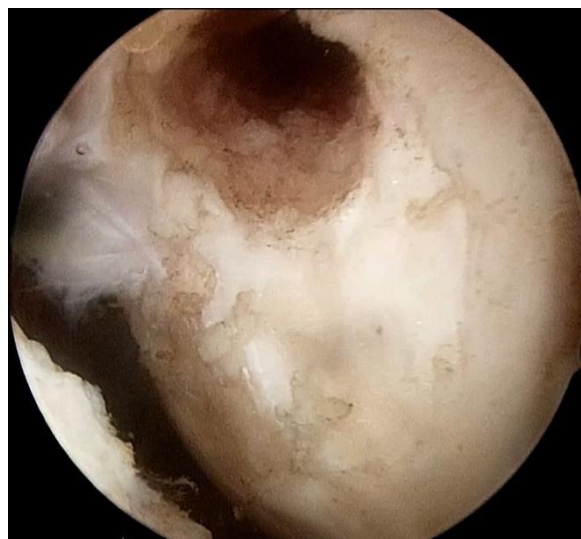
туннелей. Единственным различием был способ фиксации трансплантата ПКС в бедренном туннеле. У больных 1-й группы использовали систему трансфиксации Rigidfix фирмы DePuy/Mitek, у больных 2-й группы – систему подвешивающей фиксации Endobutton фирмы Smith&Nephew. Как известно из литературы, прочность данных систем была достаточной для получения схожих клинических исходов (Ibrahim S.A.R., et al., 2015). Разметку большеберцового костного туннеля осуществляли с использованием референтных анатомических структур: остатков культы ПКС, медиального гребня межмышечкового возвышения, переднего рога латерального мениска, переднего края задней крестообразной связки. Затем с использованием направителя ACUFEX DIRECTOR Drill Guide фирмы Smith&Nephew проводили ориентирующую спицу в медиальном мыщелке большеберцовой кости под углом 35–40° во фронтальной плоскости и 50–55° в сагиттальной плоскости.

В положении сгибания в коленном суставе под углом 90° по спице формировали сквозной туннель сверлом соответствующего диаметра. Через большеберцовый туннель в сустав вводили направитель Endoscopic Femoral Aimer Arm фирмы Smith&Nephew с выносом 5 мм и устанавливали его за задневерхний край латерального мыщелка бедренной кости (ЛМБК), ориентируя его в максимально возможном косом положении примерно на 10.30 (13.30) часов условного циферблата. По направляющей спице через большеберцовый туннель сверлом соответствующего диаметра формировали костный туннель в ЛМБК (Рисунок 5).

После проведения аутотрансплантата осуществляли его фиксацию. Бедренный конец трансплантата фиксировали при помощи биодеградируемых пинов Rigidfix фирмы DePuy/Mitek (у пациентов 1-й группы) или с использованием экстракортикальной системы Endobutton фирмы Smith&Nephew (у пациентов 2-й группы). После натяжения трансплантата и оценки изометричности осуществляли его фиксацию в канале большеберцовой кости в положении сгибания в коленном суставе под углом 20°–30° при помощи интерферентного винта диаметром, превышающим диаметр туннеля на 1 мм.



А



Б

Рисунок 5 – Формирование бедренного туннеля с использованием чрезбольшеберцовой техники: установка направителя за задневерхний край латерального мыщелка бедренной кости (А); вид бедренного туннеля (Б)

### **2.3.2. Переднемедиальная техника с использованием линейки и формированием бедренного туннеля в проекции центральной части прикрепления ПКС**

Пациенты 2-й группы были прооперированы с использованием переднемедиальной техники по методике, в основу которой взяли методическое руководство компании Smith&Nephew (Brown C.H. Jr., Spalding T., Robb C., 2013).

Формировали дополнительный переднемедиальный портал над передним рогом медиального мениска, располагая его примерно на 2–3 см ниже стандартного доступа (Рисунок 6).



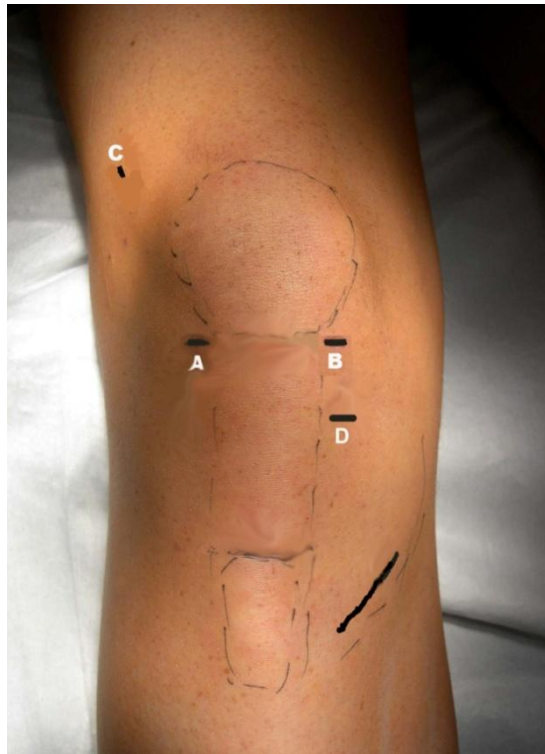


Рисунок 6 – Схема расположения доступов при переднемедиальной технике формирования костных туннелей: стандартные переднелатеральный (А) и переднемедиальный (В) доступы на уровне верхушки надколенника; верхнелатеральный доступ для дренажной канюли (С); нижний переднемедиальный доступ (Д) над передним рогом медиального мениска

После бережного иссечения мягких тканей в межмышцелковой области и четкой визуализации внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости (ЛМБК) переводили артроскоп из переднелатерального в стандартный переднемедиальный доступ для улучшения обзора. Разметку бедренного туннеля производили при согнутом до угла  $90^\circ$  коленном суставе при помощи артроскопической линейки TRUKOR Depth Gauge фирмы Smith&Nephew. С целью размещения бедренного туннеля в центральной части анатомического прикрепления ПКС измеряли линейкой глубину внутренней стенки ЛМБК от заднего до переднего края хряща. Далее на середине расстояния, или как было рекомендовано доктором С.Н. Brown, на 0,5–1 мм кзади от середины, при помощи шила размечали точку введения ориентирующей спицы. Через дополнительный переднемедиальный портал в сформированное ранее углубление устанавливали



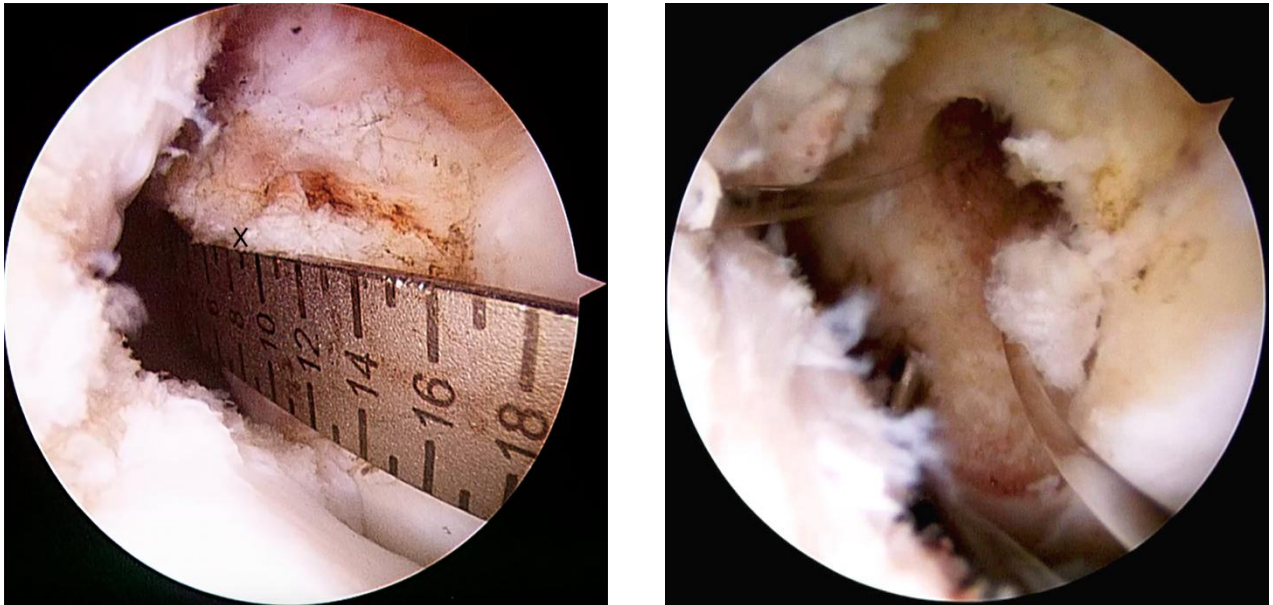
направитель Endoscopic Femoral Aimer Arm фирмы Smith&Nephew с выносом 0 мм для проведения направляющей спицы.

Затем производили сгибание конечности пациента в коленном суставе до угла 120–130° и по спице сверлом диаметром 4,5 мм формировали сквозной бедренный туннель. Далее удаляли спицу и в просверленный туннель вводили специальный измеритель глубины, отмечали длину костной части бедренного туннеля. Вновь из дополнительного переднемедиального портала в туннель вводили направляющую спицу с ушком и изнутри рассверливали слепой туннель на 7 мм короче, чем сквозной канал. С помощью спицы с ушком в туннель проводили петлю из лески или шовной нити для последующего проведения трансплантата (Рисунок 7).

Следующим этапом формировали большеберцовый туннель. Разметку его осуществляли в центральной или переднемедиальной части прикрепления ПКС, которые определяли при помощи известных ориентиров (медиальный гребень межмышечкового возвышения, передний рог латерального мениска). С использованием направителя ACUFEX DIRECTOR Drill Guide фирмы Smith&Nephew проводили ориентирующую спицу в медиальном мыщелке большеберцовой кости кнутри от медиального края бугристости под углом 55–60° в сагиттальной плоскости. По спице выполняли большеберцовый туннель диаметром, соответствующим диаметру трансплантата.

Затем отмывали полость сустава от костной стружки и с помощью артроскопического зажима выводили шовную петлю из бедренного в большеберцовый туннель наружу. С помощью петли проводили трансплантат из большеберцового туннеля в бедренный и заклинивали проксимальный конец посредством разворота Endobutton на бедре. Далее натягивали дистальный конец трансплантата и совершали 20–25 сгибаний и разгибаний в коленном суставе, оценивая изометричность, натяжение и наблюдая за возможным конфликтом между структурами сустава и трансплантатом (так называемым «импиджментом»). Достигнув «посадки» и натяжения трансплантата, осуществляли его фиксацию в канале большеберцовой кости при помощи

интерферентного пластикового винта BIOSURE PK фирмы Smith&Nephew в положении сгибания в коленном суставе под углом 20–30°.



А

Б

Рисунок 7 – Формирование бедренного туннеля с использованием переднемедиальной техники при помощи артроскопической линейки: разметка бедренного туннеля в центре прикрепления ПКС, крестиком обозначен центр будущего туннеля (А); вид сформированного туннеля в центре бедренного прикрепления ПКС (Б)

### **2.3.3. Переднемедиальная техника с позицией бедренного туннеля в проекции проксимальной части прикрепления ПКС с использованием оригинального устройства**

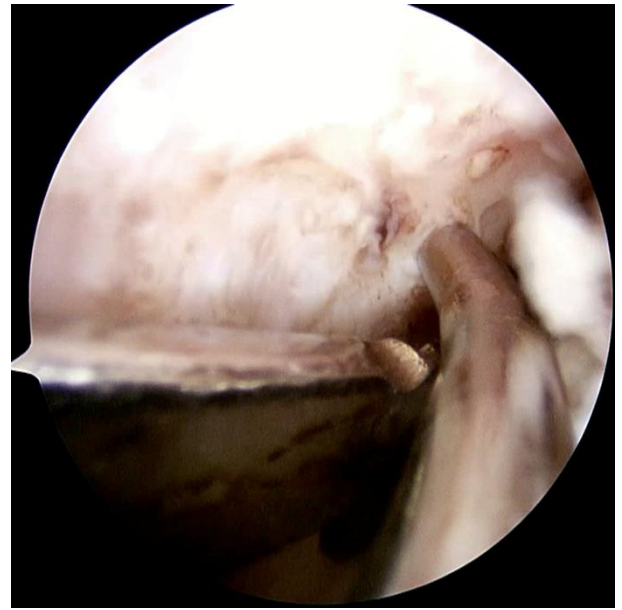
Пациенты 4-й группы были прооперированы при помощи переднемедиальной техники с использованием оригинальной методики и устройства. Установку дополнительного портала, подготовку межмышцелковой области, формирование туннелей и фиксацию трансплантата проводили по аналогичной методике, что и у пациентов 2-й группы.

Для разметки бедренного туннеля в проксимальной части анатомического прикрепления ПКС, т.е. в области переднемедиального анатомо-функционального пучка, использовали разработанную оригинальную методику и направитель. В

положении сгибания в коленном суставе под углом  $90^\circ$  визуализировали задневерхний контур ЛМБК. Затем через переднелатеральный артроскопический доступ устанавливали направлятель (патент РФ № 2655079 от 23.05.2018г.) ориентируя его по задневерхнему краю контура хряща ЛМБК и при помощи шила отмечали центр бедренного туннеля в точке на расстоянии 7, 8 или 9 мм от края хряща, соответственно диаметру трансплантата. Затем через выбранную точку проводили ориентирующую спицу и формировали бедренный туннель соответствующего диаметра также как и во второй группе. Таким образом, между задним краем хряща и стенкой туннеля оставалась костная перегородка 3–4 мм, что соответствовало топографии бедренного прикрепления ПКС (Рисунок 8). Большеберцовый туннель, проведение, натяжение и фиксацию трансплантата выполняли аналогично первой методике.



А



Б



В



Г

Рисунок 8 – Формирование бедренного туннеля с использованием переднемедиальной техники при помощи оригинального устройства: определение центра 7-миллиметрового бедренного туннеля на расстоянии 7 мм от заднего и верхнего края ЛМБК (А); разметка центра туннеля шилом (Б); установка направляющей спицы при помощи направителя с выносом 0 мм (В); вид бедренного туннеля в проксимальной части анатомического прикрепления ПКС (Г)

### **2.3.4. Реабилитация**

Пациенты всех групп прошли реабилитационное лечение после операции по стандартной программе. В течение первых 3-х или 4-х недель с момента операции применялась временная иммобилизация коленного сустава в туторе, больные передвигались с опорой на костыли. Начало разработки движений в коленном суставе проводили по мере стихания болевого синдрома и заживления ран, т. е. примерно на 7-е–8-е сутки после операции. Рекомендовали в течение 3–4 недель добиться сгибания в колене от 180 до 90° (или более) и полностью восстановить опороспособность (ходить без костылей). Со 2-го по 4-й–5-й месяц рекомендовали использование функционального ортеза с боковыми шарнирами при ходьбе и занятиях физическим упражнениями. Начало активной физической и спортивной деятельности разрешали через 6–9 месяцев, контактных и соревновательных состязаний через 10–12 месяцев после операции.

## **2.4. Методы обследования пациентов**

Всем больным, вошедшим в данное исследование, для подтверждения диагноза и оценки результатов оперативного лечения проводился комплекс обследования, включавший клинические (субъективные и объективные), лучевые и инструментальные методы.

### **2.4.1. Субъективная оценка**

Субъективную оценку состояния проводили у всех пациентов при помощи шкал-опросников IKDC-2000, KOOS и Lysholm, которые широко используются во всем мире для оценки функционального состояния коленного сустава.

Расчет результата по субъективной шкале-опроснику IKDC-2000 проводился после того, как пациент ответил на все вопросы с использованием компьютерной программы, расположенной на сайте [hss.edu](http://hss.edu). Максимально возможный результат составил 100 баллов. Вычисление оценки по шкале-опроснику Lysholm производилось путем складывания баллов, которые соответствуют различным ответам на вопросы. Окончательная оценка могла быть

разделена на 4 категории: от 91 до 100 баллов – отличный результат; 84–90 – хороший; 65–83 – удовлетворительный; менее 65 – неудовлетворительный.

Оценка результатов по шкале-опроснику KOOS согласно рекомендациям авторов проводилась по 5 разделам: симптомы; боль; сложность выполнения ежедневных бытовых действий; спорт, активность на отдыхе; качество жизни. Подсчет результатов проводили при помощи компьютерной программы, расположенной на сайте [koos.nu](http://koos.nu). Максимальный балл для каждого из разделов составлял 100.

#### **2.4.2. Объективное клиническое обследование**

Объективное обследование проводили у всех больных при очном осмотре согласно функциональной шкале оценки коленного сустава IKDC-2000. Функцию коленного сустава до и после оперативного лечения оценивали в сравнении с неповрежденной стороной, что позволило нам судить о норме для каждого пациента.

Окружность бедра измеряли при помощи сантиметровой ленты в 10 см проксимальнее основания надколенника. Амплитуду движений в коленном суставе измеряли при помощи угломера. Отсчет вели от положения коленного сустава в полном разгибании. Оценку переднего смещения голени относительно бедра проводили с использованием теста «переднего выдвигающего ящика» при сгибании в коленном суставе под углом  $90^\circ$  и теста Лахмана при сгибании в коленном суставе под углом  $25^\circ$ . Согласно протоколу IKDC-2000 с использованием указанных тестов, определяли одну из 4-х степеней переднего смещения голени: от 0 до 2 мм (–); от 3 до 5 мм (+); от 6 до 10 мм (++); более 10 мм (+++).

Количественную оценку переднего смещения голени определяли с помощью артрометра (патент на изобретение РФ №2336816 от 23.11.2006г., Серебряк Т.В. с соавт.) при сгибании в коленном суставе  $25^\circ$  и максимальном мануальном усилии. Ротационное смещение голени относительно бедра оценивали с помощью «pivot-shift» теста при нейтральной позиции стопы. При

помощи данного теста также определяли одну из степеней: отрицательный или одинаковый с двух сторон (-); скользящий (+); явный, с глухим звуком (++)); грубый (+++).

Данные измерений заносили в форму функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 с целью определения итогового результата. Согласно данной форме результаты были разделены на 4 категории: А – норма, В – близко к норме, С – отклоняющийся от нормы, D – сильно отклоняющийся от нормального.

### **2.4.3. Оценка топографии костных туннелей**

Для определения локализации костных туннелей выполняли компьютерную томографию коленного сустава на аппарате Toshiba Aquilion Prime (64 среза). Полученные томограммы экспортировали в программу OsiriX MD 8.0, где при помощи встроенной функции получали трехмерное изображение коленного сустава. На полученных трехмерных изображениях плато большеберцовой кости и внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости определяли локализацию центров туннелей. Оценку их положения по отношению к анатомическому прикреплению ПКС проводили с учетом известных литературных данных.

**Оценка локализации большеберцового туннеля.** Положение центра большеберцового туннеля рассчитывали по методу анатомических координатных осей в процентах (Tsukada H. et al., 2008). После получения трехмерного изображения плато большеберцовой кости (вид сверху) проводили перпендикулярные линии, соответствующие наиболее выступающим частям суставной поверхности. Затем производили оценку положения центра туннеля в передне-заднем направлении (по оси d) и в медиально-латеральном направлении (по оси w). Точка пересечения вышеуказанных линий соответствовала локализации центра большеберцового туннеля. Отсчет положения производили от переднего и медиального краев плато (Рисунок 9).

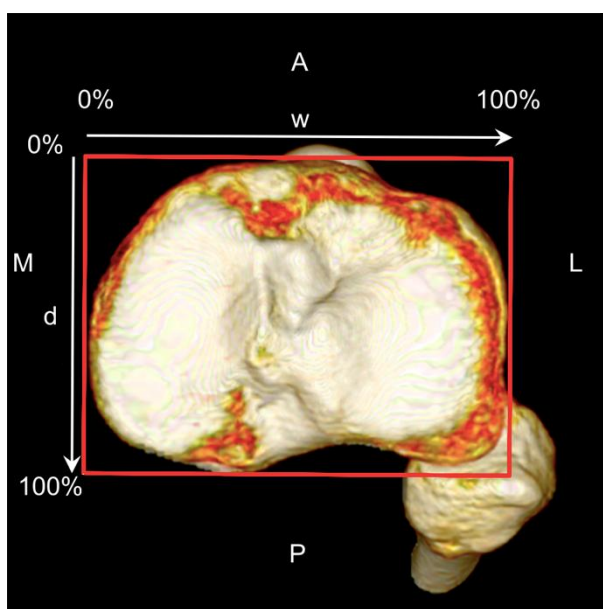


Рисунок 9 – Расчет положения большеберцового туннеля методом анатомических координатных осей

**Оценка локализации бедренного туннеля.** Для количественного определения локализации бедренного туннеля использовали квадрантный метод Бернарда и Хертеля (Bernard M. et al., 1997). После получения строгой боковой проекции внутренней поверхности ЛМБК в положении сгибания в коленном суставе под углом  $90^\circ$  проводили линию, соответствующую крыше межмышцелковой вырезки бедренной кости (линия Blumensaat'a) и параллельную ей линию по нижнему краю ЛМБК (ось t). Затем строили две перпендикулярные им линии по наиболее переднему и наиболее заднему краям ЛМБК (ось h). Затем производили оценку положения центра туннеля по оси t в задне-переднем направлении и по оси h в верхне-нижнем направлении (Рисунок 10).



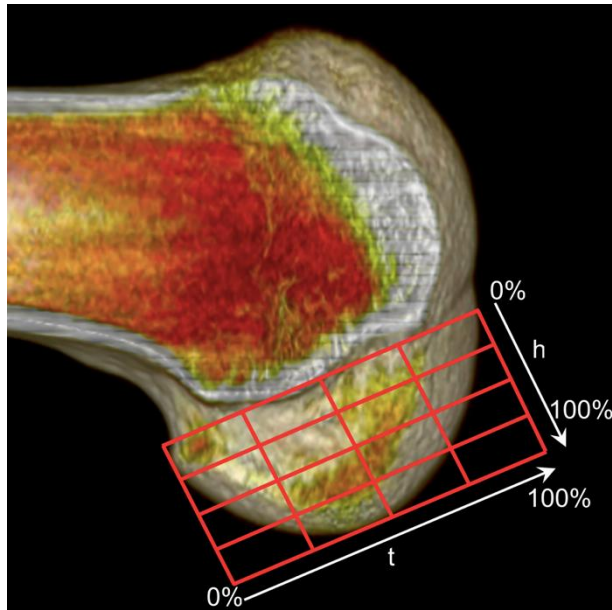


Рисунок 10 – Квадрантный метод оценки положения бедренного туннеля по Бернару и Хертелю

**Оценка анатомичности положения бедренного туннеля.** После получения строгой боковой проекции внутренней поверхности ЛМБК в положении сгибания в коленном суставе  $90^0$  проводили оценку положения центра бедренного туннеля относительно латерального межмыщелкового гребня, который является передней границей прикрепления ПКС на бедренной кости. Поскольку полученные томограммы не позволяли нам четко визуализировать ЛМГ, мы размечали его границы путем построения перпендикуляра на расстоянии от 7 мм до 10 мм от хряща заднего края внутренней поверхности ЛМБК (Рисунок 11), что соответствует известным данным о его топографии (Shino K. et al., 2010).

Затем оценивали положение центра бедренного туннеля относительно ЛМГ. При локализации его впереди от ЛМГ его положение считали не анатомичным, в зоне ЛМГ – частично анатомичным, позади ЛМГ – в зоне анатомического прикрепления ПКС (Рисунок 12). Положение центра туннеля на пересечении с ЛМГ означает лишь частично анатомичное положение всего туннеля. Данное заключение объясняется тем, что при разогнутом коленном суставе трансплантат ПКС будет прилежать к передней стенке костного туннеля, и поэтому его

наиболее функциональная передняя часть будет находиться вне зоны анатомического прикрепления ПКС.

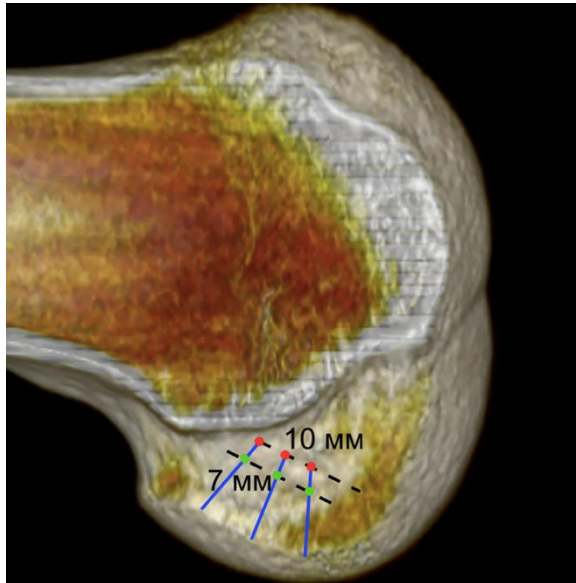
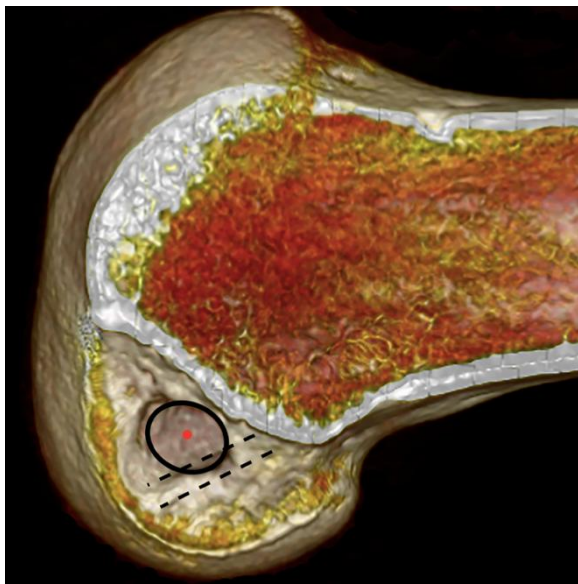
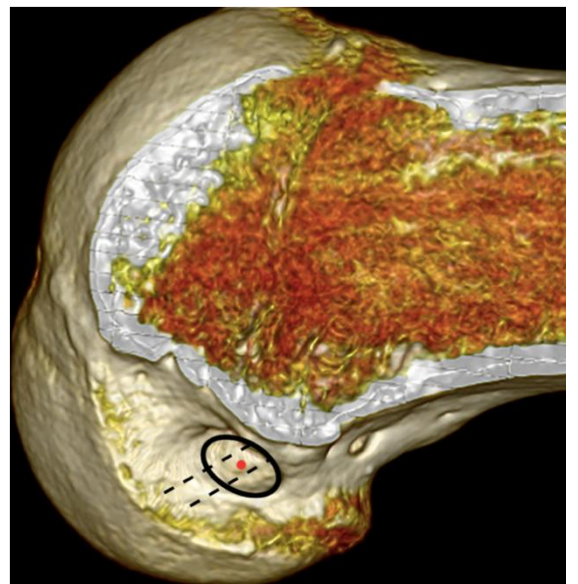


Рисунок 11 – Определение положения ЛМГ



А

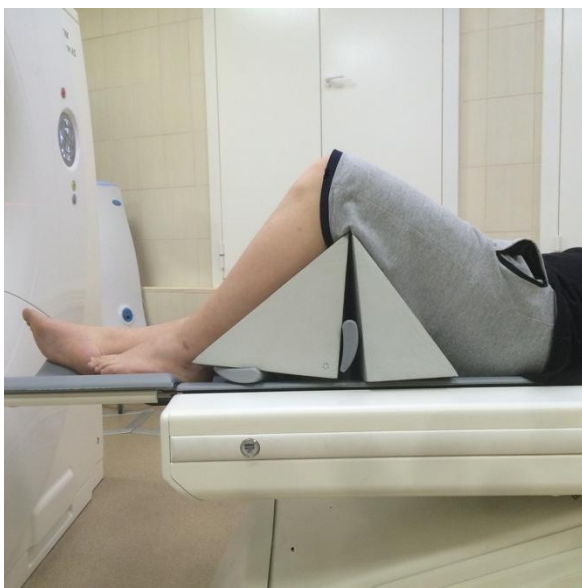


Б

Рисунок 12 – Положение центра бедренного туннеля кпереди от ЛМГ – не анатомичное (А), в зоне ЛМГ – частично анатомичное (Б)

#### 2.4.4. Оценка возможности и условий для анатомического размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники их формирования

Для анализа возможности анатомического размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники нами было проведено обследование 20 пациентов, поступивших для оперативного лечения в РНИИТО им. Р.Р. Вредена по поводу разрыва ПКС. Указанным больным перед операцией выполняли КТ поврежденного коленного сустава в положении полного разгибания и сгибания под углом  $90^\circ$  (Рисунок 13).



А



Б

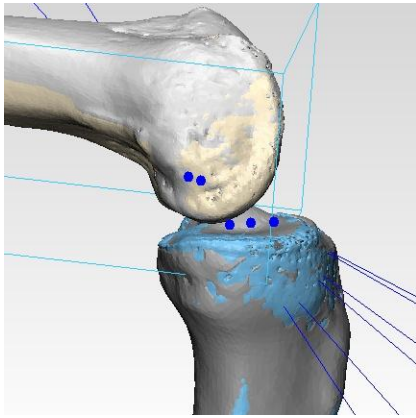
Рисунок 13 – Укладка пациента при выполнении КТ коленного сустава в положении сгибания под углом  $90^\circ$  (А) и полного разгибания (Б)

Полученные данные КТ-исследования импортировали в программу Mimics medical 20.0, при помощи которой проводили трехмерную реконструкцию коленного сустава в разогнутом и согнутом положениях. На полученных трехмерных изображениях с учетом известных литературных данных размечали центры прикрепления переднемедиальной, центральной и заднелатеральной частей ПКС на большеберцовой кости, а также переднемедиальной – на бедренной. Затем полученные изображения костей с обозначенными местами

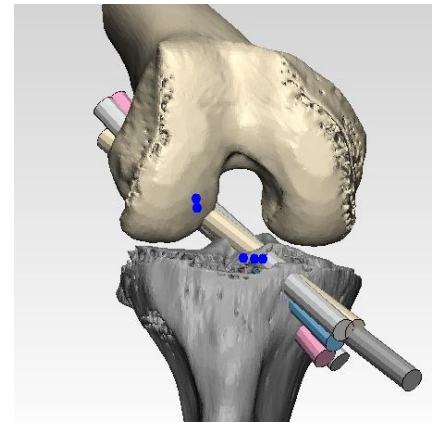
прикреплений экспортировали в программу 3-Matic medical 12.0 для дальнейшего моделирования.

Полученные точки на обеих костях соединяли между собой при помощи линий, продолжающихся за пределы кости. Затем с учетом проведенных линий строили цилиндры диаметром 8 мм (согласно наиболее вероятному диаметру трансплантата). Продолжая направление построенных цилиндров на поверхность мыщелков коленных суставов, размечали точки начала и конца чрезбольшеберцовых туннелей. На КТ-томограммах в положении сгибания под углом  $90^\circ$  измеряли следующие величины: длину костных туннелей, углы наклона большеберцового туннеля в сагиттальной и фронтальной плоскостях, а также расстояние от суставной поверхности плато и медиального края бугристости большеберцовой кости до точки входа в туннель. Затем на разогнутом коленном суставе оценивали наличие возможного «импиджмента» трансплантата с крышей межмыщелковой вырезки бедренной кости (Рисунок 14).

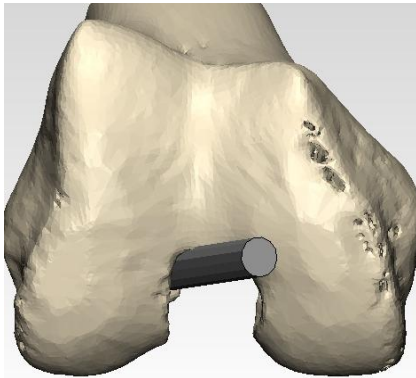
Помимо оценки демографических данных, дополнительно были произведены измерения индивидуальных анатомических особенностей пациентов, такие как: глубина и высота внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости, глубина плато большеберцовой кости. На изображениях коленного сустава в положении сгибания под углом  $90^\circ$  в строго сагиттальной плоскости проводили линию вдоль крыши межмыщелковой вырезки бедренной кости (линия Blumensaat'a) и параллельно ей линию по наиболее выступающей точке нижнего края ЛМБК, расстояние между которыми принимали за его высоту. Затем перпендикулярно им строили линии по наиболее выступающим точкам переднего и заднего краев, расстояние между которыми принимали за глубину ЛМБК. Глубину плато большеберцовой кости определяли путем измерения расстояния между наиболее выступающими точками переднего и заднего краев суставной поверхности ее мыщелков.



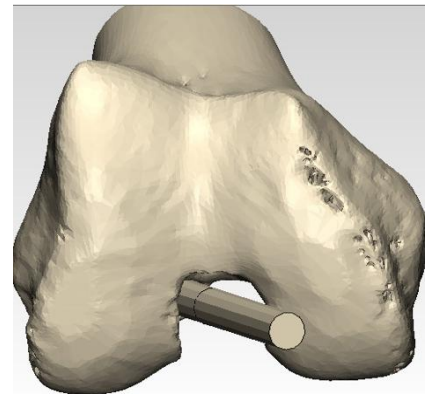
А



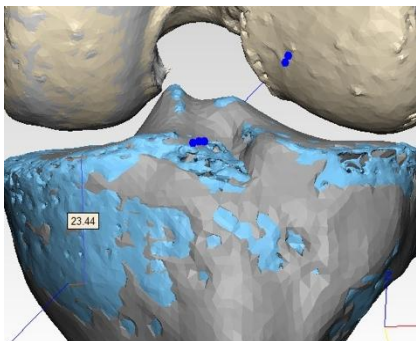
Б



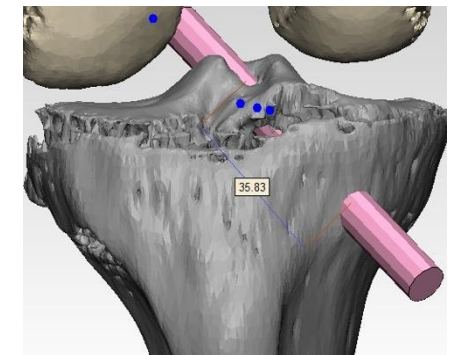
В



Г



Д



Е

Рисунок 14 – Построение линий, соединяющих точки анатомического прикрепления ПКС на бедренной и большеберцовой костях (А); построение цилиндров диаметром 8 мм (Б); выявление наличия «импиджмента» трансплантата о крышу межмыщелковой вырезки (В); отсутствие «импиджмента» трансплантата (Г); измерение расстояния от точки входа на большеберцовой кости до уровня плато (Д); измерение длины большеберцового туннеля (Е)



### 2.4.5. Оценка состояния и особенностей внутрисуставной перестройки трансплантата ПКС

Оценку состояния трансплантата ПКС проводили на всех сроках послеоперационного обследования пациентов всех групп. МРТ-исследование коленного сустава выполняли на сверхвысокопольном аппарате Siemens Verio 3,0 Тесла. Для более четкой визуализации состояния и структурных особенностей трансплантата или нативной ПКС мы взяли за основу протокол, предложенный с целью оптимизации послеоперационной МРТ-оценки (Araujo P. et al., 2013). Для сокращения времени исследования нами были оставлены 5 из 7 режимов, которые также позволили в полной мере визуализировать трансплантат. Кроме того, данный протокол использовался нами для выявления повреждения трансплантата ПКС при послеоперационном наблюдении. Протокол МР-исследования представлен в Таблице 2 и изображен на Рисунке 15.

Таблица 2 – Протокол МР-исследования

Режим/ проекция	Толщина среза, мм	Время повторений, среднее	Функция
PD+FS TSE Sagittal	3	5080	Оценка структурной зрелости трансплантата
T2 TSE Sagittal	3	2610	Определение повреждения волокон трансплантата, визуализация ЗКС
PD+FS TSE Coronal	3	3250	Оценка структурной зрелости трансплантата
T2 TSE Axial-oblique	2	3830	Определение повреждения волокон трансплантата
T2 TSE Sagittal- oblique	2	2440	Оценка состояния и интенсивности сигнала (ИС) трансплантата ПКС на всем протяжении

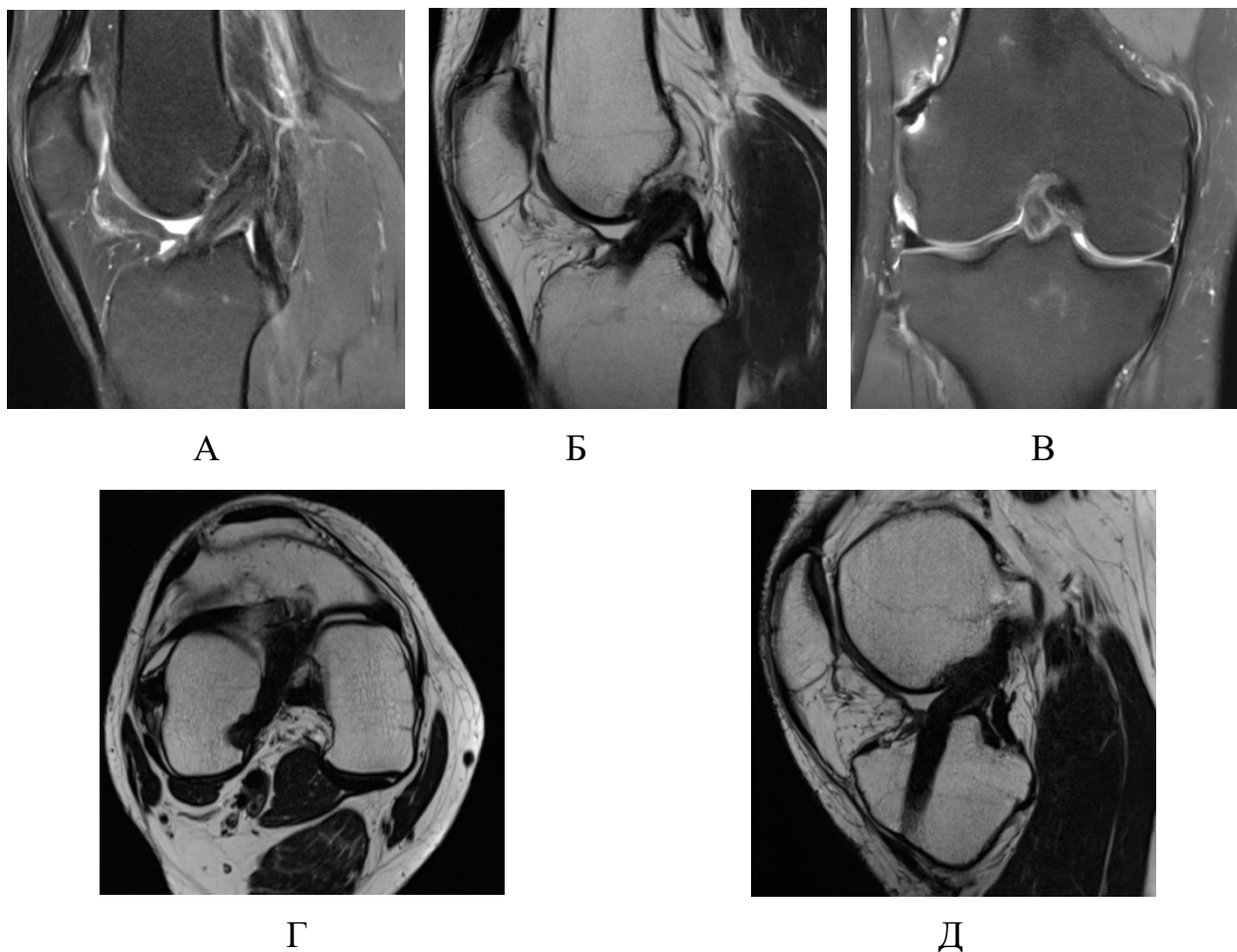


Рисунок 15 – Протокол МР-исследования трансплантата ПКС. Режимы: А - PD+FS TSE Sagittal; Б - T2 TSE Sagittal; В - PD+FS TSE Coronal; Г - T2 TSE Axial-oblique; Д - T2 TSE Sagittal-oblique

Оценку внутрисуставной перестройки сухожильного ауто трансплантата после реконструкции ПКС мы производили по данным МРТ, которую выполняли всем пациентам проспективных групп в сроки 3–5 суток, а затем через 3, 6 и 12 месяцев после операции. С целью ее объективизации и количественного выражения результатов в динамике мы использовали методику, которая основана на определении интенсивности сигнала (ИС) от ПКС (Miyawaki M. et al., 2014). Для этого после получения томограмм файлы экспортировали в программу OSIRIX MD 8.0 и для дальнейшей оценки выбирали косо-сагиттальную проекцию в режиме T2 TSE, где визуализировали трансплантат ПКС на всем протяжении. Затем выбирали функцию «область интереса» и выделяли всю внутрисуставную часть трансплантата ПКС, откуда получали данные об его интенсивности сигнала

(ИС Тпкс). Затем выделяли всю область задней крестообразной связки и определяли интенсивность сигнала от нее (ИС ЗКС). После этого определяли коэффициент путем деления значений интенсивности сигнала от ПКС на величину ИС от ЗКС: Коэф. (Тпкс) = ИС (Тпкс)/ИС (ЗКС). Пример определения интенсивности сигнала от ПКС и ЗКС представлены на Рисунке 16.

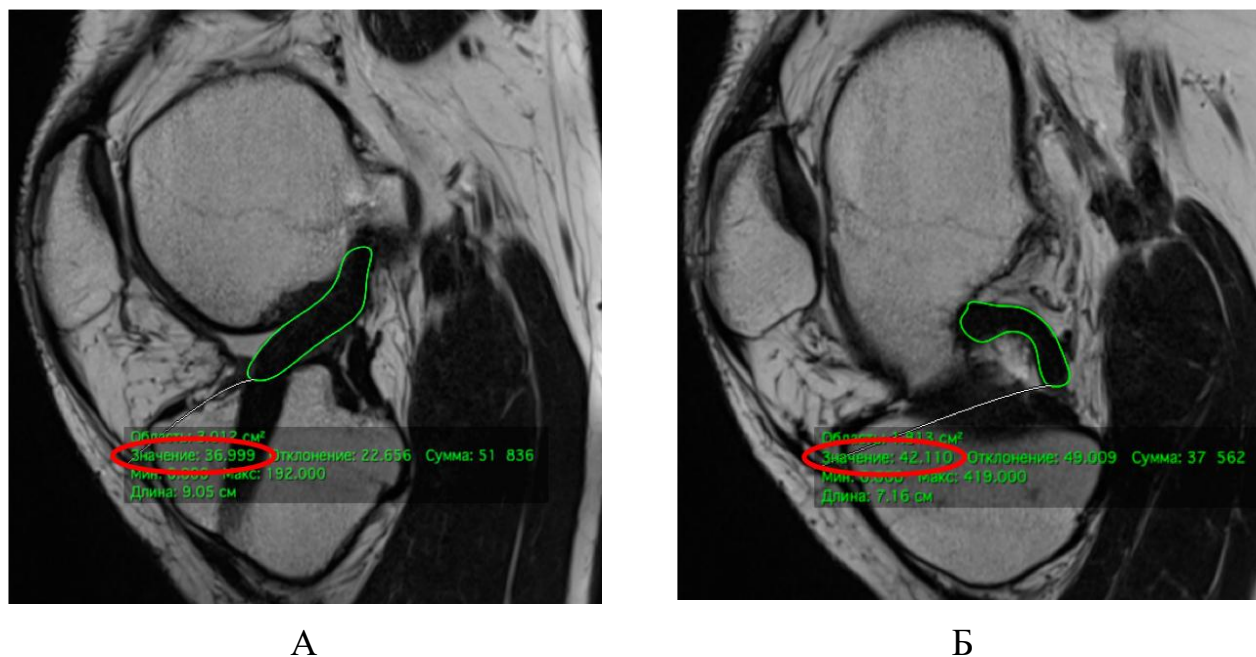


Рисунок 16 – Определение интенсивности сигнала от трансплантата ПКС (А) и от ЗКС (Б)

Для определения условной нормы нами также была определена МР-картина нативной ПКС. Для этого мы по аналогичной методике изучили МР-томограммы 25 пациентов с не поврежденными связками, которым было выполнено данное исследование по поводу другой внутрисуставной патологии коленного сустава. Далее с использованием математических и статистических методов мы сравнивали МР-характеристики трансплантата ПКС среди обследуемых групп пациентов в различные сроки после операции с МР-картиной нативной ПКС.



#### **2.4.6. Оценка характера расширения бедренного костного туннеля**

Оценку расширения костных туннелей проводили у пациентов проспективных групп по данным МРТ, выполненного через 12 месяцев после операции. Расчет расширения большеберцового туннеля нами не проводился, поскольку наличие внутрикостного фиксатора (интерферентного винта) создавало помехи и не позволяло объективно измерить его диаметр.

Оценку расширения бедренного туннеля проводили с учетом известных данных об изначальном диаметре трансплантата и сверла из протокола операции. МРТ исследования коленного сустава экспортировали для дальнейшей оценки в программу OSIRIX MD 8.0, где при помощи встроенной функции линейки перпендикулярно длинной оси туннеля определяли его ширину. Измерения производили во фронтальной и сагиттальной проекциях (в режиме PD + FS TSE) на трех уровнях: в проксимальной, средней и дистальной третях туннеля (Рисунок 17). Подсчет результатов производили в процентном соотношении к изначальному диаметру туннеля.

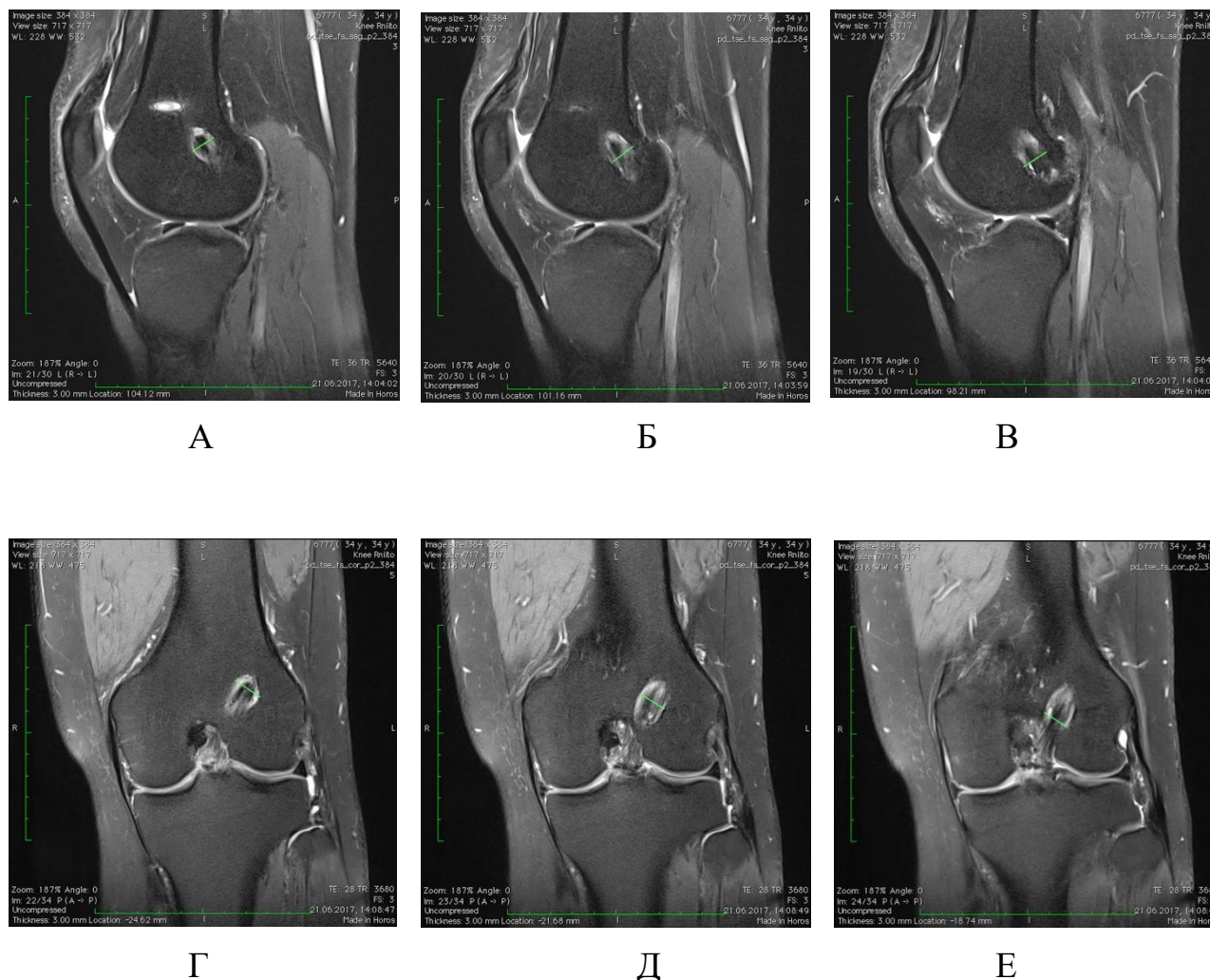


Рисунок 17 – Измерение ширины туннеля в сагиттальной плоскости в проксимальной (А), средней (Б) и дистальной части (В) и во фронтальной плоскости в проксимальной (Г), средней (Д) и дистальной части (Е)

## 2.5. Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы клинические результаты обрабатывались с использованием программной системы STATISTICA for Windows (версия 10, лицензионная). Описательные статистики количественных показателей рассчитывались по всему традиционному набору характеристик: среднее значение, разброс данных, минимум, максимум, медиана и квартили. Для качественных параметров определяли абсолютные значения и процентные доли в соответствующих задачам работы группах и подгруппах.

Сопоставление частотных характеристик качественных показателей проводилось с помощью непараметрических методов  $\chi^2$ ,  $\chi^2$  с поправкой Йетса

(для малых групп), критерия Фишера. Сравнение количественных параметров в исследуемых группах осуществлялось с использованием критериев Манна-Уитни, Вальда, медианного хи-квадрат и модуля ANOVA. Оценка изучаемых показателей в динамике после проведенного лечения выполнялась с помощью критерия Знаков и критерия Вилкоксона.

Для визуализации структуры исходных данных и полученных результатов их анализа мы использовали графические возможности системы Statistica for Windows и модуль построения диаграмм системы Microsoft Office. Для представления частотных характеристик признаков были построены столбиковые и круговые диаграммы. Количественные показатели в различных исследуемых подгруппах для полноты описания и удобства восприятия и сравнения мы представили в форме графиков и «Box & Whisker Plot», когда на одном поле при различных группировках на основе качественных критериев отражены среднее значение, ошибка среднего и стандартное отклонение для указанного параметра. Критерием статистической достоверности получаемых выводов мы считали общепринятую в медицине величину  $P < 0,05$ . Устойчивый вывод о наличии или отсутствии достоверных различий мы формулировали тогда, когда мы имели одинаковые, по сути, результаты по всему комплексу применявшихся критериев.

### **ГЛАВА 3. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСХОДОВ ЧРЕЗБОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И ПЕРЕДНЕМЕДИАЛЬНОЙ ТЕХНИК РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ**

#### **3.1. Общая характеристика ретроспективных групп**

Ретроспективная часть исследования основана на сведениях о 140 пациентах, прошедших оперативное лечение в ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России за период с 2012 по 2015 гг. по поводу разрыва передней крестообразной связки. Все больные в сроки от 2-х до 5-ти лет после операции прошли обследование в заочной или очной форме.

В зависимости от способа формирования костных туннелей пациенты ретроспективной части были разделены на следующие группы:

- чрезбольшеберцовая техника (1-я группа) – 88 пациентов, из них 60 были обследованы в очной форме и 28 - в заочной;

- переднемедиальная техника (2-я группа) – 52 пациента, из них 41 пациент был обследован в очной форме и 11 – в заочной;

Пациенты 1-й группы, прошедшие обследование в очной форме и не имевшие признаков повреждения трансплантата ПКС ( $n = 54$ ), для решения первой задачи дополнительно были разделены на две подгруппы в зависимости от локализации центра бедренного туннеля по отношению к латеральному межмышцелковому гребню (ЛМГ) по данным КТ:

- центр бедренного туннеля находился кпереди от ЛМГ, т.е. в не анатомичном положении (подгруппа 1А) – 32 больных;

- центр бедренного туннеля находился в зоне ЛМГ, т.е. в частично анатомичном положении (подгруппа 1Б) – 22 пациента.

### **3.1.1. Рецидивы нестабильности**

Разрывы трансплантата (по данным МРТ и клинического обследования) были выявлены у 9 пациентов (10,2%) из 1-й группы и у 5 (9,6%) – из 2-й группы. Различия по данному показателю не были статистически значимыми. Данные пациенты не были включены в дальнейшую оценку, поскольку нашей целью было определить функцию сухожильного трансплантата в зависимости от его положения.

## **3.2. Анатомо-функциональные среднесрочные результаты чрезбольшеберцовой техники реконструкции ПКС**

Из 88 пациентов в 1-й группе очная оценка среднесрочных результатов оперативного лечения была проведена у 60 больных (68%). Остальные 25 пациентов (32%) по различным причинам прошли обследование в заочной форме (только субъективная оценка). Разрывы трансплантата по данным МРТ, клинического обследования и анамнеза у пациентов 1-й группы были выявлены в 9 случаях (10,2%). Рецидивы были выявлены у 6-ти пациентов при очном обследовании и у 3-х – по данным анамнеза. Данные больные не были включены в дальнейшую оценку. Таким образом, из оставшихся 79 пациентов, 54 прошли углубленное клинико-лучевое обследование и 22 – субъективную оценку.

### **3.2.1. Оценка трансплантата ПКС**

С целью оценки состояния трансплантата ПКС всем пациентам при очном обследовании было выполнено МРТ коленного сустава. У 6-ти больных были обнаружены признаки полного разрыва трансплантата ПКС. У остальных 54-х пациентов визуализировали однородный, структурно-оформленный трансплантат, что позволило нам провести дальнейшую оценку его функции.

### **3.2.2. Положение костных туннелей**

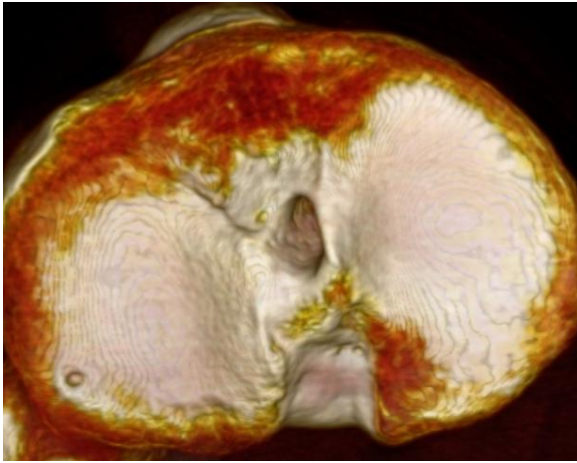
По данным КТ, при оценке локализации центра большеберцового туннеля с использованием метода анатомических координатных осей, у пациентов 1-й группы он располагался в точке, соответствующей  $45,7 \pm 5,5\%$  по оси d и

45,2 ± 2,3% по оси w. Такая позиция большеберцового туннеля совпадает с проекцией центральной или задней трети зоны анатомического прикрепления ПКС.

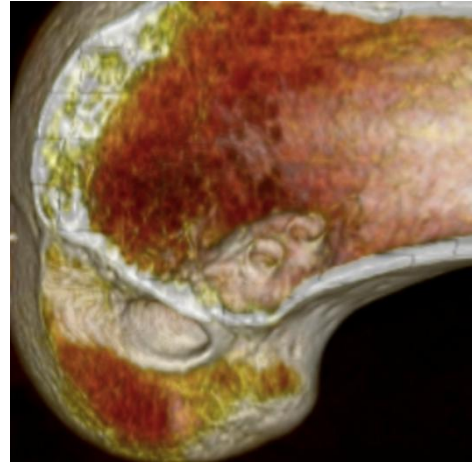
При оценке положения бедренного туннеля с использованием квадрантного метода было выявлено, что он располагался в точке, располагавшейся в 40,1 ± 6,1% по оси t и 15,1 ± 4,9% по оси h, что соответствует локализации кпереди от проксимальной части прикрепления ПКС. Также было обнаружено, что локализация бедренного туннеля в ряде случаев имела значительные различия. В дальнейшем это послужило поводом для изучения влияния его положения на клинические результаты. Послеоперационные рентгенограммы и типичное положение костных туннелей у пациентов 1-й группы представлены на Рисунках 18 и 19.



Рисунок 18 – Послеоперационные рентгенограммы коленного сустава у пациентов 1-й группы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях



А



Б

Рисунок 19 – Положение большеберцового (А) и бедренного (Б) костных туннелей у пациентов 1-й группы при чрезбольшеберцовой технике

### 3.2.3 Субъективные результаты оперативного лечения

Субъективная оценка проводилась у всех 79 пациентов из 1-й группы. По данным шкалы IKDC-2000 итоговый результат составил  $87,7 \pm 9,6$  баллов. По результатам шкалы Lysholm отличные субъективные результаты были получены у 43-х пациентов (54%), хорошие – у 31-го (39%) и удовлетворительные – у 4-х больных (7%), при этом средний балл составил  $90,9 \pm 8,0$ . При оценке по данным шкалы-опросника KOOS результаты по разделу боль составили  $94,5 \pm 6,3$  баллов; симптомы –  $90,1 \pm 8,4$ ; сложность выполнения ежедневных бытовых действий –  $98,0 \pm 3,4$ ; спорт, активность на отдыхе –  $86,6 \pm 13,1$ ; качество жизни –  $78,8 \pm 16,1$ .

### 3.2.4. Объективные результаты оперативного лечения

Объективная оценка была проведена при очном обследовании у 54-х пациентов из первой группы в сравнении с неповрежденным коленным суставом.

Разница при измерении окружности бедра на оперированной конечности по сравнению со здоровой стороной составила  $1,3 \pm 1,3$  см (от 0 до 4 см). Дефицит сгибания в коленном суставе составил  $1,7 \pm 3,5^\circ$  (от  $0^\circ$  до  $15^\circ$ ), разгибания –  $0,2 \pm 1,0^\circ$  (от  $0^\circ$  до  $5^\circ$ ). Смещение голени относительно бедра по результатам мануальных тестов переднего выдвигного ящика и Лахмана было в пределах от 0 до 2 мм (–) у 25 пациентов (46%), от 3 до 5 мм (+) – у 21 больного (39%), от 6 до

10 мм (++) – в остальных 8 случаях (15%). «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 22 пациентов (41%), скользящим (+) – у 20 больных (37%) и явным (++) – в остальных 12 случаях (22%). По данным артрометрии было выявлено увеличение переднего смещения голени относительно бедра на  $3,4 \pm 2,6$  мм (от 0 до 10 мм) больше по сравнению со здоровой стороной.

По данным функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 к категории «А» (норма) были отнесены 20 больных (37%), к «В» (близко к норме) – 22 (41%) и к «С» (отклоняющиеся от нормы) – 12 (22%).

### **3.3. Влияние положения туннелей на клинические результаты**

Для определения влияния положения костных туннелей на клинические результаты чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС пациенты 1-й группы были разделены на две подгруппы в зависимости от локализации бедренного туннеля по отношению к латеральному межмышцелковому гребню (ЛМГ). Подгруппу 1А составили 32 больных (59%), у которых центр туннеля находился кпереди от ЛМГ, т.е. в не анатомичном положении. У остальных 22-х пациентов (31%) центр бедренного туннеля был в пределах ЛМГ (подгруппа 1Б), что расценивалось как частично анатомичное положение. Данное заключение объясняется тем, что при разогнутом коленном суставе трансплантат ПКС будет прилежать к передней стенке костного туннеля, поэтому его наиболее функциональная передняя часть будет находиться вне зоны анатомического прикрепления ПКС. Положение центров бедренных туннелей у пациентов обеих подгрупп по отношению к ЛМГ представлено на Рисунке 20.



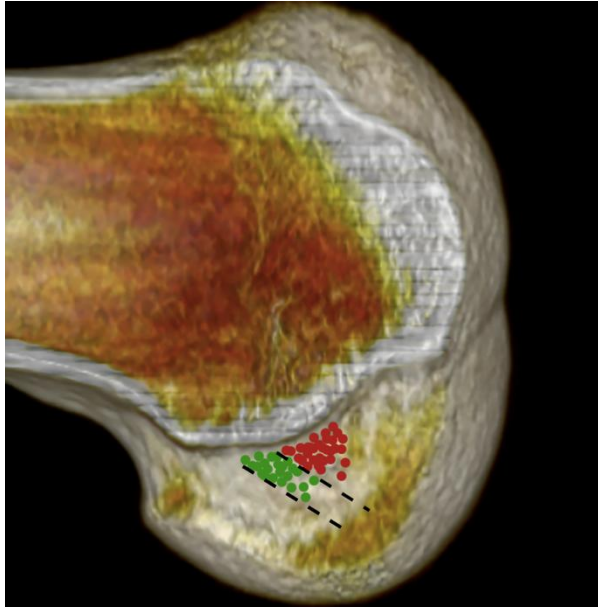


Рисунок 20 – Локализация центров бедренных туннелей у пациентов 1-й группы: пунктиром обозначен ЛМГ, красными точками (подгруппа 1А) – туннели кпереди от ЛМГ (не анатомичное положение), зелеными точками (подгруппа 1Б) – в зоне ЛМГ (частично анатомичное положение)

При статистическом анализе были выявлены значимые различия в локализации бедренного туннеля по оси t (в задне-переднем направлении) при его оценке с использованием квадрантного метода ( $p < 0,05$ ). Было выявлено, что у пациентов подгруппы 1А он располагался в точке, соответствующей  $43,4 \pm 0,6\%$  по оси t и  $14,8 \pm 0,9\%$  оси h. В подгруппе 1Б центр бедренного туннеля находился в  $34,4 \pm 0,8\%$  по оси t и в  $17,8 \pm 0,8\%$ , соответственно.

При оценке положения большеберцового туннеля не было выявлено статистически значимых различий между подгруппами. По данным КТ, его центр у пациентов подгруппы 1А располагался в точке, соответствующей  $46,5 \pm 1,0\%$  по оси d и  $45,6 \pm 0,3\%$  по оси w. У больных подгруппы 1Б большеберцовый туннель располагался в  $46,4 \pm 1,1\%$  по оси d и в  $45,2 \pm 0,4\%$  по оси w, соответственно.

Проведенный анализ основных демографических данных после распределения пациентов по подгруппам не выявил статистически значимых различий, что позволило нам исключить влияние других факторов на итоговый результат (Таблица 3).

Таблица 3 – Демографические данные пациентов

Признак	Подгруппа 1А	Подгруппа 1Б	Р
Количество	32	22	–
Пол	Мужчины–26 Женщины–6	Мужчины–18 Женщины–4	–
Возраст, лет	27,7 ± 0,9	29,8 ± 1,3	0,180
Период наблюдения, мес.	41,2 ± 1,2	41,0 ± 1,0	0,904
Диаметр трансплантата, мм	7,7 ± 0,1	7,8 ± 0,1	0,460

При субъективной оценке по данным шкал-опросников IKDC-2000, Lysholm и KOOS были получены более высокие результаты у пациентов подгруппы 1Б, однако, статистически значимого уровня они были лишь по данным шкалы Lysholm (Таблица 4).

Таблица 4 – Субъективная оценка результатов оперативного лечения

Шкала	Раздел	Подгруппа 1А (n=32)	Подгруппа 1Б (n=22)	Р
IKDC	–	86,7±1,6 (63,2-100)	91,2±1,6 (73,6-100)	0,062
Lysholm	–	89,6±1,2 (79-100)	95,3±1,4 (75-100)	< 0,05
KOOS	Боль	94,5±1,1 (78-100)	97,3±0,9 (86-100)	0,061
	Симптомы	91,2±1,4 (68-100)	91,8±1,8 (68-100)	0,789
	Бытовые действия	98,2±0,6 (89-100)	99,0±0,5 (90-100)	0,305
	Спорт	87,5±2,0 (65-100)	91,6±2,8 (55-100)	0,229
	Качество жизни	76,7±3,0 (44-100)	83,7±3,2 (44-100)	0,125

В подгруппе 1А по данным мануальных тестов «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана смещение голени от 0 до 2 мм (–) было выявлено у 10 пациентов (31%), от 3 до 5 мм (+) – у 15 больных (47%), от 6 до 10 мм (++) – в остальных 7 случаях (22%). В подгруппе 1Б смещение от 0 до 2 мм было у 15

пациентов (68%), от 3 до 5 мм – у 6 больных (27%), от 6 до 10 мм – в 1 случае (5%).

В подгруппе 1А «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 7 пациентов (22%), скользящим (+) - у 15 больных (47%), явным (++) - в остальных 10 случаях (31%). В подгруппе 1Б «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 15 пациентов (68%), скользящим (+) - у 5 больных (23%), явным (++) - в 2 случаях (9%). По результатам артротомии коленного сустава, было выявлено увеличение переднего смещения голени относительно бедра на  $2,4 \pm 0,4$  мм по сравнению со здоровой стороной у пациентов 1А подгруппы и на  $1,2 \pm 0,3$  мм у больных 1Б подгруппы.

Статистический анализ показал значимые различия между подгруппами по результатам мануального тестирования и артротомии ( $p < 0,05$ ). Результаты мануальных тестов Лахмана и «Pivot-shift» представлены на Рисунке 21.

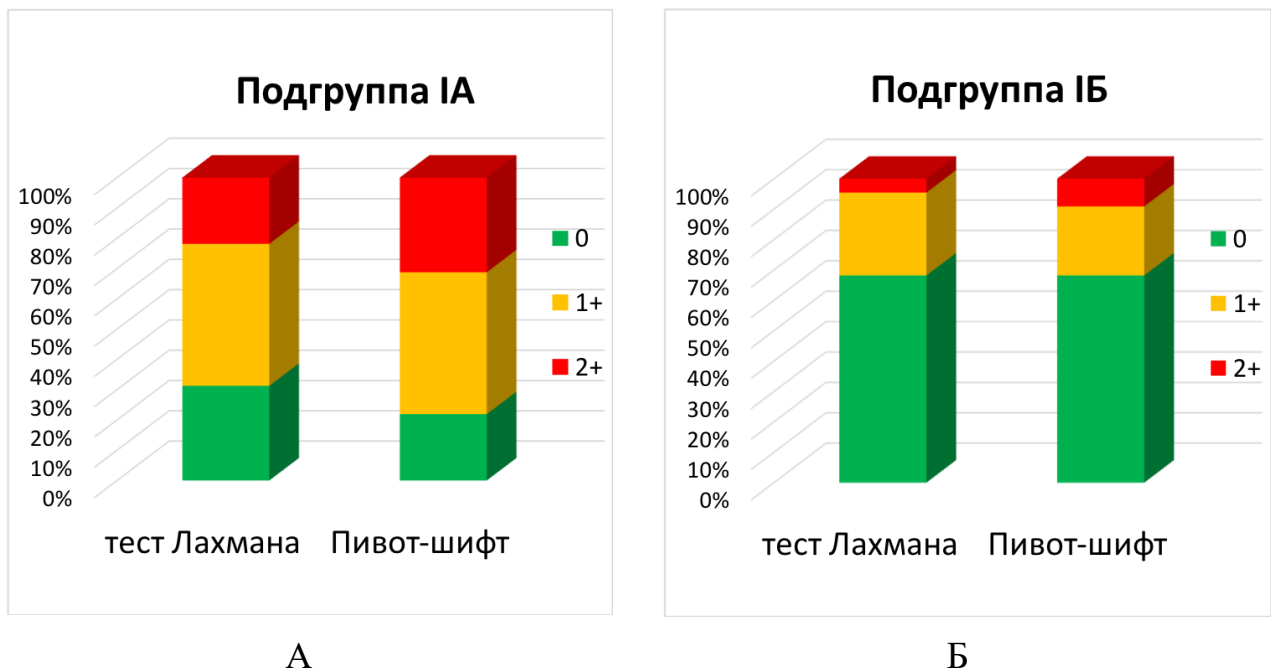


Рисунок 21 – Результаты мануальных тестов Лахмана и «Pivot-shift» в подгруппе 1А (А) и 1Б (Б) ( $p < 0,05$ )

По данным функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 (Рисунок 22), среди пациентов подгруппы 1А к категории «А – норма» были отнесены 6 больных (19%), к «В – близко к норме» – 16 (50%) и к «С –

отклоняющиеся от нормы» – 10 (31%). Среди пациентов подгруппы 1Б к категории «А» были отнесены 14 больных (64%), к «В» – 6 (27%) и к «С» – 2 (9%).

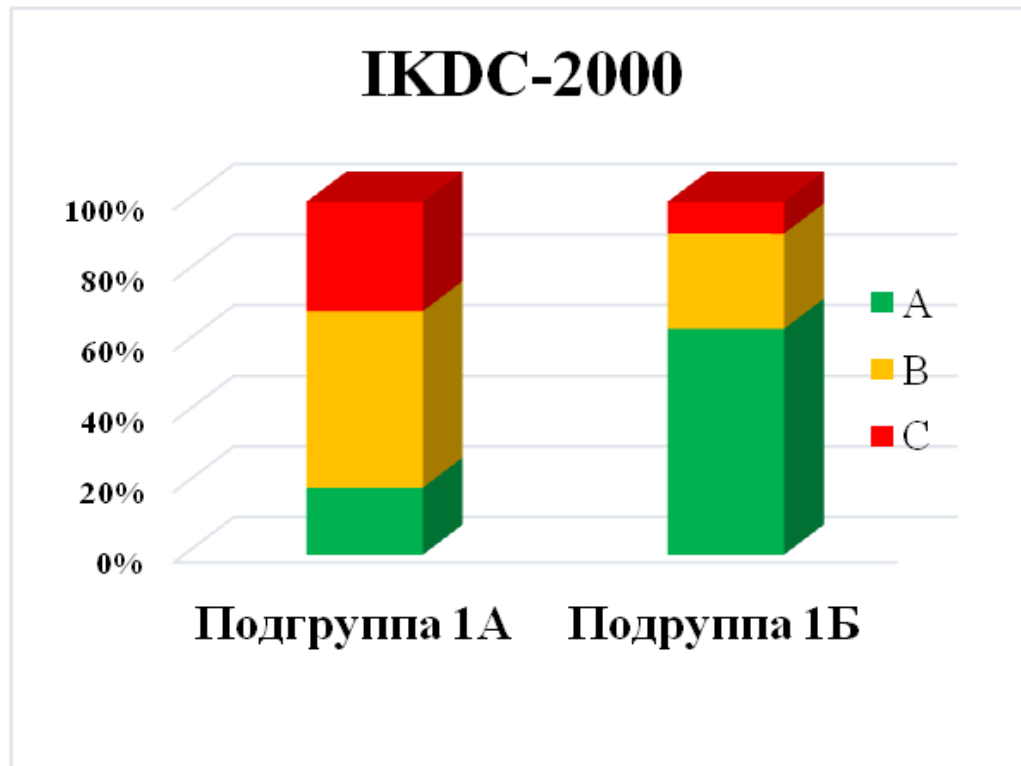


Рисунок 22 – Функциональная шкала оценки коленного сустава IKDC-2000 ( $P < 0,05$ )

Таким образом, анализ результатов показал, что положение бедренного туннеля по оси t (в задне-переднем направлении) оказывает значимое влияние на результаты чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС. В случаях его расположения ближе к заднему краю ЛМБК у пациентов были выявлены более высокие функциональные результаты. Также на основании оценки относительных рисков (RR) было определено, что при расположении бедренного туннеля вне зоны нормального прикрепления ПКС, увеличивается риск остаточной нестабильности коленного сустава в 2,2 раза ( $p < 0,001$ ), а локализация хотя бы его части в анатомической зоне способствует значительному улучшению клинических результатов.

В связи с этим перед нами возник вопрос, какие факторы влияют на размещение туннелей в условиях чрезбольшеберцовой техники и возможно ли добиться у всех пациентов анатомичного размещения трансплантата, усовершенствовав чрезбольшеберцовую методику сверления туннелей.

#### **3.4. Оценка возможности и условий для анатомичного размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники**

Для определения возможности и условий для анатомичного размещения костных туннелей с использованием чрезбольшеберцовой техники были выбраны 20 пациентов, поступивших в РНИИТО для оперативного лечения по поводу разрыва ПКС. Выбранным больным на предоперационном этапе была выполнена компьютерная томография коленного сустава в положении полного разгибания и сгибания под углом 90°.

При анализе построенных трехмерных изображений коленного сустава и моделирования различных вариантов направления и локализации костных туннелей было выявлено, что размещение большеберцового туннеля в зоне заднелатеральной или центральной части прикрепления ни у одного пациента не приводило к пересечению его оси с «крышей» межмышцелковой вырезки. Тогда как размещение туннеля в переднемедиальной части прикрепления ПКС у 16-ти из 20-ти больных (80%) приводила к конфликту с костной стенкой.

Затем была проведена оценка длины туннелей при различных вариантах расположения трансплантата. При локализации большеберцового туннеля в зоне переднемедиальной части прикрепления ПКС длина бедренного канала составила  $26,2 \pm 7,2$  мм, в центральной –  $43,6 \pm 9,4$  мм, в заднелатеральной –  $54,5 \pm 7,1$  мм. Таким образом, при расположении большеберцового туннеля в зоне заднелатеральной или центральной части длина бедренного туннеля всегда была допустимой, а при локализации в переднемедиальной части его длина у 4-х больных (20%) была менее 30 мм. Длина большеберцового туннеля также зависела от его локализации. Так, при позиции в переднемедиальной части, длина его составила  $14,6 \pm 5,1$  мм (от 8 до 24 мм) и у всех больных была менее 30 мм, в

центральной –  $30,4 \pm 5,7$  мм (от 18 до 39 мм) и у 6-ти пациентов (30%) была менее 30 мм, в заднелатеральной –  $39 \pm 9,5$  мм (от 34 до 49 мм). Таким образом, во всех случаях при расположении в области переднемедиальной части и у 30% пациентов при центральном расположении большеберцового туннеля, его длина оказывалась недостаточной.

Далее была проведена оценка входной точки для формирования туннеля на большеберцовой кости при различных вариантах проведения. При позиции туннеля в зоне переднемедиальной части прикрепления ПКС расстояние от переднего края плато большеберцовой кости до центра туннеля составило  $11,6 \pm 2,4$  мм (от 8 до 14 мм), в центральной зоне –  $21,5 \pm 4,1$  мм (от 14 до 28 мм), в заднелатеральной части –  $29,5 \pm 4,9$  мм (от 20 до 32 мм). Таким образом, смещение большеберцового туннеля кпереди приводило к смещению стартовой позиции для сверления ближе к плато, что может влиять на прочность костной стенки и увеличивать риск повреждения медиального мыщелка большеберцовой кости.

К тому же, для достижения центра переднемедиальной части бедренного прикрепления из центральной части на большеберцовой кости необходимо формировать туннель под углом  $47 \pm 9,7^\circ$  во фронтальной и  $53,5 \pm 7^\circ$  в сагиттальной плоскости. Сверление большеберцового туннеля в таком косом направлении увеличивает площадь выходного отверстия и при использовании трансплантатов большого диаметра может приводить к повреждению суставной поверхности мыщелков большеберцовой кости.

Затем с целью определения влияния антропометрических данных пациента на возможность анатомического позиционирования костных туннелей при чрезбольшеберцовой технике нами были изучены следующие параметры: глубина и высота внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости, глубина плато большеберцовой кости. Причем, выход большеберцового туннеля размечали в центре анатомического прикрепления ПКС. Измерения проводили в положении коленного сустава при сгибании под углом  $90^\circ$ .

Глубина внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости варьировала от 29 до 38 мм (в среднем –  $32,8 \pm 3,0$  мм), высота была от 13 до 19 мм (в среднем –  $14,8 \pm 1,9$  мм), глубина плато составила от 51 до 60 мм (в среднем –  $55,1 \pm 2,7$  мм). Оценивали, влияют ли индивидуальные особенности строения мыщелков на центрально расположенный большеберцовый туннель. Статистический анализ показал, что с увеличением высоты ЛМБК возрастает длина большеберцового туннеля (Рисунок 23).

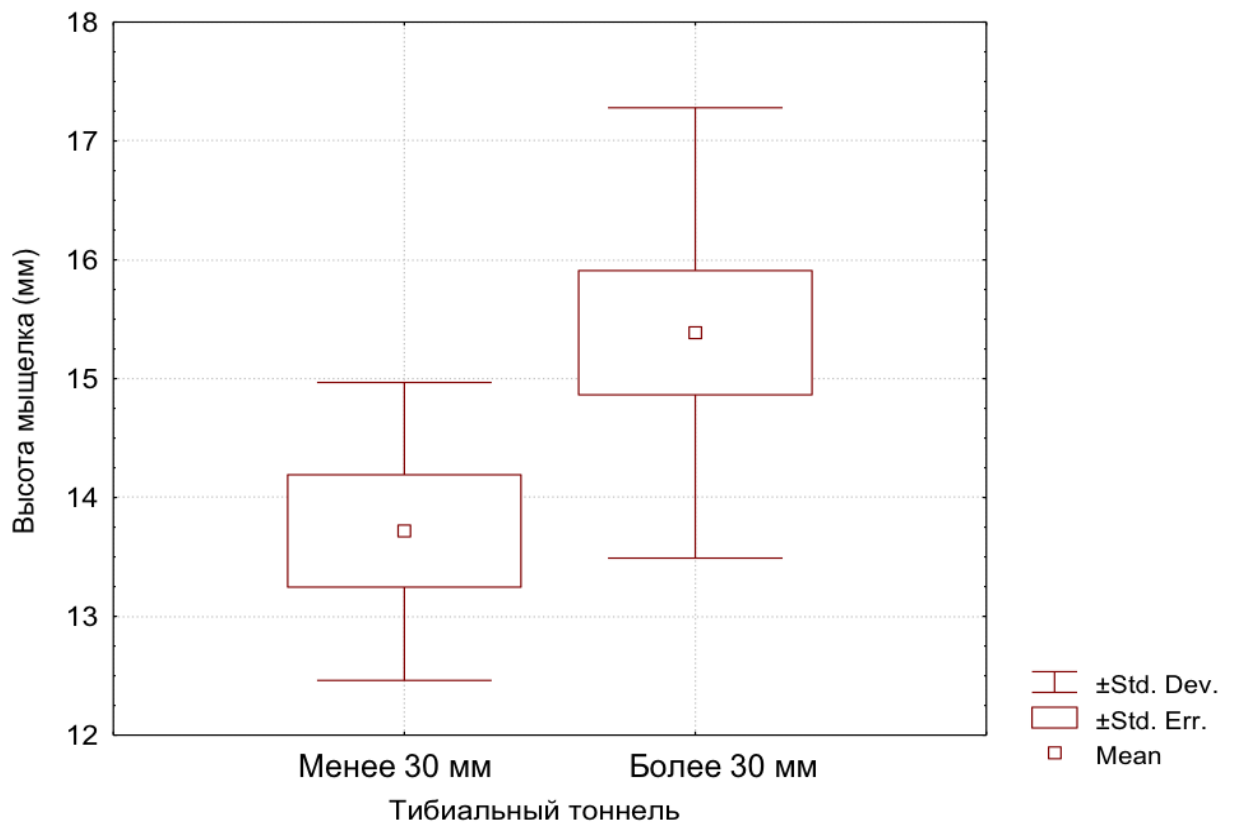


Рисунок 23 – Зависимость длины большеберцового туннеля от высоты внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости ( $p < 0,05$ )

Также при помощи определения отношения шансов (OR) было определено, что при высоте внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости более 14,5 мм возможность достижения длины большеберцового туннеля более 30 мм увеличивается в 9,7 раз.

Далее было установлено, что с увеличением глубины внутренней поверхности латерального мыщелка бедра происходило уменьшение длины большеберцового туннеля (Рисунок 24).

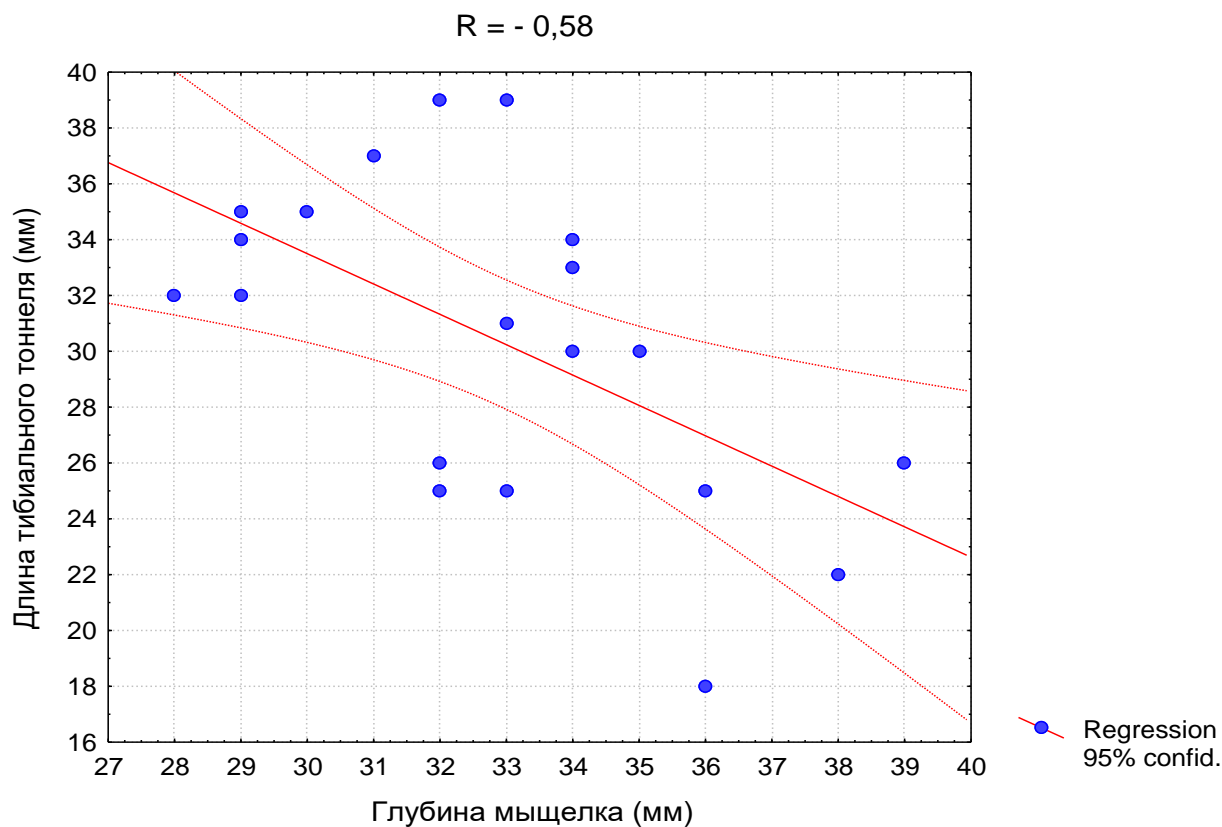


Рисунок 24 – Корреляционный анализ изменения длины большеберцового туннеля при различной глубине внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости

При этом определение отношения шансов показало, что при глубине мыщелка менее 33 мм возможность получения большеберцового туннеля длиной более 30 мм увеличивалась в 9,6 раз (Рисунок 25).



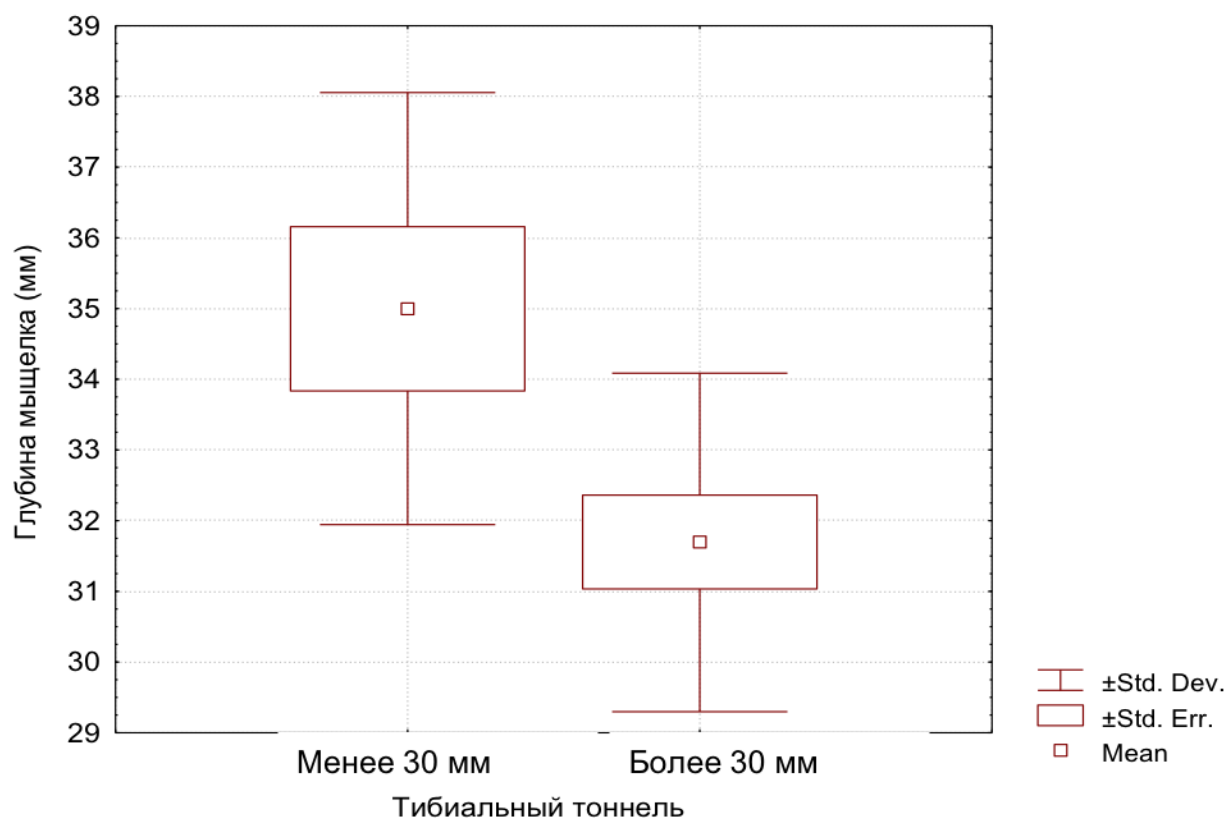


Рисунок 25 – Зависимость длины большеберцового туннеля от глубины внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости ( $p < 0,05$ )

Таким образом, стартовая позиция и точка выхода туннеля на большеберцовой кости, а также антропометрические данные пациента оказывают значимое влияние на возможность анатомической реконструкции ПКС с использованием чрезбольшеберцовой техники. За оптимальную длину костных туннелей мы приняли величину 30 мм, поскольку она является пограничной для возможности внутрикостной фиксации трансплантата ПКС.

При расположении большеберцового туннеля в зоне переднемедиальной части прикрепления ПКС у 4-х пациентов (20%) наблюдался слишком короткий бедренный туннель и у всех больных короткий большеберцовый туннель. При центральном и заднелатеральном расположении бедренный туннель во всех случаях имел удовлетворительную топографию. При этом большеберцовый туннель у 6-ти пациентов (30%) при его центральном расположении был менее 30 мм.

Таким образом, переднемедиальное расположение большеберцового туннеля приводило к его «импиджменту» или формированию короткого костного туннеля у всех пациентов, центральная локализация имела ограничения у 6-ти из 20-ти (30%) больных, а заднелатеральная позиция во всех случаях позволяла получить допустимую топографию туннелей.

Проведенное компьютерное моделирование показало, что рациональное размещение трансплантата (костного туннеля целиком в центральной части – на большеберцовой кости и в проксимальной части – на бедренной) было возможным у 14-ти пациентов из 20-ти при условии соответствия размеров внутренней поверхности ЛМБК: глубины менее 33 мм и высоты менее 14,5 мм. Необходимый угол формирования большеберцового туннеля составлял  $47 \pm 9,7^\circ$  во фронтальной и  $53,5 \pm 7^\circ$  в сагиттальной плоскости. Стартовую точку для сверления большеберцового туннеля надо было располагать на  $22,8 \pm 4,1$  мм ниже плато большеберцовой кости и на  $14,8 \pm 2,7$  мм кнутри от бугристости ББК.

Клиническим значением полученных фактов является следующее: для достижения приемлемого анатомического положения бедренного туннеля при чрезбольшеберцовой технике реконструкции ПКС хирурги вынуждены проводить большеберцовый туннель под углом более  $40^\circ$  от вертикали, а выход туннеля размещать ближе к задней трети прикрепления связки. Таким образом, моделирование и анализ возможностей чрезбольшеберцового проведения туннелей при реконструкции ПКС подтверждает известную в литературе тенденцию к неоптимальной (более вертикальной) ориентации трансплантата ПКС при чрезбольшеберцовой технике.

Стремление улучшить анатомо-функциональные результаты лечения больных с повреждениями ПКС побудило провести анализ результатов применения известной переднемедиальной техники реконструкции ПКС с использованием такого же вида трансплантата.

### **3.5. Анатомо-функциональные среднесрочные результаты центрально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции ПКС**

Из 52-х пациентов очная оценка среднесрочных результатов оперативного лечения была проведена у 41-го больного (79%). Остальные 11 пациентов (21%) по различным причинам прошли обследование в заочной форме, т.е. подверглись субъективной оценке.

Разрывы трансплантата по данным МРТ, клинического обследования и анамнеза у пациентов 2-й группы были выявлены в 5 случаях (9,6%). Рецидивы были выявлены у 4-х пациентов при очном обследовании и 1-го – по данным анамнеза. Данные больные не были включены в дальнейшую итоговую оценку. Таким образом, из оставшихся 47 пациентов, 37 прошли углубленное клинико-лучевое обследование и 10 – субъективную оценку.

#### **3.5.1. Оценка трансплантата ПКС**

С целью оценки состояния трансплантата ПКС всем пациентам при очном обследовании было выполнено МРТ коленного сустава. У 4-х больных были обнаружены признаки полного разрыва трансплантата ПКС. У остальных 37 пациентов визуализировали однородный, структурно оформленный трансплантат, что позволило нам провести дальнейшую оценку его функции.

#### **3.5.2. Положение костных туннелей**

По данным КТ, при оценке локализации центра большеберцового туннеля с использованием метода анатомических координатных осей, у пациентов 2-й группы он располагался в точке, соответствующей  $39,6 \pm 4,1\%$  по оси d и  $45,6 \pm 2,1\%$  по оси w, что совпадает с проекцией центральной или передней трети анатомического прикрепления ПКС.

При оценке положения бедренного туннеля с использованием квадрантного метода было выявлено, что он располагался в точке, соответствующей  $38,7 \pm 6,2\%$  по оси t и  $33,3 \pm 6,7\%$  по оси h. Таким образом, положение бедренного туннеля у большинства пациентов 2-й группы соответствовало центральной части анатомического прикрепления ПКС.

Кроме того были выявлены значительные различия в его локализации, что могло быть связано с особенностями использованной у данной группы больных технологии интраоперационной разметки бедренного туннеля. Послеоперационные рентгенограммы и типичное положение костных туннелей у пациентов 2-й группы представлены на Рисунках 26 и 27.

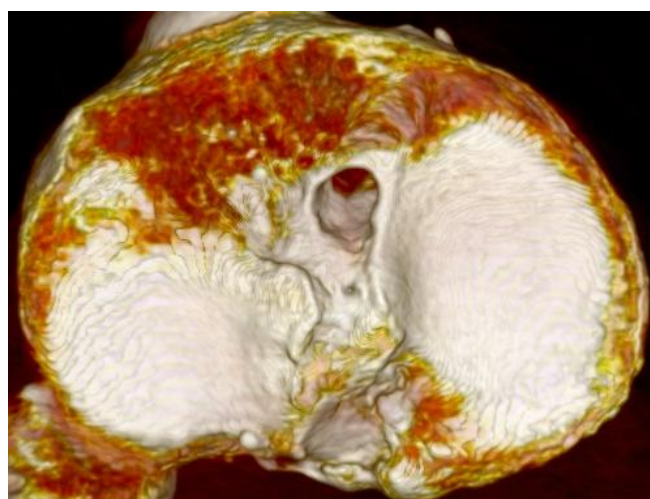


А

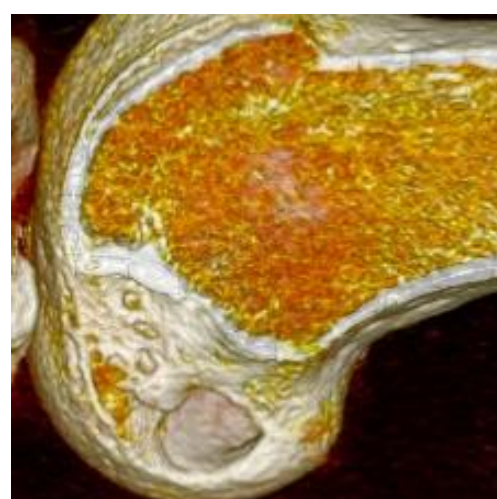


Б

Рисунок 26 – Послеоперационные рентгенограммы коленного сустава у пациентов 2-й группы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях



А



Б

Рисунок 27 – Типичное положение большеберцового (А) и бедренного (Б) костных туннелей у пациентов 2-й группы при переднемедиальной технике

### 3.5.3. Субъективные результаты оперативного лечения

Субъективная оценка проводилась у всех 47 пациентов из 2-й группы. По данным шкалы IKDC-2000 результат составил  $86,6 \pm 8,0$  баллов. По шкале Lysholm отличные субъективные результаты были получены у 24 пациентов (51%), хорошие – у 21 (45%) и удовлетворительные – у 2 больных (4%), при этом средний балл составил  $90,6 \pm 6,4$ . При оценке по данным шкалы-опросника KOOS результаты по разделу боль составили  $93,5 \pm 8,5$  балла; симптомы –  $89,1 \pm 9,5$ ; сложность выполнения ежедневных бытовых действий –  $97,7 \pm 3,5$ ; спорт, активность на отдыхе –  $81,4 \pm 13,0$ ; качество жизни –  $73,2 \pm 14,6$ .

### 3.5.4. Объективные результаты оперативного лечения

Объективная оценка была проведена при очном обследовании у 37 пациентов из первой группы в сравнении с неповрежденным коленным суставом.

Гипотрофия мышц бедра на оперированной конечности по сравнению со здоровой стороной составила  $1,2 \pm 1,0$  см (от 0 до 3 см). Дефицит сгибания в коленном суставе составил  $1,4 \pm 3,5^\circ$  (от  $0^\circ$  до  $15^\circ$ ), разгибания –  $0,5 \pm 2,0^\circ$  (от 0 до  $10^\circ$ ). Смещение голени относительно бедра по данным мануальных тестов «переднего выдвижного ящика» и Лахмана было в пределах от 0 до 2 мм (–) у 18 пациентов (49%), от 3 до 5 мм (+) – у 12 больных (32%), от 6 до 10 мм (++) – в остальных 7 случаях (19%). «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 18 пациентов (49%), скользящим (+) – у 10 больных (27%), явным (++) – в остальных 9 случаях (24%). По данным артрометрии было выявлено увеличение переднего смещения голени относительно бедра на  $3,1 \pm 2,7$  мм больше по сравнению со здоровой стороной.

По данным функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 к категории «А – норма» были отнесены 17 больных (46%), к «В – близко к норме» – 11 (30%) и к «С – отклоняющиеся от нормы» – 9 (24%).

### **3.5.5. Сравнительный анализ результатов чрезбольшеберцовой и центрально-анатомичной переднемедиальной техник реконструкции ПКС**

Полученные результаты клинико-лучевого обследования пациентов позволили провести сравнительный анализ двух сравниваемых техник реконструкции ПКС.

Частота разрывов трансплантата составила 10,2% и 9,6% в 1-й и 2-й группах, соответственно. По данному показателю не было выявлено статистически значимых различий.

При оценке локализации большеберцового туннеля были получены статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ ) в его положении по оси d (в передне-заднем направлении). Так, при чрезбольшеберцовой технике он соответствовал средней или задней части прикрепления, тогда как при переднемедиальной технике был ближе к передней части. Положение бедренного туннеля также имело значимые различия ( $p < 0,05$ ) между группами по оси h (в верхне-нижнем направлении). Так, при чрезбольшеберцовой технике он был расположен значительно выше и располагался несколько кпереди от проксимальной части прикрепления, тогда как при переднемедиальной технике он был в пределах центральной или заднелатеральной частей анатомического прикрепления ПКС. Положения центров костных туннелей в обеих группах представлены на Рисунке 28.

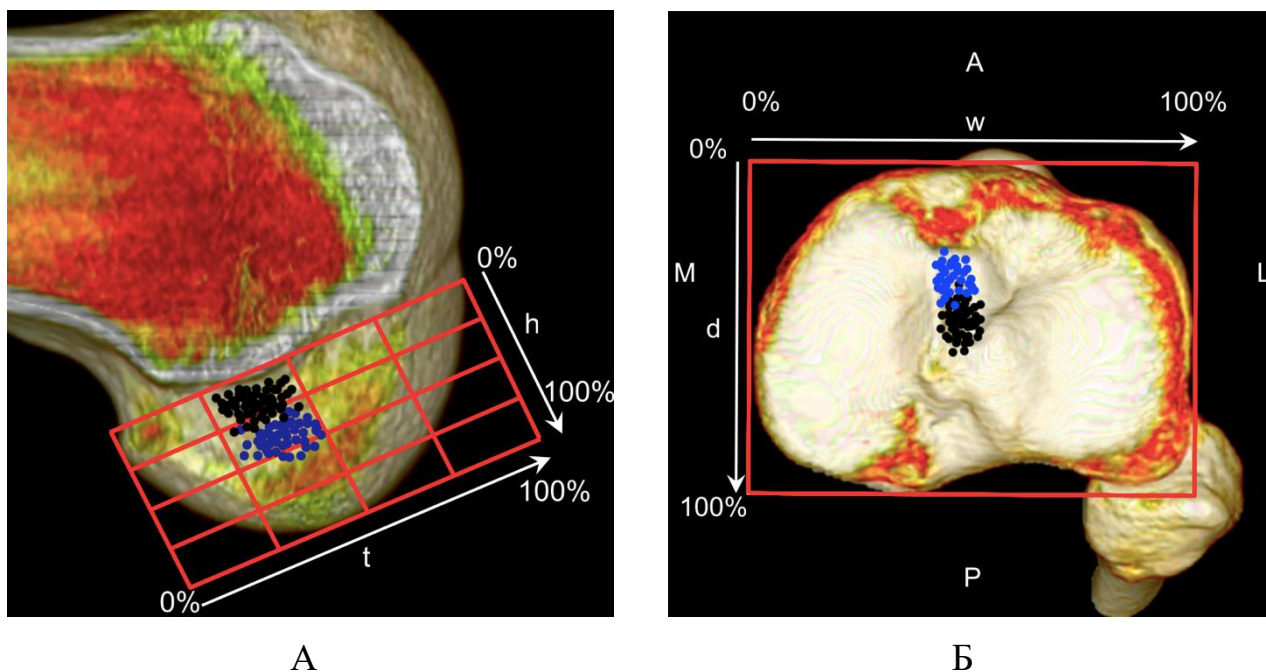


Рисунок 28 – КТ-анализ положения центров бедренных (А) и большеберцовых (Б) костных туннелей. Черными точками обозначена 1-я группа, синими – 2-я группа пациентов

При субъективной оценке между группами были выявлены различия статистически значимого уровня по разделам «спорт, активность на отдыхе» и «качество жизни» шкалы KOOS. По остальным используемым нами шкалам-опросникам среднесрочные субъективные результаты оперативного лечения между группами значимо не различались (Таблица 5).

При объективном обследовании не было получено статистически значимых различий при оценке амплитуды движений, атрофии мышц бедра, мануальных и инструментальных тестов оценки смещения голени, а также функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000. Результаты мануального тестирования в обеих группах представлены в Таблице 6.

Таблица 5 – Среднесрочные результаты субъективной оценки чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник реконструкции ПКС

Шкала	Раздел	Группа 1 (n=79)	Группа 2 (n=47)	P
IKDC	–	87,7±9,7 (60,9-100)	84,7±8,0 (69,0-100)	0,060
Lysholm	–	90,9±8,0 (65-100)	90,6±6,4 (71-100)	0,810
KOOS	Боль	94,5±6,3 (69-100)	93,5±8,5 (61-100)	0,441
	Симптомы	90,1±8,4 (64-100)	89,1±9,5 (68-100)	0,536
	Бытовые действия	98,0±3,4 (81-100)	97,7±3,5 (88-100)	0,629
	Спорт	86,6±13,1 (50-100)	81,4±13,0 (25-85)	< 0,05
	Качество жизни	78,8±16,1 (44-100)	73,2±14,6 (44-100)	< 0,05

Таблица 6 – Показатели мануальных тестов у пациентов 1-й и 2-й групп

Показатель	1-я группа (n=54)	2-я группа (n=37)	P-значение
<i>Тесты «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана</i>			
– (от 0 до 2 мм)	25 (46%)	18 (49%)	0,698
+ (от 3 до 5 мм)	21 (39%)	12 (32%)	
++ (от 6 до 10 мм)	8 (15%)	7 (19%)	
<i>Тест pivot-shift</i>			
– (отрицательный)	22 (41%)	18 (49%)	0,441
+ (скользящий)	20 (37%)	10 (27%)	
++ (явный)	12 (22%)	9 (24%)	
Артрометрия, мм от здоровой стороны	3,4±2,6	3,1±2,7	0,641

Итоговые среднесрочные клинические результаты чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техник реконструкции ПКС по данным функциональной шкалы оценки коленного сустава IKDC-2000 представлены на Рисунке 29.



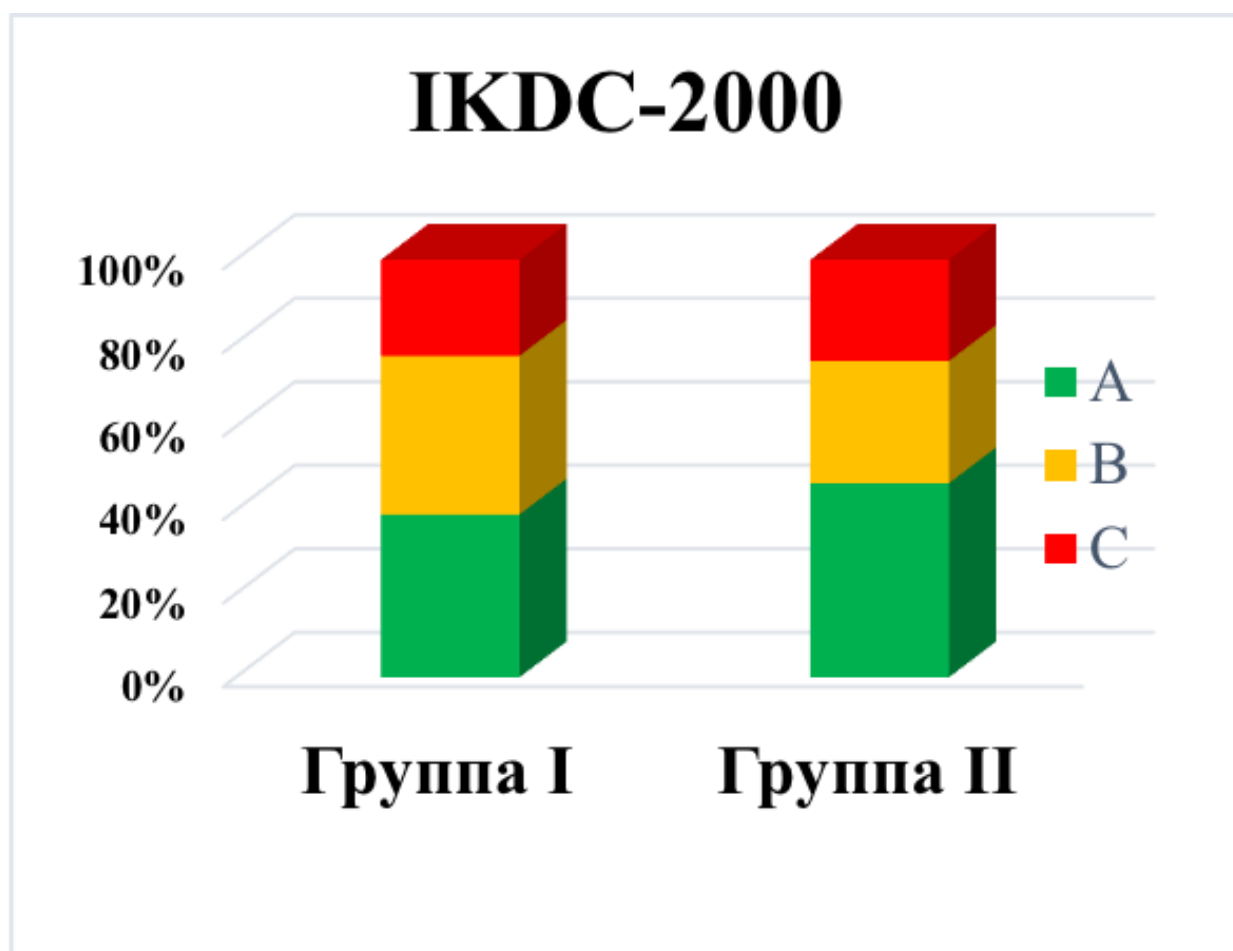


Рисунок 29 – Результаты по функциональной шкале оценки коленного сустава IKDC-2000

### 3.6. Резюме

В результате проведенного ретроспективного анализа были выявлены характерные особенности топографии туннелей, выполненных с использованием чрезбольшеберцовой техники: большеберцовый туннель находился преимущественно в проекции заднелатеральной части прикрепления ПКС, бедренный костный туннель локализовался либо вне зоны анатомического прикрепления ПКС, либо частично в ее пределах.

Определение влияния положения костных туннелей на клинические исходы чрезбольшеберцовой реконструкции показало, что позиция бедренного туннеля играет основную роль в обеспечении стабильности коленного сустава. В случаях, когда хотя бы часть его располагалась в зоне «анатомии», мы наблюдали более высокие функциональные результаты по сравнению с не анатомичным

расположением (64% пациентов были отнесены к итоговой категории А (норма) по шкале IKDC против 19%).

Трехмерное моделирование возможных вариантов чрезбольшеберцовой техники показало, что данная методика не может обеспечить анатомичной позиции туннелей у всех пациентов в связи с ограничениями, вызванными позицией и ориентацией большеберцового туннеля, а также с индивидуальными особенностями строения мышечков бедренной и большеберцовой костей.

Анализ трехмерных реконструкций данных КТ и МРТ после центрально-анатомичной переднемедиальной техники показал, что она позволяет точнее выбирать места для размещения костных туннелей независимо от позиции большеберцового туннеля. Однако использование на практике известной методики разметки центра бедренного туннеля в центре прикрепления ПКС (либо по линейке, либо с использованием при артроскопии известных референтных костных ориентиров), приводит формированию неоптимальной позиции туннеля. Чаще всего бедренный туннель находился либо в центре, либо в области между центральной и заднелатеральной частью ПКС, причем наблюдался широкий разброс показаний между пациентами данной группы.

Сравнительный анализ среднесрочных клинических исходов чрезбольшеберцовой и переднемедиальной техники с центральным расположением туннелей не выявил значительных различий. В исследованной выборке примерно у половины пациентов из обеих групп сохранялись остаточные явления неустойчивости коленного сустава.

Полученные результаты позволили нам получить новые сведения о преимуществах и недостатках каждой из техник, а также предположить наличие более рациональных точек для формирования костных туннелей. Примечательно, что после чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС достоверно более благоприятные результаты тестов на несостоятельность трансплантата были получены у больных с позицией бедренного туннеля в наиболее проксимальной частично анатомичной зоне прикрепления.

Поэтому следующей задачей настоящего исследования явилась разработка (и апробация) такого варианта переднемедиальной техники реконструкции ПКС, при котором бедренный туннель будет в проксимально-анатомичной, вероятно, более благоприятной позиции.

## **ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАТОМО- ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСХОДОВ ЧРЕЗБОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И ДВУХ ВАРИАНТОВ ПЕРЕДНЕМЕДИАЛЬНОЙ ТЕХНИК РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ**

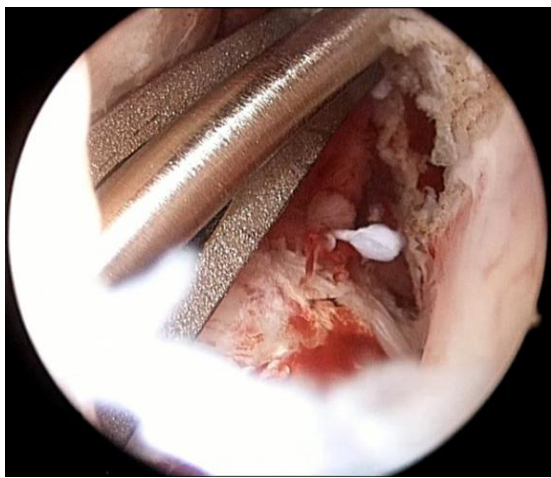
### **4.1. Обоснование необходимости в разработке модифицированного способа формирования бедренного туннеля при переднемедиальной технике**

Результаты ретроспективной части исследования и известные литературные данные позволили нам предположить, что для улучшения клинических исходов реконструкции ПКС целесообразно располагать трансплантат в изометричной части анатомического прикрепления, т.е. ближе к зоне ее переднемедиального функционального пучка.

Переднемедиальная техника реконструкции с использованием трех артроскопических порталов создает хорошие условия для визуализации мест прикрепления ПКС и разметки центра туннелей. Для формирования большеберцового туннеля хирурги с успехом продолжают пользоваться стандартными направляющими устройствами, выбирая точку входа более свободно, чем при чрезбольшеберцовой технике. Основными условиями для выбора места и наклона туннеля называют достаточную длину и предупреждение «импиджмента» в суставе.

Главной проблемой остается разметка центра бедренного туннеля. Независимость от ориентации туннеля на большеберцовой кости, более выгодный угол зрения из переднемедиального портала увеличивают возможности хирургов, однако не исключают ошибок. Ряд хирургов предлагают устанавливать спицу «свободной рукой», ориентируясь по культе ПКС и референтным костным структурам (ЛМГ, ЛБГ) на внутренней стенке ЛМБК. К сожалению, анатомические ориентиры не у всех больных видны отчетливо, культя ПКС часто отсутствует, а из-за возможных оптических искажений при артроскопии нельзя исключить ошибочной интерпретации гребней и выбранных расстояний на ЛМБК. Другие хирурги через дополнительный переднемедиальный портал вводят

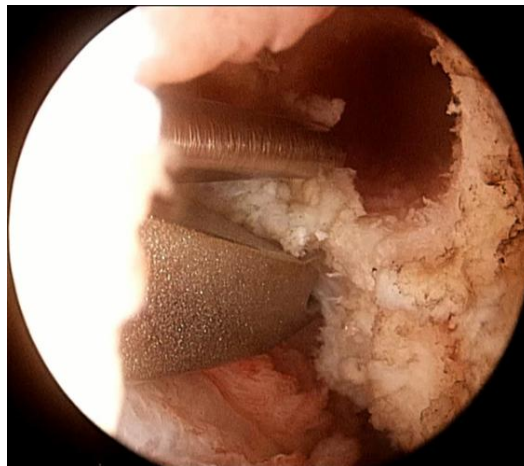
в сустав традиционный штыкообразный направитель (или его модифицированную переднемедиальную версию) и по нему засверливают ориентирующую спицу. В таких случаях результат также будет зависеть от положения направителя, как и при чрезбольшеберцовой технике (Рисунки 30 и 31). Различные незаметные для хирурга варианты установки штыкообразного направителя могут приводить к формированию бедренных туннелей, которые будут существенно отличаться между собой. Неоднородность позиции бедренного туннеля в таких случаях может сказаться на клинических исходах.



А



Б



В

Рисунок 30 – Чрезбольшеберцовая техника сверления бедренного туннеля (А); типичная позиция бедренного туннеля (Б); штыкообразный направитель затем был введен через дополнительный переднемедиальный доступ, спица попала в выполненный ранее чрезбольшеберцовый туннель (В)



А



Б



В



Г

Рисунок 31 – Вид бедренного туннеля в проксимально-анатомичной зоне, выполненный с помощью линейки (А); штыкообразный направитель введен через дополнительный переднемедиальный портал, спица проходит в центр «правильного» туннеля (Б); варианты установки штыкообразного направителя, спица проходит вне зоны туннеля (В, Г)

Таким образом, разметка центра бедренного туннеля с помощью линейки представляется более рациональной техникой. Однако и она не лишена недостатков. Линейка имеет ограниченный срок службы, т.к. лазерная миллиметровая разметка на ее поверхности быстро стирается и становится малозаметной. Кроме того, линейку надо постоянно изгибать для установки в различных (правых и левых) коленных суставах. Наконец, линейка гладкая, и

поэтому ее нельзя фиксировать на месте, кроме как рукой хирурга. В узком межмышцелковой пространстве любая манипуляция артроскопом, помеха мягких тканей, касание шилом может привести к смещению линейки и потере ориентации. Чтобы преодолеть данные недостатки, было разработано новое позиционирующее устройство, с помощью которого можно было бы определить рациональное место для размещения бедренного туннеля и избежать возможных осложнений во время его формирования.

#### **4.1.1. Рациональный вариант переднемедиальной реконструкции ПКС и прицельное устройство для разметки проксимально-анатомического бедренного туннеля**

Согласно известным данным передней границей бедренного прикрепления ПКС является латеральный межмышцелковый гребень, который у большинства больных располагается на расстоянии от 7 до 10 мм от заднего края хряща латерального мыщелка бедренной кости. Причем, наиболее важные в функциональном плане волокна ПКС прикрепляются по краю ЛМГ. Задняя граница прикрепления волокон располагается на расстоянии 3–4 мм от заднего края хряща ЛМБК. Наиболее изометричной частью анатомического прикрепления ПКС на бедре полагают проксимальную треть. Поэтому позиция центра бедренного туннеля, по-видимому, должна быть в такой области ЛМБК, чтобы в результате рассверливания весь туннель находился в пределах анатомического и одновременно изометричного места прикрепления ПКС. Таким образом, хирург будет добиваться выгодного компромисса между анатомическим и изометричным расположением бедренного конца трансплантата ПКС. В случаях применения техники независимого сверления обоих туннелей (например, переднемедиальной) можно без труда сформировать и большеберцовый туннель в оптимальной зоне, т.е. в переднемедиальной или центральной третях прикрепления ПКС в зависимости от возможного «импиджмента».

Чтобы поместить трансплантат в проксимально-изометричной зоне бедренного прикрепления ПКС надо сформировать туннель так, чтобы задняя

стенка туннеля была на 3–4 мм кпереди от верхнего конца и нижнего края задней части хряща ЛМБК. Тогда передняя стенка туннеля, к которой в итоге будет прижиматься трансплантат ПКС, окажется в зоне проксимальной трети ЛМГ. В качестве постоянной референтной линии мы выбрали линию, идущую вдоль заднего края хряща ЛМБК до наиболее верхней его точки. Этот задневерхний контур ЛМБК и переход хряща в кость отчетливо визуализируется во время операции. Артроскопическое наблюдение лучше всего вести через верхний переднемедиальный портал, придав коленному суставу положение сгибания под углом 90°. Тогда переднелатеральный доступ можно использовать для введения линейки (или предложенного нами позиционирующего устройства), а нижний переднемедиальный доступ – для изогнутого шила и в дальнейшем для сверления.

Для повышения эффективности решения поставленных задач нами было разработано прицельное устройство для определения места формирования бедренного костного туннеля, которое было применено при лечении пациентов 4-й группы (Рисунок 32). Устройство представляет собой S-образно изогнутую пластину шириной 6 мм. Особенностью изобретения является то, что оно имеет изгибы, повторяющие рельеф внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости, а также симметричные относительно центра рабочие концы устройства, что позволяет его применять как для левого, так и для правого коленного суставов. На обоих рабочих концах имеются зубцы (один загнут во фронтальной плоскости вниз, другой направлен в противоположную сужению сторону) для точной ориентации относительно заднего суставного края латерального мыщелка бедренной кости. Плавное сужение рабочей части позволяет улучшить визуализацию заднего контура хряща, что важно при позиционировании устройства. На концах рабочих частей имеются пазы для плотной посадки кончика шила на расстоянии 7 и 9 мм от заостренного зубца для разных диаметров трансплантата (от 7 до 9 мм и более). Пазы были сделаны (вместо меток на гладкой линейке) чтобы улучшить визуализацию, а также повысить стойкость инструмента к износу. Углубления промаркированы фрезой, но если метки со временем станут малозаметными, то не трудно запомнить, что



первый от центра паз соответствует 9 мм, второй – 7 мм, между ними – 8 мм от заднего края хряща ЛМБК. Заостренный конец зубца позволяет зафиксировать устройство во время работы, что не позволяет ему мигрировать в каком-либо направлении. Схематичное изображение устройства представлено на Рисунке 33.

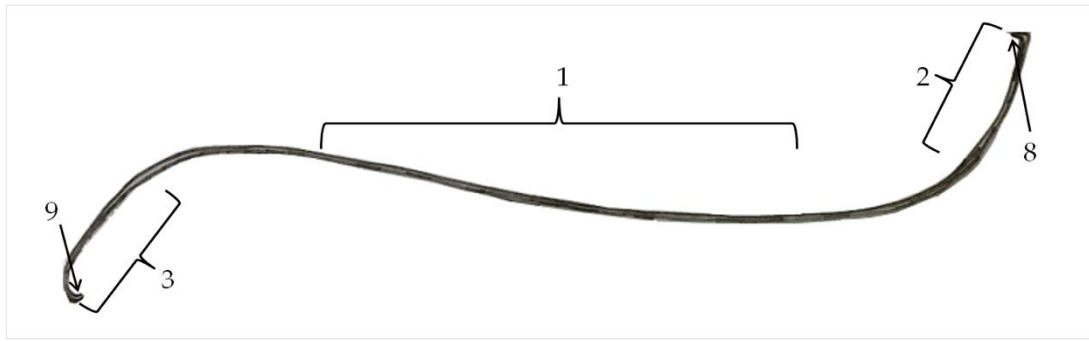


А

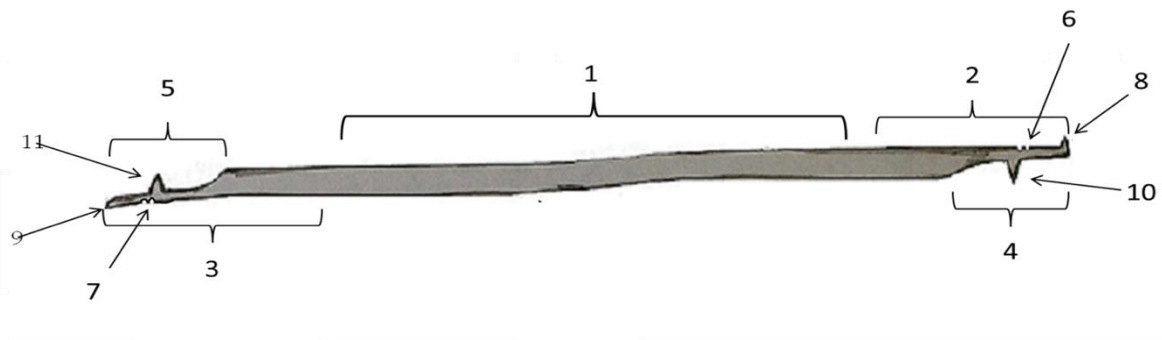


Б

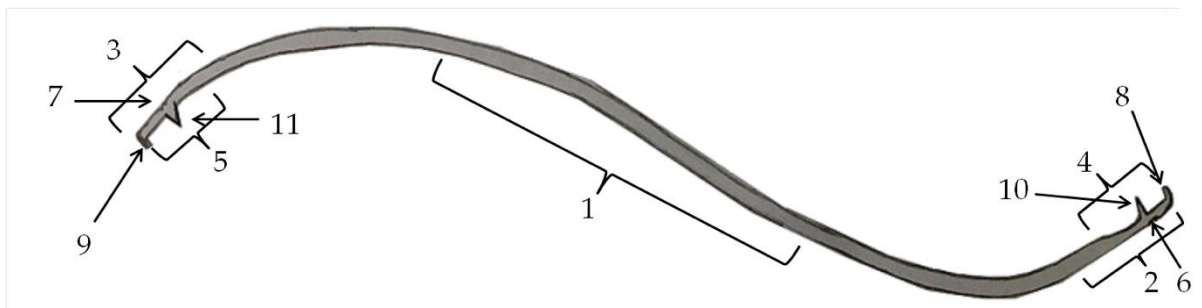
Рисунок 32 – Прицельное устройство для определения места формирования бедренного костного туннеля при артроскопической реконструкции передней крестообразной связки: вид сверху (А), вид сбоку (Б)



А



Б



В

Рисунок 33 – Схематичное изображение прицельного устройства, где 1 – тело; 2 – рабочий конец для правого коленного сустава; 3 – рабочий конец для левого коленного сустава; 4, 5 – плавное сужение обоих рабочих концов; 6, 7 – два паза на обеих рабочих частях; 8, 9 – зубец на обеих рабочих частях, загнутый перпендикулярно вниз во фронтальной плоскости; 10, 11 – зубец на обеих рабочих частях, направленный в противоположную сужению сторону. А – вид сбоку; Б – вид сверху; В – полуаксиальная проекция

#### **4.1.2. Модифицированный вариант переднемедиальной техники реконструкции ПКС с использованием оригинального прицельного устройства**

Важным условием при использовании данного устройства является хорошая визуализация заднего контура хряща ЛМБК. Для этого выполняют тщательное иссечение мягких тканей и остатков ПКС в данной области (Рисунок 34).

После подготовки трансплантата и измерения его диаметра мы устанавливали дополнительный переднемедиальный доступ примерно на 2–3 см ниже стандартного портала, ориентиром служила предварительно введенная над передним рогом медиального мениска инъекционная игла (Рисунок 35). Расположение дополнительного переднемедиального портала ближе к краю связки надколенника позволяло сформировать более длинный бедренный туннель и снижало риск ятрогенного повреждения хряща медиального мыщелка бедренной кости во время сверления.



А



Б

Рисунок 34 – Экономное иссечение мягких тканей межмышцелковой области и стенки ЛМБК (А); вид заднего контура ЛМБК после обработки (Б)



А



Б

Рисунок 35 – Размещение дополнительного переднемедиального портала на 2 см ниже стандартного доступа: иглой размечают место входа над передним рогом медиального мениска, ось иглы примерно повторяет ход ПКС (А); расширение портала остроконечным скальпелем (Б)

После размещения дополнительного портала мы переводили артроскоп из переднелатерального в верхний переднемедиальный доступ и осматривали внутреннюю поверхность ЛМБК. Затем оперируемую конечность сгибали в коленном суставе до угла  $90^\circ$  и через переднелатеральный доступ устанавливали один из рабочих концов (соответственно стороне повреждения) прицельного устройства для определения центра будущего бедренного туннеля. Устройство располагали таким образом, чтобы зубец, загнутый перпендикулярно, соответствовал верхнему концу заднего края хряща ЛМБК, а зубец, направленный вниз совпадал с нижним краем хряща. Далее путем надавливания на тело устройства внедряли перпендикулярный зубец в хрящ для фиксации и исключения миграции во время дальнейшей работы. Затем введенное через дополнительный переднемедиальный доступ изогнутое шило устанавливали в один из пазов, который соответствовал диаметру трансплантата и путем надавливания на него формировали углубление в мышечке бедренной кости (Рисунки 36 и 37).

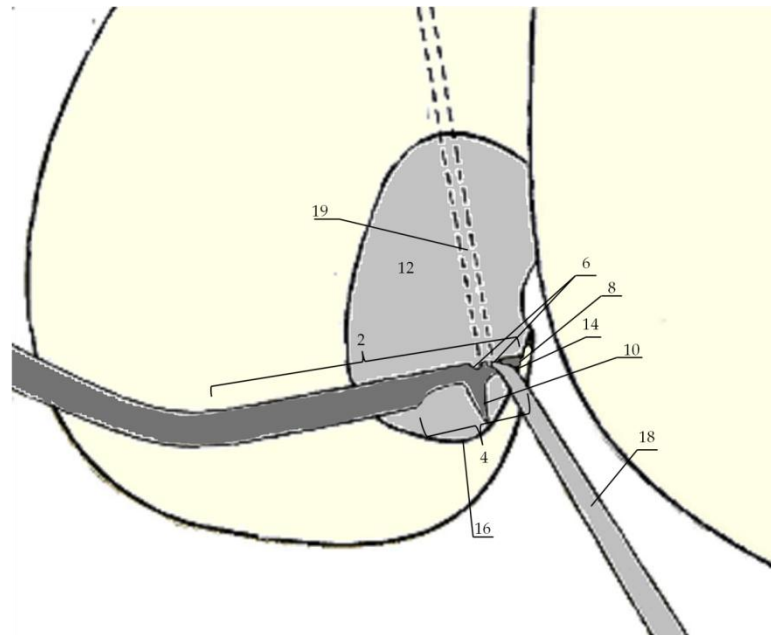
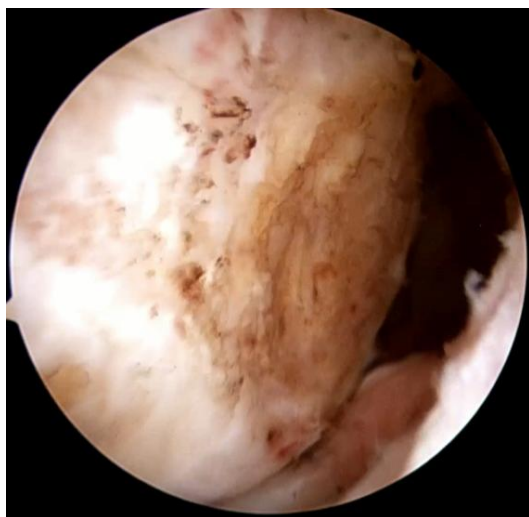


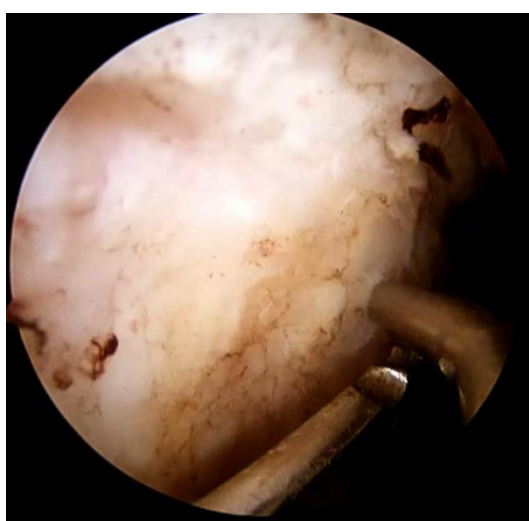
Рисунок 36 – Схема разметки центра бедренного туннеля в латеральном мыщелке правой бедренной кости с использованием направляющего устройства: 2 – рабочий конец для правого коленного сустава; 4 – плавное сужение рабочего конца в горизонтальной плоскости от основания к вершине; 6 – два паза на рабочей части; 8 – зубец на рабочей части, загнутый перпендикулярно во фронтальной плоскости; 10 – зубец на рабочей части, направленный в противоположную сужению сторону; 12 – внутренняя поверхность латерального мыщелка; 14 – задний край суставной поверхности латерального мыщелка; 16 – нижний край суставной поверхности латерального мыщелка; 18 – шило; 19 – направление сформированного костного туннеля в латеральном мыщелке



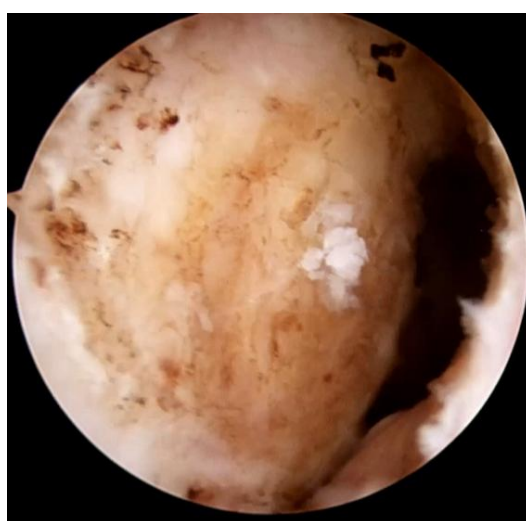
А



Б



В



Г

Рисунок 37 – Артроскопический вид процесса формирования центра бедренного туннеля: обработанная внутренняя стенка ЛМБК, вид через переднелатеральный портал, коленный сустав - под углом  $90^\circ$  (А); рабочий конец прицельного устройства установлен: заостренный конец внедрен в верхнюю точку перехода хряща в кость, нижний конец – на уровне заднего края хряща (Б); шилом сделано углубление в кости через паз 7 мм в устройстве (В); вид центра туннеля через верхний переднемедиальный доступ

После разметки центра туннеля из сустава удаляли направляющее устройство и шило, а в углубление в кости устанавливали ориентирующую спицу через дополнительный переднемедиальный доступ при помощи направителя без выноса. Затем производили сгибание в коленном суставе до угла  $130-140^\circ$  и

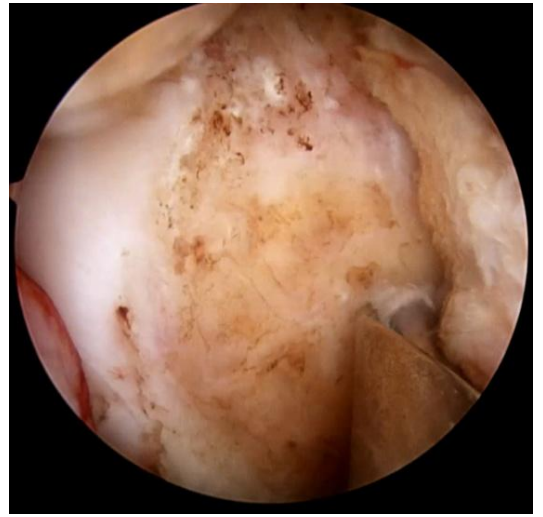


проводили спицу насквозь. Не меняя положения в коленном суставе, по спице формировали сквозной туннель в ЛМБК сверлом диаметром 4,5 мм и измеряли его длину специальным измерителем. Обычно длина бедренного туннеля составляла 36–42 мм. Повторно через туннель проводили спицу с ушком насквозь из дополнительного переднемедиального портала на наружную поверхность бедра. По спице рассверливали слепой туннель диаметром, соответствующим диаметру трансплантата (Рисунок 38).

При данной методике мы во всех случаях использовали для крепления бедренного конца трансплантата систему подвешивающей фиксации с непрерывной петлей длиной 15 мм. Поэтому длину толстой части туннеля определяли, вычитая из длины сквозной (тонкой) части туннеля 7 мм. Например: сквозной тонкий туннель длиной 40 мм, длина петли «Endobutton» 15 мм;  $40 \text{ мм} - 15 \text{ мм} = 25 \text{ мм} + 8 \text{ мм}$  (на разворот) = 33 мм (длина толстого туннеля). Или  $40 - 7 = 33 \text{ мм}$ . Завершая формирование бедренного туннеля, очищали туннель от стружки и с помощью спицы с ушком в туннель вводили петлю из капроновой лески или шовной нити, концы которой выводили на кожу (Рисунок 39). В результате удавалось выполнять бедренный туннель так, чтобы толщина костной стенки между задним краем туннеля и контуром хряща заднего закругления ЛМБК составляла от 3 до 4 мм в зависимости от диаметра трансплантата (Рисунок 40).



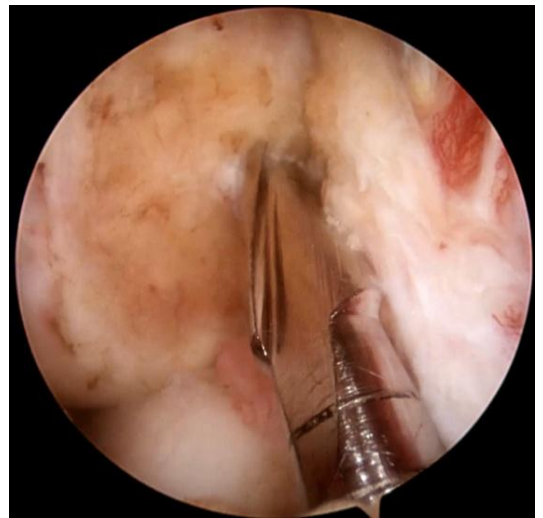
А



Б



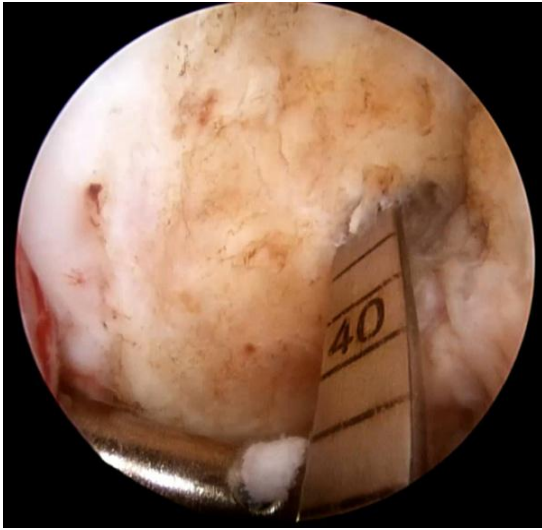
В



Г

Рисунок 38 – Направитель «без выноса» внедрен в центр туннеля и ориентирован по оси бедра проксимально (А); ориентирующая спица введена через направитель (Б); направитель удален, вид ориентирующей спицы в бедре (В); выполняется сквозной туннель сверлом диаметром 4,5 мм (Г)





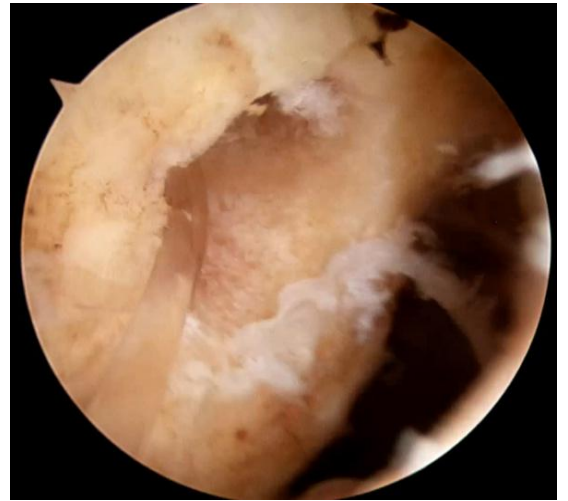
А



Б



В

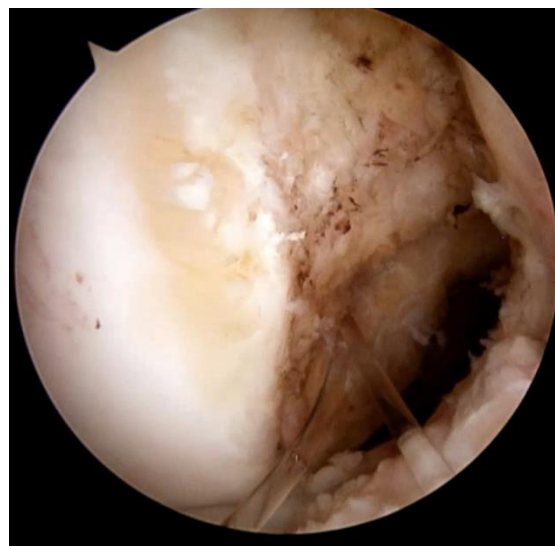


Г

Рисунок 39 – Измерение длины сквозного туннеля – 36 мм (А); повторное введение спицы с ушком в туннель (Б); рассверливание части туннеля сверлом 7 мм на глубину  $36 - 7 = 29$  мм (В); вид бедренного туннеля, в туннеле видна петля из лески (Г)



А



Б

Рисунок 40 – Вид бедренного туннеля из верхнего переднемедиального доступа, передний край туннеля непосредственно кзади от ЛМГ, артроскопический крючок помещен на уровне заднего края хряща (А); вид ЛМБК и бедренного туннеля при сгибании в суставе под углом 90° (Б)

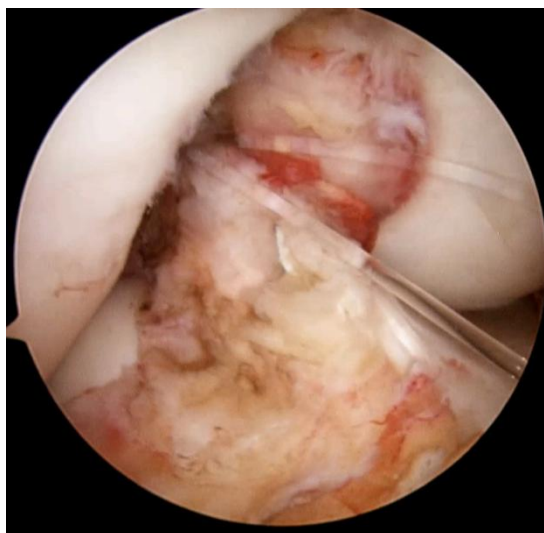
Следующим этапом операции реконструкции ПКС было формирование большеберцового туннеля. Ориентирами для разметки центра туннеля были известные структуры, такие как остатки культи ПКС, передний рог латерального мениска, медиальный гребень плато большеберцовой кости (край хряща – медиальная часть волокон ПКС). Известный направитель Acufex director drill guide фирмы Smith&Nephew устанавливали в суставе так, чтобы центр туннеля был в переднемедиальной или не далее центральной трети прикрепления ПКС. После проведения ориентирующей спицы разгибали коленный сустав и контролировали, чтобы конец спицы выходил непосредственно за верхушкой переднего края межмыщелковой ямки. Тогда передний край трансплантата не будет ущемляться между костными стенками во всей амплитуде движений (контроль возможного «импиджмента»). Этапы выполнения большеберцового туннеля представлены на Рисунке 41.



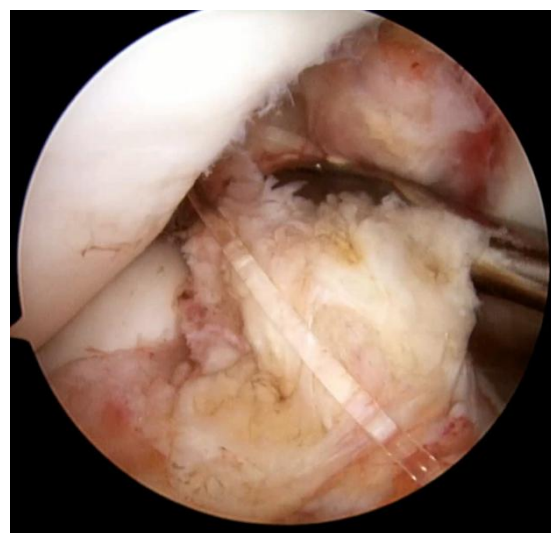
А



Б



В

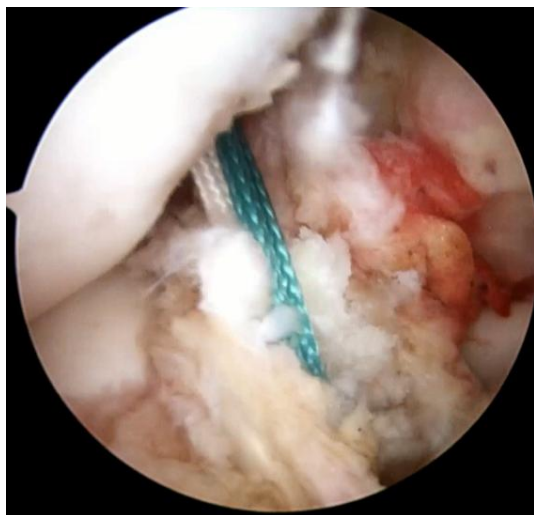


Г

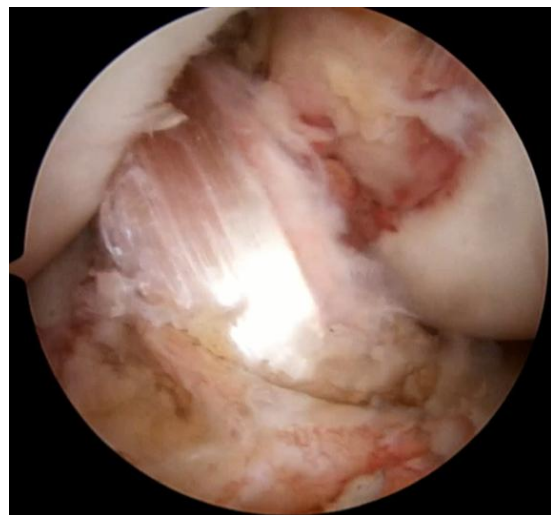
Рисунок 41 – Вид большеберцового прикрепления ПКС в положении разгибания в коленном суставе: затемнение в остатках культы ПКС под верхушкой переднего края межмыщелковой ямки – желаемое место выхода спицы (А); направитель установлен, лазерная метка на верхушке изгиба является мишенью (Б); виден конец спицы, выходящий в центре затемнения, соответствующего центру прикрепления ПКС (В); момент засверливания – конец сверла приподнимает остатки волокон ПКС (Г)

После высверливания большеберцового туннеля диаметром, соответствующим диаметру заготовленного трансплантата, конец шовной петли выводят из сустава в большеберцовый туннель. Далее тщательно промывают

полость сустава, удаляя костную стружку с помощью дренажной канюли под визуальным контролем. Затем с помощью петли и направляющих нитей в полость сустава вводят трансплантат через большеберцовый туннель в бедренный. Натяжением зеленых нитей разворачивают «Endobutton» и заклинивают бедренный конец трансплантата ПКС (Рисунок 42).



А



Б

Рисунок 42 – Проведение трансплантата ПКС в коленный сустав (А, Б)

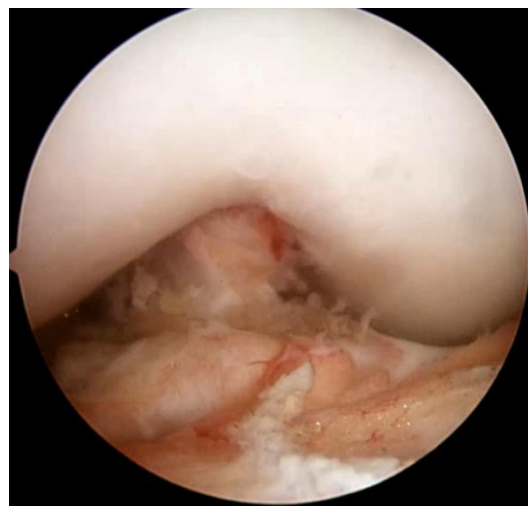
Затем натягивают и осаживают трансплантат тягой за нити, которыми прошит дистальный конец трансплантата. Выполняют 20–25 сгибаний и разгибаний в колене, удерживая трансплантат в максимальном мануальном натяжении и контролируя степень изометрии. Если колебания нити во всей амплитуде движений не превышало 2 мм, то большеберцовый конец фиксировали в положении сустава под углом 25–30°. Если удлинение нитей при разгибании было больше 2 мм, то трансплантат фиксировали в положении разгибания в суставе, но без переразгибания. Трансплантат ПКС фиксировали в большеберцовом туннеле с помощью интерферентного винта диаметром, превышающим диаметр туннеля на 1–2 мм. Предпочтение отдавали винтам из не рассасывающегося материала, чтобы не возникла непредсказуемая возможность резорбции стенок туннеля и нарушения прочности фиксации в отдаленном периоде. Завершали операцию реконструкции ПКС промыванием сустава и



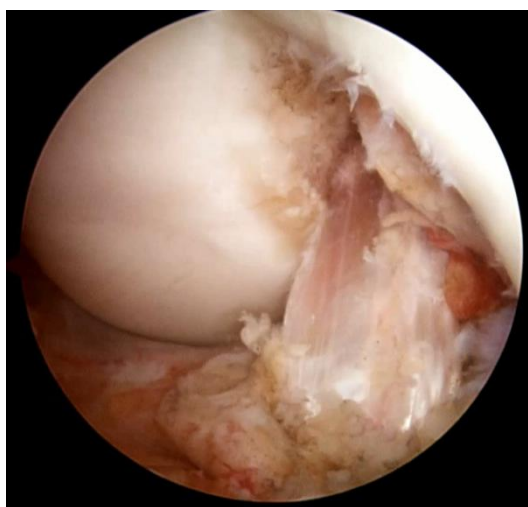
контролем трансплантата на «импиджмент» мягких тканей (Рисунок 43). На следующий день после операции выполняли рентгенологическое обследование оперированного коленного сустава (Рисунок 44).



А



Б



В



Г

Рисунок 43 – Окончательный вид трансплантата ПКС в сгибании и разгибании в коленном суставе: вид через переднелатеральный портал (А, Б), через переднемедиальный портал (В, Г)



А



Б

Рисунок 44 – Послеоперационные рентгенограммы правого коленного сустава: в прямой (А) и в боковой (Б) проекциях

#### **4.2. Сравнительный анализ ближайших анатомо-функциональных результатов лечения пациентов проспективных групп**

Проспективная часть исследования основана на анализе ближайших результатов (от 1-го до 2-х лет) оперативного лечения 62-х пациентов, поступивших в РНИИТО по поводу разрыва ПКС в период с 2015 по 2016 гг. Все пациенты были разделены на две группы в зависимости от способа формирования костных туннелей:

- 3-я группа (n = 21) – с использованием чрезбольшеберцовой техники;
- 4-я группа (n = 41) – с использованием модифицированной переднемедиальной техники.

Из исследования был исключены 1 пациент из 3-й группы в связи с развитием раннего послеоперационного гонита и 1 больной из 4-й группы в связи с посттравматическим разрывом трансплантата (падение с лестницы) через 4 месяца после операции.

Все оставшиеся больные ( $n = 60$ ) прошли очное клинико-лучевое обследование до операции, на первые сутки, через 3, 6 и 12 месяцев после операции, а также в сроки от 1,5 до 2-х лет.

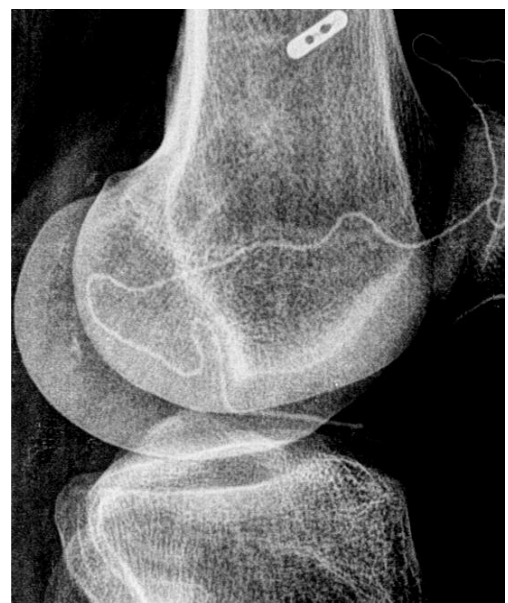
#### 4.2.1. Положение костных туннелей у пациентов проспективных групп

Проведенный анализ показал, что у пациентов 3-й (чрезбольшеберцовой) группы центр большеберцового туннеля располагался в точке, соответствующей  $44,9 \pm 5,6\%$  по оси  $d$  и  $44,4 \pm 3,2\%$  по оси  $w$  (по методу анатомических координатных осей). Такая позиция большеберцового туннеля в основном совпадала с проекцией центральной или задней трети зоны анатомического прикрепления ПКС.

При оценке положения центра бедренного туннеля с использованием метода Бернарда и Хертеля в 3-й группе было выявлено, что он находился в точке, соответствующей  $41,5 \pm 7,2\%$  по оси  $t$  и  $12,4 \pm 4,5\%$  по оси  $h$ . Сопоставляя полученные сведения с известными данными о месте прикрепления ПКС, можно заключить, что бедренный туннель находился кпереди от проксимальной трети прикрепления ПКС, т.е. вне места, где должна быть связка (Рисунок 45).



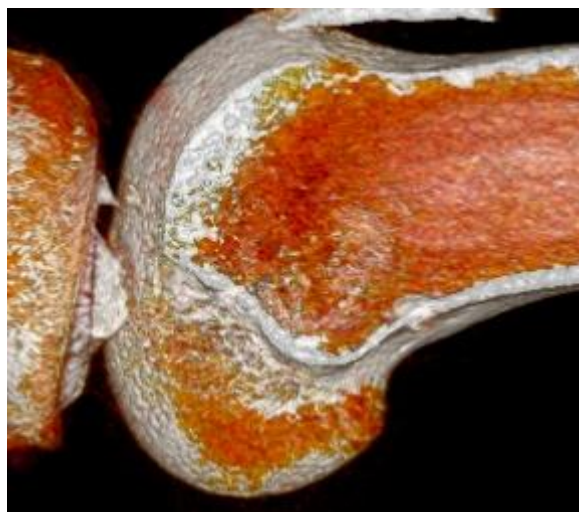
А



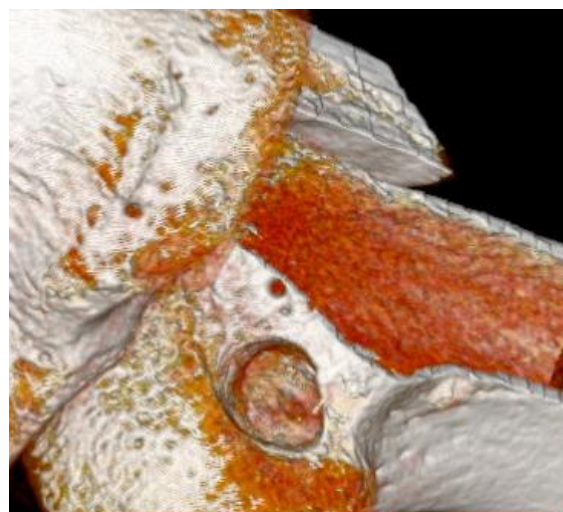
Б

Рисунок 45 – Послеоперационные рентгенограммы пациента 3-й группы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях

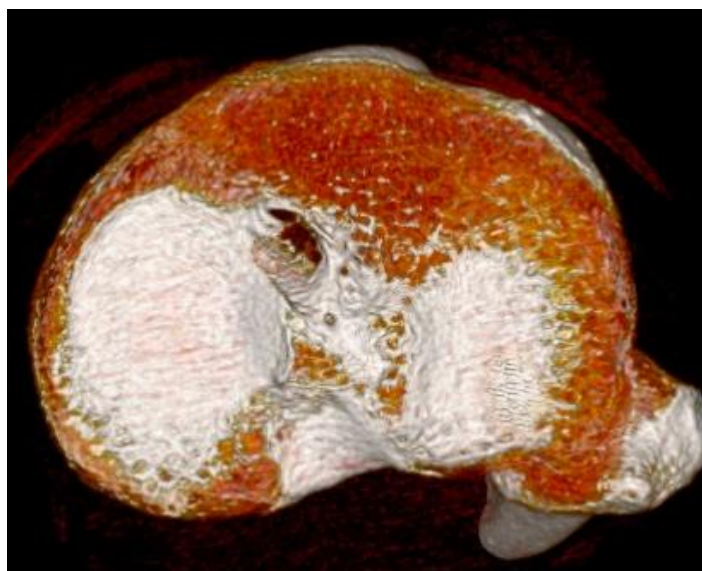
Анализ данных трехмерной реконструкции послеоперационных компьютерных томограмм показал следующее. У больных 3-й группы с позицией большеберцового туннеля в переднемедиальной трети ПКС степень ошибок на бедре была особенно выраженной: туннель находился полностью вне места прикрепления ПКС, практически всегда в области крыши межмыщелковой вырезки бедренной кости (Рисунок 46).



А



Б

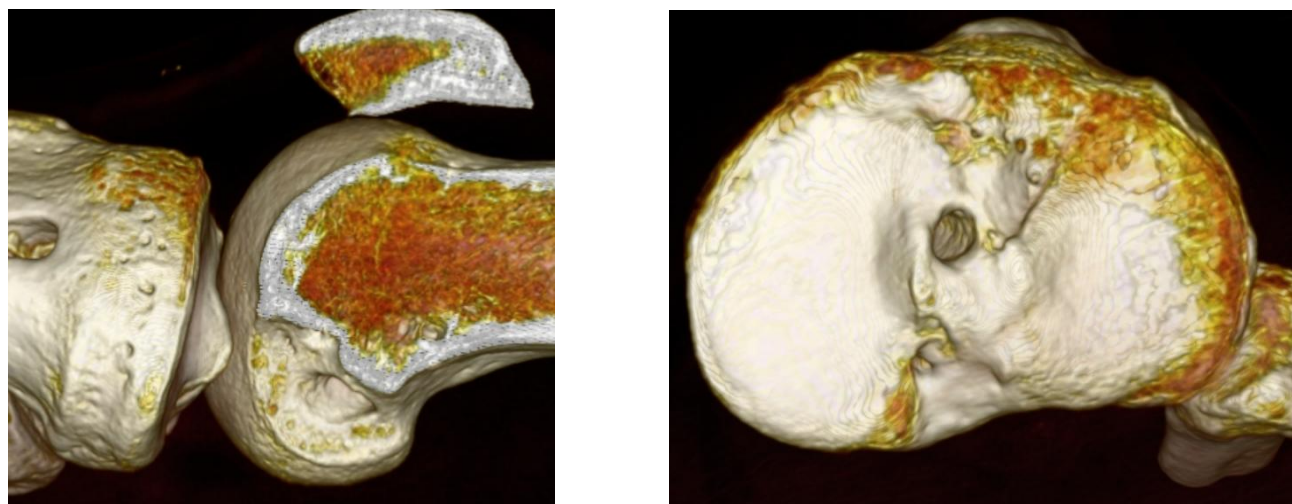


В

Рисунок 46 – Трехмерное компьютерное изображение после чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС: вертикальная позиция бедренного туннеля, в крыше межмыщелковой вырезки бедренной кости (А, Б); переднемедиальная позиция большеберцового туннеля (В)



При положении большеберцового туннеля ближе к центру или в заднелатеральной трети бедренный туннель мог находиться либо также вертикально, либо в задневерхней части в месте перехода крыши в боковую стенку ЛМБК, ближе, но, тем не менее, кпереди от проксимальной части прикрепления ПКС (Рисунок 47).



А

Б

Рисунок 47 – Трехмерное компьютерное изображение после чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС: бедренный туннель в задневерхней части в месте перехода крыши в боковую стенку ЛМБК, задняя часть туннеля – в области ЛМГ (А); большеберцовый туннель в центре (Б)

У пациентов 4-й группы, которые были прооперированы с использованием модифицированной переднемедиальной техники, большеберцовый туннель располагался в точке, соответствующей  $41,6 \pm 2,5\%$  по оси d и  $45,6 \pm 1,6\%$  по оси w, что совпадало с центральной частью прикрепления ПКС.

Центр бедренного туннеля, разметка которого у всех больных данной группы была проведена согласно оригинальной методике, находился в точке, соответствующей  $29,9 \pm 3,0\%$  по оси t и  $30,0 \pm 4,0\%$  по оси h. Данная позиция соответствовала переднемедиальной части или зоне между переднемедиальной и центральной частью бедренного прикрепления ПКС. Причем, по данным КТ, не было выявлено существенных ошибок при разметке бедренного туннеля.

Послеоперационные рентгенограммы у пациентов 4-й группы представлены на Рисунке 48.



А

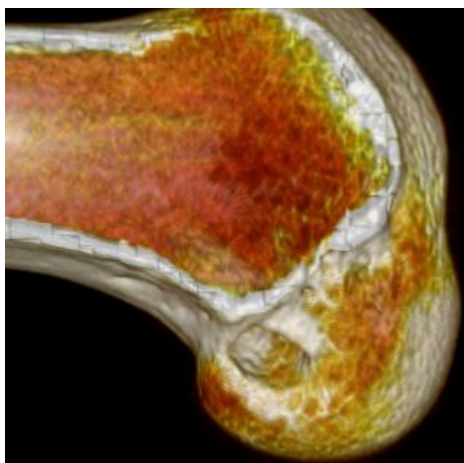


Б

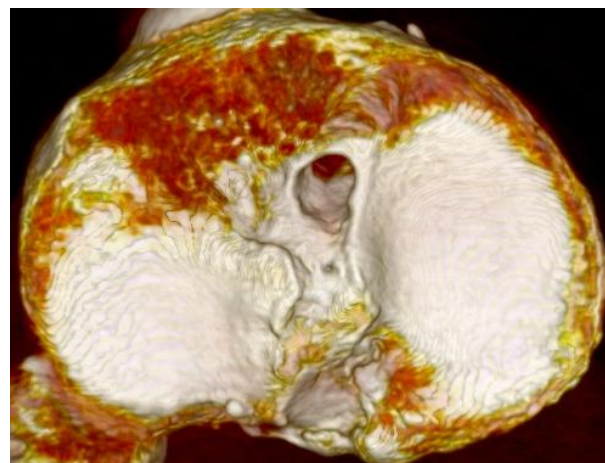
Рисунок 48 – Послеоперационные рентгенограммы пациента 4-й группы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях

Статистический анализ показал наличие значимых различий между группами при оценке локализации большеберцового туннеля по оси d ( $p < 0,05$ ), а бедренного туннеля по осям t и h ( $p < 0,01$ ).

Компьютерные изображения, полученные после оригинального варианта переднемедиальной реконструкции ПКС, наглядно свидетельствовали о том, что выбранная техника позволяла достичь оптимального анатомического положения туннелей практически у всех пациентов 4-й группы (Рисунок 49).



А



Б

Рисунок 49 – Типичное положение бедренного (А) и большеберцового (Б) костных туннелей у пациентов 4-й группы при переднемедиальной технике по разработанной методике: передняя часть бедренного туннеля соответствует проксимальной половине ЛМГ, большеберцовый туннель в переднемедиально-центральной части прикрепления ПКС

Таким образом, использование при реконструкции ПКС предложенных технических приемов позволило достоверно добиться проксимально-анатомического положения бедренного туннеля и рационального анатомического положения большеберцового туннеля практически у всех больных 4-й группы. Далее были изучены клинические результаты у больных выбранных групп.

#### **4.2.2. Анализ клинических результатов и динамики восстановления функции у пациентов проспективных групп**

Результаты субъективной оценки по шкалам-опросникам IKDC-2000, Lysholm и KOOS, проведенной в ходе предоперационного обследования больных, представлены в Таблице 7.

Таблица 7 – Предоперационная оценка субъективных результатов

Шкала	Раздел	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
IKDC	-	51,3±19,6 (13,8-90,8)	48,7±13,7 (27,6-78,9)	0,588
Lysholm	-	57,9±23,0 (4-91)	56,8±19,3 (29-93)	0,856
KOOS	Боль	67,9±21,6 (22-100)	66,5±15,7 (39-92)	0,792
	Симптомы	65,2±23,3 (14-96)	65,1±14,6 (32-89)	0,990
	Бытовые действия	69,6±23,3 (31-100)	73,4±20,3 (31-99)	0,544
	Спорт	43,1±23,4 (0-75)	39,9±20,5 (5-90)	0,603
	Качество жизни	43,8±20,9 (0-75)	40,4±18,0 (13-85)	0,533

Статистический анализ не выявил значимых различий между группами. Выявленные невысокие баллы у больных обеих групп отражали значительное ухудшение субъективной оценки после разрыва ПКС в сравнении с нормальными показателями. Причем, согласно шкале KOOS, наиболее низкие баллы были получены в разделах спорт, активность на отдыхе и качество жизни.

Выполненное в дооперационном периоде объективное обследование показало следующее. Разность окружности бедра у пациентов 3-й группы на поврежденной стороне составила  $1,8 \pm 1,0$  см, в 4-й группе –  $2,0 \pm 0,9$  см. Дефицит сгибания в коленном суставе у больных в 3-й группы составил  $11,7 \pm 17,6^\circ$ , дефицит разгибания –  $1,8 \pm 2,9^\circ$ , у больных 4-й группы –  $10,8 \pm 10,8^\circ$  и  $4,5 \pm 5,5^\circ$ , соответственно. По результатам мануальных тестов у всех больных были выявлены симптомы выраженной нестабильности коленного сустава (++ или +++). По результатам артрометрии в 3-й группе смещение голени относительно бедра на поврежденной стороне составило  $12,1 \pm 1,6$  мм, что было на  $9,3 \pm 1,4$  мм больше, чем на здоровой стороне. Для больных 4-й группы данный показатель составил  $12,3 \pm 2,4$  мм, т.е. на  $9,8 \pm 1,8$  мм больше нормы. Проведенный статистический анализ не выявил значимых различий между группами.

Проведенное через 3 месяца после операции клиническое обследование больных показало следующее. Результаты субъективной оценки представлены в Таблице 8.

Таблица 8 – Результаты субъективной оценки через 3 месяца после операции

Шкала	Раздел	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
IKDC	–	60,7±7,9 (41,5-73,6)	60,5±10,1 (41,6-94,2)	0,943
Lysholm	–	69,4±11,7 (51-93)	69,1±9,9 (55-96)	0,929
KOOS	Боль	85,7±11,4 (48-94)	77,7±13,1 (53-100)	0,601
	Симптомы	69,1±11,1 (54-96)	75,6±12,8 (54-94)	0,081
	Бытовые действия	82,6±9,1 (65-96)	79,1±12,1 (55-99)	0,283
	Спорт	43,9±13,7 (25-70)	51,9±17,5 (25-85)	0,101
	Качество жизни	49,8±16,7 (25-75)	49,2±13,4 (13-75)	0,883

Проведенный статистический анализ не выявил значимых различий по всем используемым шкалам-опросникам. Наблюдалось лишь незначительное увеличение субъективных оценок по сравнению с предоперационным периодом.

Объективное обследование показало наличие гипотрофии мышц бедра и признаков контрактуры сустава. Так, дефицит окружности бедра в нижней трети составил  $2,6 \pm 1,0$  см для 3-й группы и  $2,9 \pm 1,1$  см – для 4-й. Дефицит сгибания в коленном суставе составил  $16,2 \pm 15,3^\circ$  в 3-й группе и  $12,7 \pm 9,5^\circ$  – в 4-й, дефицит разгибания был  $3,9 \pm 3,8^\circ$  и  $4,3 \pm 5,0^\circ$ , соответственно.

По данным мануальных тестов и артрометрии коленного сустава были выявлены статистически значимые различия в показателях между группами, которые были выше у пациентов 4-й группы (Таблица 9).

Таблица 9 – Результаты объективной оценки через 3 месяца после операции

Показатель	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
<i>Тесты «переднего выдвижного ящика» и Лахмана</i>			
– (от 0 до 2 мм)	6 (30%)	27 (66%)	< 0,05
+ (от 3 до 5 мм)	11 (55%)	12 (31%)	
++ (от 6 до 10 мм)	3 (15%)	1 (3%)	
<i>Тест pivot-shift</i>			
– (отрицательный)	6 (30%)	28 (69%)	< 0,01
+ (скользящий)	9 (45%)	12 (31%)	
++ (явный)	5 (25%)	–	
Артрометрия, мм от здоровой стороны	3,5±1,8	2,1±1,9	< 0,05

Через 6 месяцев после оперативного лечения вновь было проведено клиническое обследование больных обеих групп, результаты которого показали улучшение субъективной оценки (Таблица 10). Причем, более высокие показатели были в 4-й группе, однако статистически значимыми различия были только по данным раздела «спорт, активность на отдыхе» шкалы KOOS.

Таблица 10 – Результаты субъективной оценки через 6 месяцев после операции

Шкала	Раздел	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
IKDC	–	72,7±7,4 (57,5-83,9)	75,9±7,2 (61,3-92,8)	0,146
Lysholm	–	83,4±5,4 (73-94)	84,0±6,3 (74-99)	0,741
KOOS	Боль	85,5±9,2 (69-100)	86,6±9,1 (61-100)	0,684
	Симптомы	82,6±8,7 (64-96)	83,8±8,1 (68-100)	0,654
	Бытовые действия	88,2±9,6 (69-100)	89,7±6,0 (79-100)	0,526
	Спорт	64,3±13,1 (40-94)	75,9±10,8 (55-100)	< 0,05
	Качество жизни	63,8±13,4 (45-85)	70,3±12,7 (48-100)	0,100

Проведенное объективное обследование показало, что в период с 3-х до 6-ти месяцев после операции у пациентов наблюдалось дальнейшее уменьшение атрофии мышц бедра и увеличение амплитуды движений в оперированном коленном суставе. Разность в окружности бедра на оперированной конечности по сравнению со здоровой стороной составила  $2,2 \pm 1,2$  см для 3-й группы и  $2,2 \pm 1,0$  см для 4-й. Дефицит сгибания в коленном суставе составил  $6,2 \pm 7,2^\circ$  в 3-й группе и  $2,7 \pm 4,7^\circ$  в 4-й, дефицит разгибания был  $1,3 \pm 2,7^\circ$  и  $1,3 \pm 2,9^\circ$ , соответственно. Статистический анализ не показал значимых различий при оценке данных показателей.

Результаты оценки функции трансплантата ПКС с использованием мануальных тестов и артрометрии представлены в Таблице 11. Как следует из данных таблицы, через 6 месяцев после операции были выявлены статистически значимые различия в показателях функциональной состоятельности трансплантата ПКС между группами ( $p < 0,01$ ), которые также были выше у пациентов 4-й группы.

Таблица 11 – Результаты объективной оценки через 6 месяцев после операции

Показатель	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
<i>Тесты «переднего выдвижного ящика» и Лахмана</i>			
– (от 0 до 2 мм)	5 (25%)	31 (78%)	< 0,05
+ (от 3 до 5 мм)	13 (65%)	9 (22%)	
++ (от 6 до 10 мм)	2 (10%)	-	
<i>Тест pivot-shift</i>			
– (отрицательный)	4 (20%)	33 (83%)	< 0,01
+ (скользящий)	12 (60%)	7 (17%)	
++ (явный)	4 (20%)	-	
Артрометрия, мм от здоровой стороны	3,6±1,6	2,0±1,7	< 0,01

Через 12 месяцев после оперативного лечения вновь было проведено клиническое обследование больных обеих групп. Субъективная оценка через 12 месяцев после оперативного лечения по всем шкалам-опросникам, кроме раздела «сложность выполнения ежедневных бытовых действий» шкалы KOOS, была выше у пациентов 4-й группы (Таблица 12). Также было выявлено статистически значимое улучшение субъективных результатов по всем шкалам-опросникам через 12 месяцев, по сравнению с предоперационной оценкой, у пациентов 4-й группы по сравнению с 3-й (Рисунки 50, 51 и 52).



Таблица 12 – Результаты субъективной оценки через 12 месяцев после операции

Шкала	Раздел	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
IKDC	–	82,1±8,7 (60,9-92,8)	89,8±6,4 (69-100)	< 0,05
Lysholm	–	87,4±6,3 (65-100)	94,7±6,6 (76-100)	< 0,05
KOOS	Боль	92,4±5,1 (69-100)	97,0±3,1 (92-100)	< 0,05
	Симптомы	87,9±7,8 (64-100)	94,7±6,3 (71-100)	< 0,05
	Бытовые действия	97,1±3,6 (69-100)	98,8±2,4 (91-100)	0,430
	Спорт	81,5±12,8 (50-100)	90,8±9,0 (65-100)	< 0,05
	Качество жизни	76,6±13,5 (44-100)	85,1±11,3 (56-100)	< 0,05

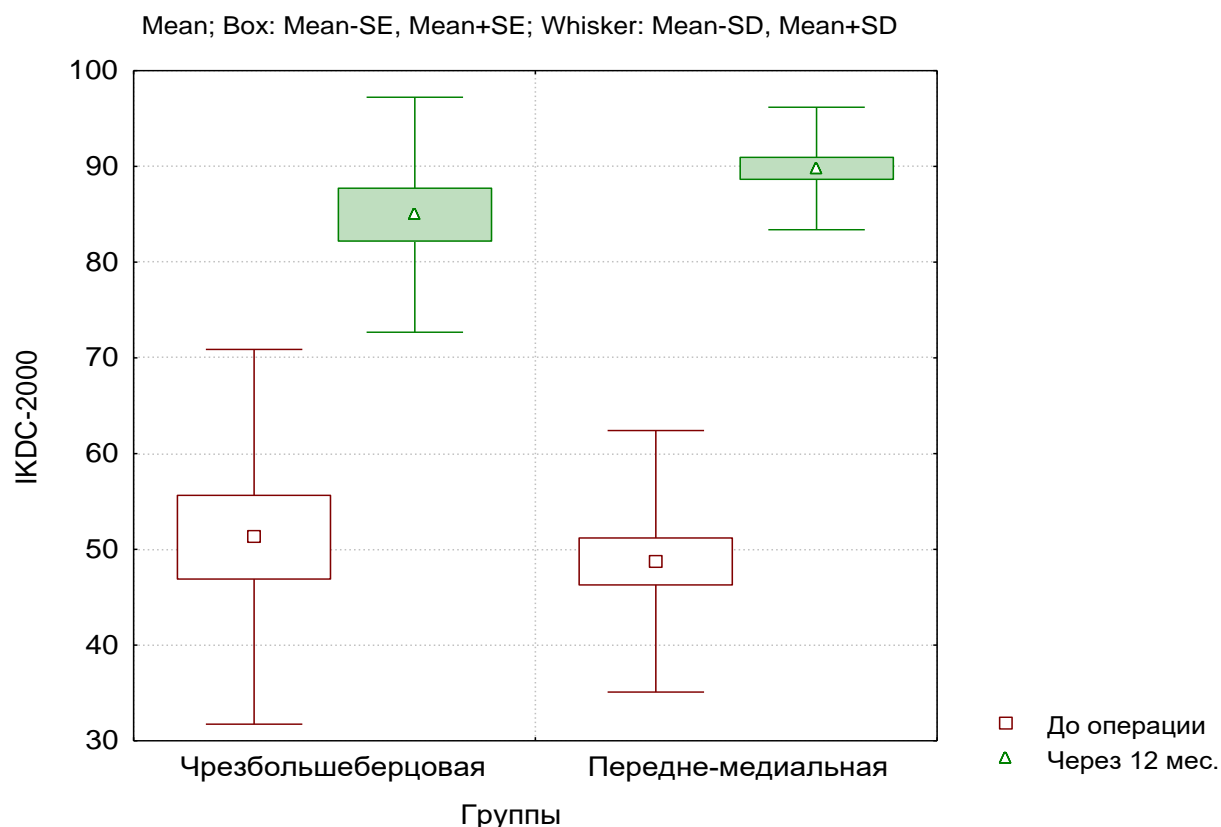


Рисунок 50 – Результаты по субъективной шкале IKDC-2000 до операции и через 12 месяцев после

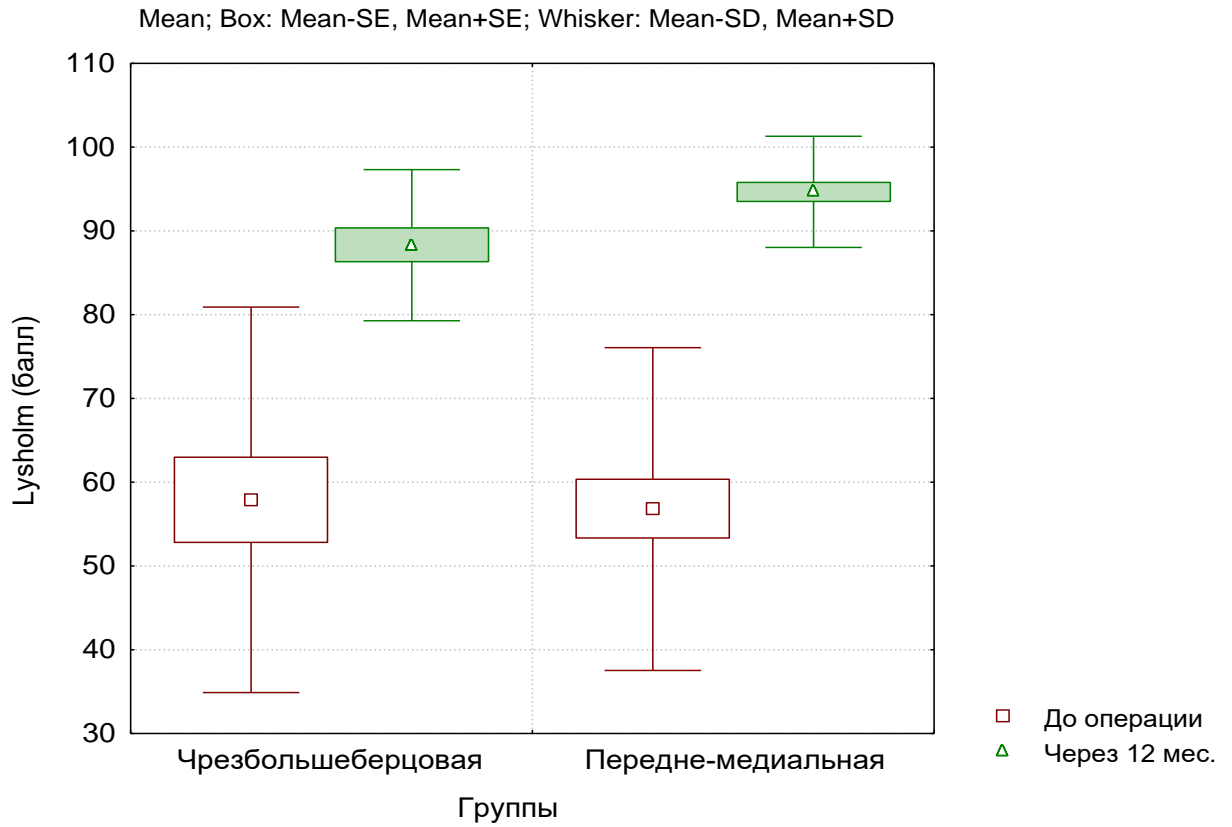


Рисунок 51 – Результаты по шкале Lysholm до операции и через 12 месяцев после

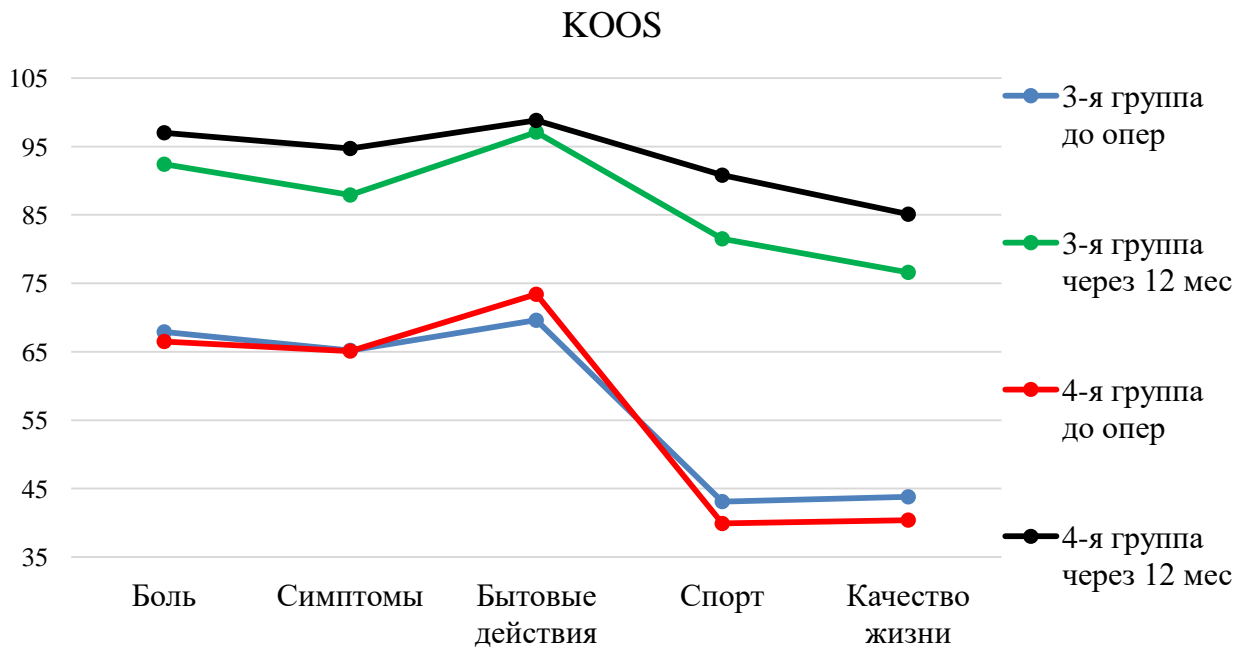


Рисунок 52 – Результаты по шкале KOOS до операции и через 12 месяцев после

Объективная оценка результатов через 12 месяцев после оперативного лечения показала значительное снижение показателей гипотрофии мышц бедра и дефицита амплитуды движений в коленном суставе. Разность в окружности бедра на оперированной конечности по сравнению со здоровой стороной составила  $1,3 \pm 1,3$  см для 3-й группы и  $1,0 \pm 1,0$  см для 4-й. Дефицит сгибания в коленном суставе составил  $1,7 \pm 3,5^\circ$  в 3-й группе и  $0,7 \pm 1,7^\circ$  – в 4-й, дефицит разгибания был  $0,2 \pm 1,0^\circ$  и  $0,4 \pm 1,4^\circ$ , соответственно. Статистический анализ не показал значимых различий при оценке данных показателей. Результаты оценки функции трансплантата ПКС с использованием мануальных тестов и артрометрии представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты объективной оценки через 12 месяцев после операции

Показатель	3-я группа (n=20)	4-я группа (n=40)	P
<i>Тесты «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана</i>			
– (от 0 до 2 мм)	8 (40%)	35 (88%)	< 0,01
+ (от 3 до 5 мм)	10 (50%)	5 (12%)	
++ (от 6 до 10 мм)	2 (10%)	-	
<i>Тест pivot-shift</i>			
– (отрицательный)	7 (35%)	35 (88%)	< 0,001
+ (скользящий)	10 (50%)	5 (12%)	
++ (явный)	3 (15%)	-	
Артрометрия, мм от здоровой стороны	$3,3 \pm 2,6$	$1,2 \pm 1,4$	< 0,01

При оценке стабильности коленного сустава по данным артрометрии до операции и через 12 месяцев после нее были выявлены статистически значимые различия в показателях между группами ( $p < 0,01$ ), которые были выше у пациентов после модифицированной переднемедиальной техники реконструкции ПКС (Рисунок 53).

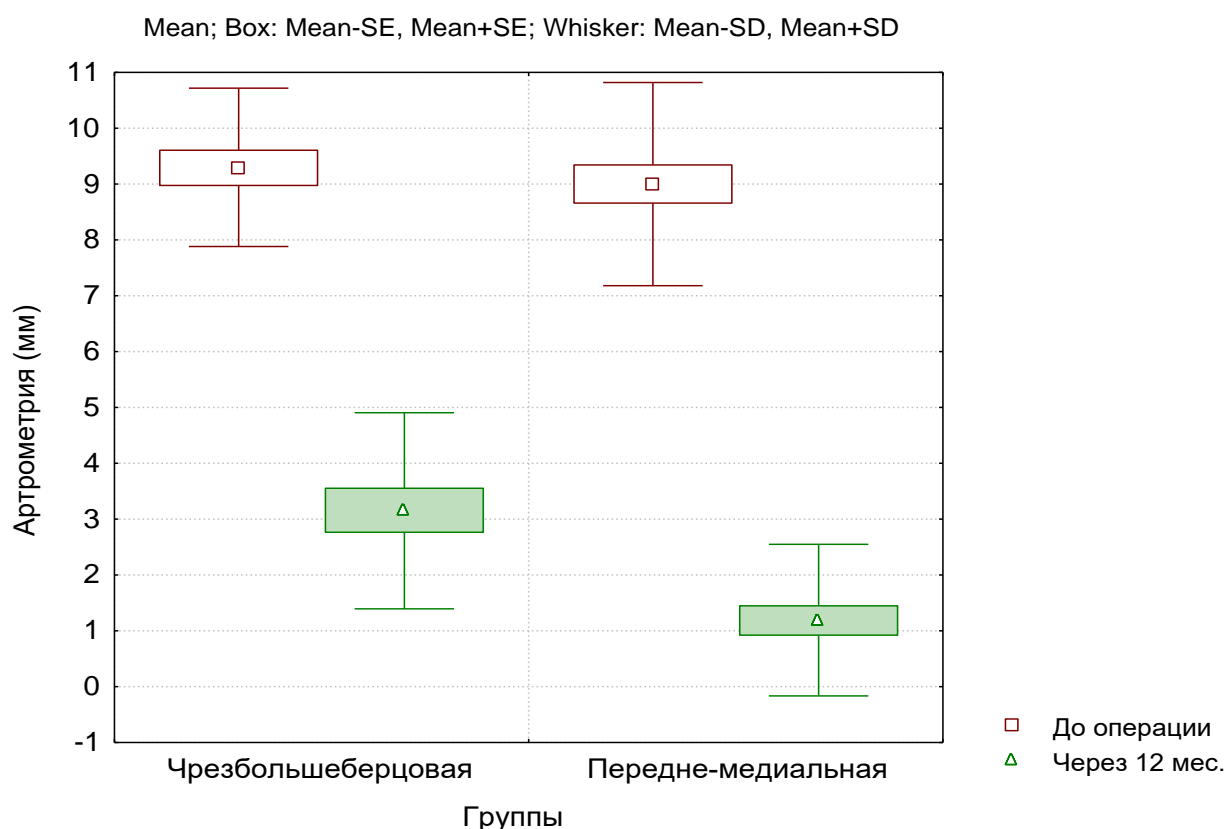


Рисунок 53 – Результаты артрометрии коленного сустава до операции и через 12 месяцев после ( $p < 0,01$ )

По данным шкалы функциональной оценки коленного сустава IKDC-2000 среди пациентов 3-й группы к категории «А» (норма) были отнесены 7 больных (35%), к «В» (близко к норме) – 10 (50%) и к «С» (отклоняющиеся от нормы) – 3 (15%). В 4-й группе к категории «А» были отнесены 35 больных (88%), к «В» – остальные 5 пациентов. Различия между группами по данной шкале были статистически значимыми (Рисунок 54).

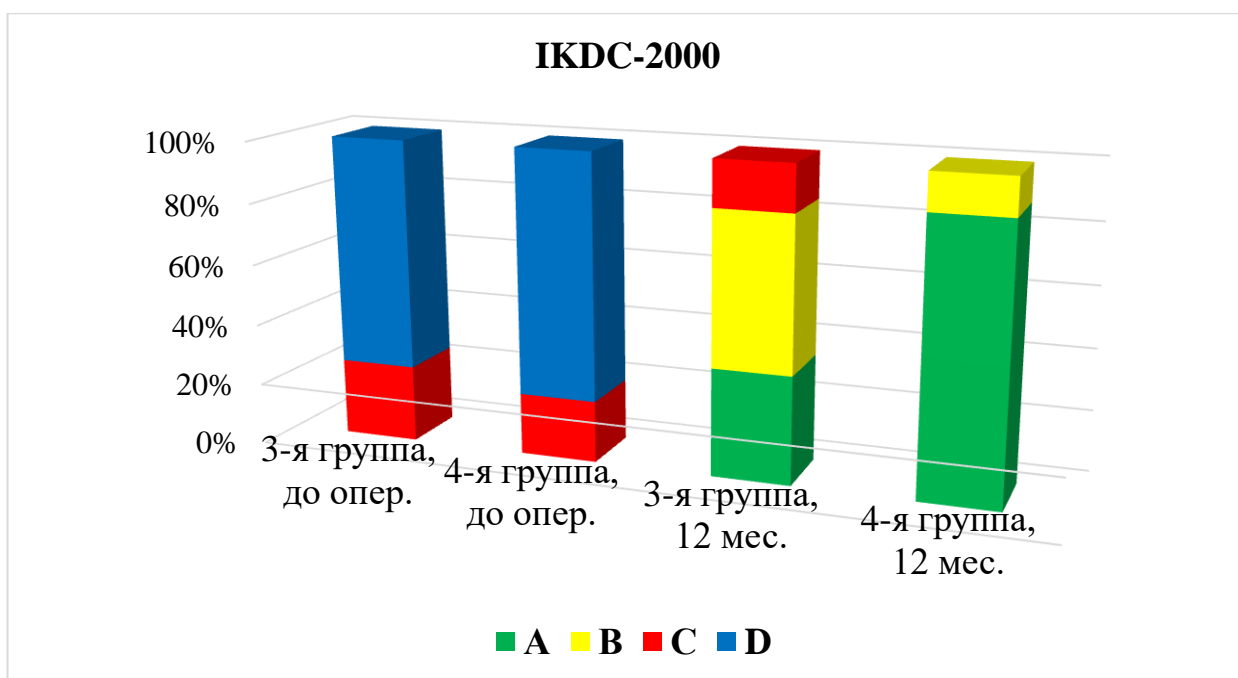


Рисунок 54 – Результаты по функциональной шкале оценки коленного сустава IKDC-2000 до операции и через 12 месяцев после ( $p < 0,001$ )

При оценке относительных рисков (RR) было выявлено, что использование чрезбольшеберцовой техники формирования костных туннелей увеличивает шансы возникновения остаточной нестабильности коленного сустава в 5,2 раза по сравнению с проксимально-анатомичной переднемедиальной реконструкцией ПКС ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, клинические результаты, как субъективные, так и объективные, были достоверно выше у больных 4-й исследуемой группы по сравнению с 3-й. Причем, преимущество в восстановлении функции проявлялось по объективным критериям через 3–6 месяцев, а по субъективным и объективным критериям в целом – через 12 месяцев после операции.

#### **4.3. Особенности внутрисуставной перестройки аутотрансплантата ПКС в первый год после операции**

Для определения структурных особенностей и оценки внутрисуставной перестройки аутотрансплантата ПКС всем больным проспективных групп было выполнено динамическое МРТ коленного сустава в период от 3-х до 5-ти суток, а также через 3, 6 и 12 месяцев после операции.

С целью определения МР-картины нативной ПКС из базы данных РНИИТО были выбраны протоколы исследований коленных суставов 25-ти пациентов, у которых не было признаков повреждения ПКС. Средний возраст больных составил  $30,5 \pm 7,4$  лет (от 19 до 41 года), среди них было 8 женщин и 17 мужчин.

МР-сигнал от нативных ПКС (Рисунок 55) во всех типах взвешенности показал, что неповрежденная связка выглядела как умеренно неоднородная структура, имеющая сигнал, несколько более интенсивный, чем сигнал от нативной ЗКС. Интенсивность сигнала ПКС была  $70,4 \pm 22,0$ , ЗКС –  $45,8 \pm 12,8$ , коэффициент ПКС составил  $1,58 \pm 0,5$ .

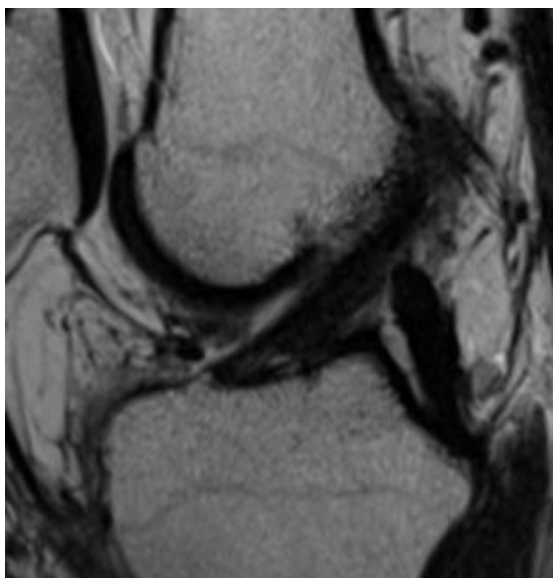
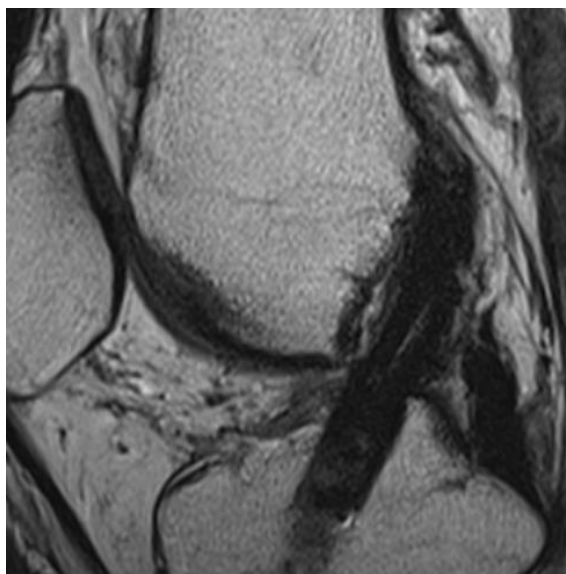


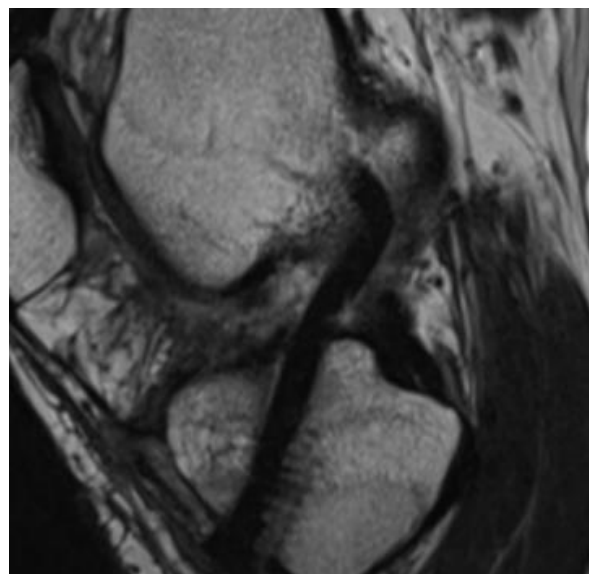
Рисунок 55 – МР-картина нормальной (не поврежденной) передней крестообразной связки в режиме T2 TSE Sagittal-oblique

На 3-и–5-е сутки после оперативного лечения трансплантат ПКС в обеих группах выглядел темной однородной структурой и характеризовался сигналом низкой интенсивности в отличие от изображения нативной ПКС. Коэф. (Тпкс) в 3-й группе составил  $0,92 \pm 0,26$ , тогда как в 4-й он был  $1,01 \pm 0,38$ . Статистический анализ показал отсутствие различий в изображениях трансплантата между группами, однако они обе значимо отличались от МР-картины нативной ПКС (Рисунок 56). Согласно известным литературным данным (Janssen R.P., Scheffler

S.U., 2014), в ранние сроки после имплантации трансплантат ПКС еще не имеет сосудистых связей, и поэтому выглядит более темным, чем нативная ПКС.



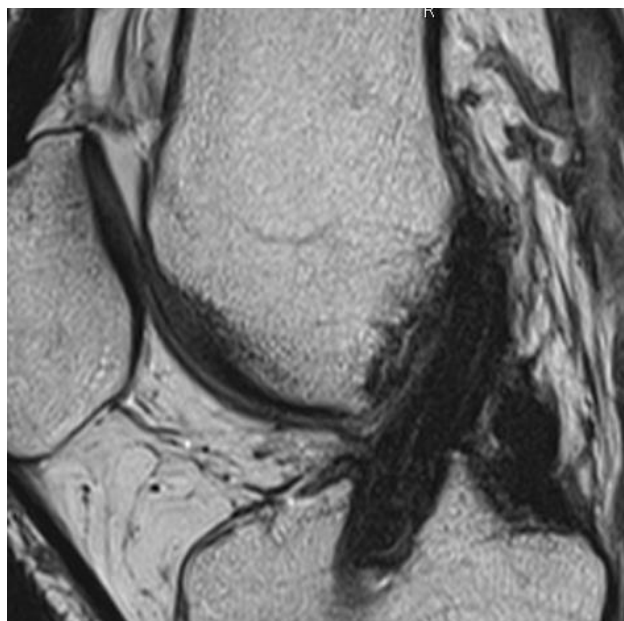
А



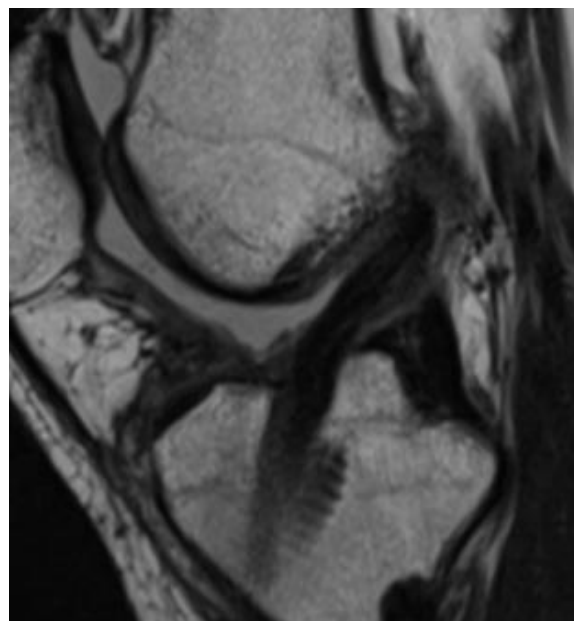
Б

Рисунок 56 – МР-картина ауто трансплантата ПКС на 3-5-е сутки после оперативного лечения в 3-й (А) и 4-й группе (Б)

Через 3 месяца после оперативного лечения трансплантат ПКС в обеих группах выглядел менее однородно, а также происходило постепенное увеличение интенсивности сигнала, что, по-видимому, отражало процессы васкуляризации и репаративной регенерации трансплантата. Коэф. (Тпкс) в 3-й группе составил  $1,07 \pm 0,27$ , тогда как в 4-й –  $1,31 \pm 0,39$ . При этом были выявлены статистически значимые различия как между группами ( $p < 0,05$ ), так и в обеих группах по сравнению с нормой (Рисунок 57).



А

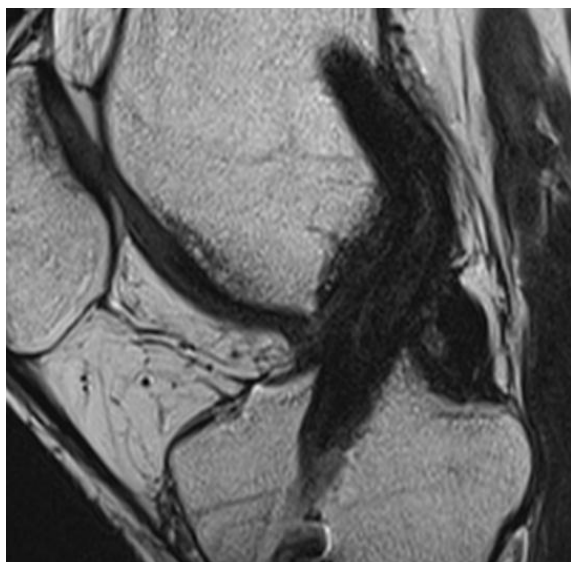


Б

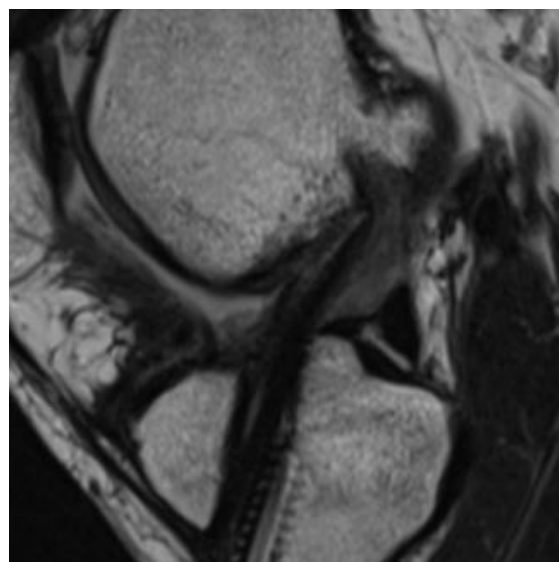
Рисунок 57 – МР-картина аутотрансплантата ПКС через 3 месяца после оперативного лечения в 3-й (А) и 4-й группе (Б)

При наблюдении через 6 месяцев после операции в обеих группах происходило дальнейшее увеличение интенсивности сигнала трансплантата, которое было заметнее в 4-й группе. Причем, между ними были выявлены статистически значимые различия по данному параметру ( $p < 0,05$ ). Коэффициент (Тпкс) в 3-й группе составил  $1,21 \pm 0,45$  и по данному показателю не достигал нормальных значений ( $p < 0,05$ ). В 4-й группе Коэф. (Тпкс) составил  $1,79 \pm 0,67$  и приближался по уровню к сигналу от нативной ПКС ( $p = 0,269$ ). Следовательно, изменения МР-картины сухожильного трансплантата ПКС к 6 месяцам соответствовали представлениям о процессе регенерации (постепенного увеличения количества питающих сосудов, формирования молодой синовиальной ткани вокруг него, организации коллагеновых волокон и т.п.).





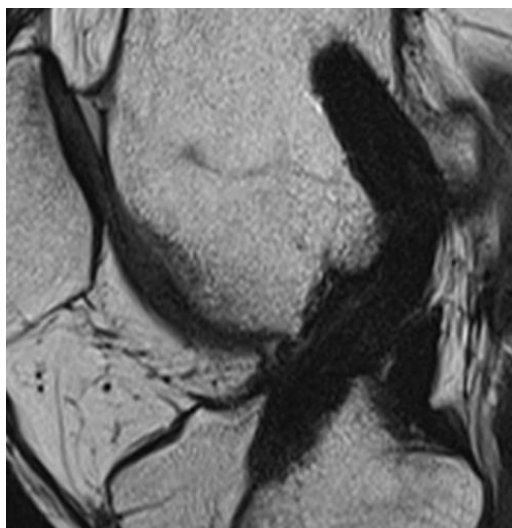
А



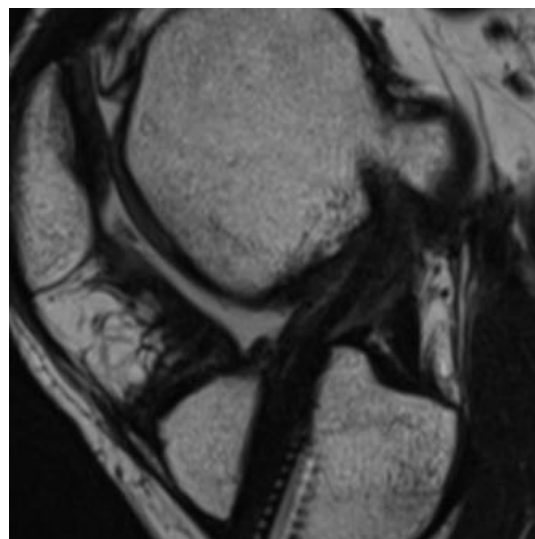
Б

Рисунок 58 – МР-картина аутографтата ПКС через 6 месяцев после оперативного лечения в 3-й (А) и 4-й группе (Б)

К концу срока МР-наблюдения (12 месяцев) были выявлены статистически значимые различия между группами (Рисунок 59). В 3-й группе все еще происходило увеличение интенсивности сигнала (Коэф. Тпкс был равен  $1,24 \pm 0,29$ ), которое, однако, не достигало нормы ( $p < 0,05$ ). В 4-й группе наблюдалось, напротив, снижение интенсивности сигнала по сравнению с результатами МРТ, выполненного через 6 месяцев после операции, Коэф. (Тпкс) составил  $1,48 \pm 0,58$  и почти не отличался от нативной ПКС ( $p = 0,501$ ). Таким образом, его МР-картина к концу 12 месяцев наблюдения приобретала вид, напоминающий изображение нативной связки, у больных 4-й группы.



А



Б

Рисунок 59 – МР-картина аутотрансплантата ПКС через 12 месяцев после оперативного лечения в 3-й (А) и 4-й группе (Б)

На диаграмме представлен процесс внутрисуставной перестройки аутотрансплантата на основании оценки изменения интенсивности сигнала (Рисунок 60).

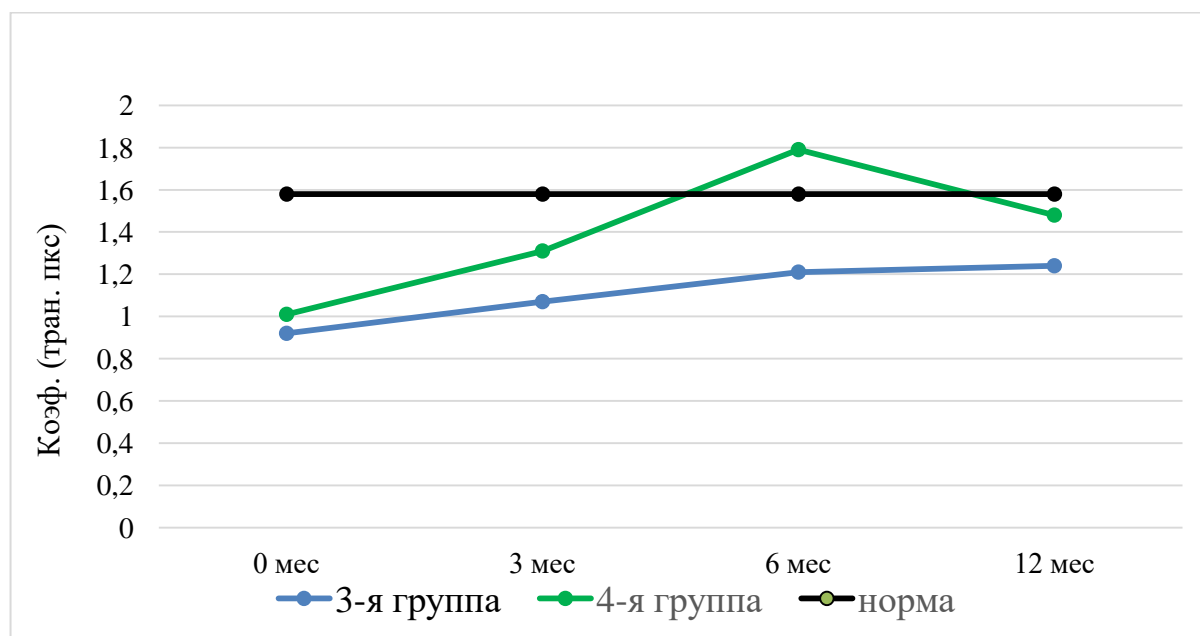


Рисунок 60 – Изменение интенсивности сигнала в течение 12 месяцев после операции

Полученные данные показали, что на протяжении всего срока наблюдения (12 месяцев) после операции, происходило изменение интенсивности сигнала от трансплантата ПКС. По-видимому, это было связано с постепенным восстановлением его кровоснабжения и изменения физико-химических свойств, что в иностранной литературе обозначают термином «лигаментизация». На 3 – 5-е сутки и через 3 месяца после операции в обеих группах аутотрансплантат выглядел однородным и гипоинтенсивным по сравнению с сигналом от нормальной связки. После 3-х месяцев в 3-й группе происходило постепенное увеличение интенсивности сигнала, однако до 12 месяцев у большинства пациентов она так и не достигала нормы. У пациентов 4-й группы после 6 месяцев после операции было отмечено резкое увеличение интенсивности сигнала трансплантата ПКС, которое затем снизилось и в большинстве случаев соответствовало показателям нормы к 12 месяцам послеоперационного периода.

#### **4.4. Сравнительная оценка расширения бедренного туннеля при чрезбольшеберцовой и переднемедиальной технике реконструкции ПКС**

Оценку расширения бедренного туннеля проводили по данным МРТ, выполненного через 12 месяцев после оперативного лечения. Расчет проводили в процентном соотношении от изначального диаметра туннеля.

Между группами не было выявлено статистически значимых различий при сравнении интраоперационного диаметра бедренного туннеля. У пациентов 3-й группы он был равен  $7,8 \pm 0,6$  мм, у больных 4-й группы –  $7,6 \pm 0,5$  мм.

По данным МРТ к концу первого года после реконструкции ПКС расширение туннелей наблюдалось практически у всех пациентов, однако степень изменений значимо отличалась между группами пациентов.

В 3-й группе больных, которым применяли чрезбольшеберцовую технику реконструкции, расширение бедренного туннеля в сагиттальной плоскости составило  $27,4 \pm 15,4\%$  – в проксимальной трети туннеля,  $52,7 \pm 21,5\%$  – в центральной и  $41,6 \pm 21,8\%$  – в дистальной трети. Во фронтальной плоскости его

расширение составило  $24,4 \pm 18,4\%$  в проксимальной,  $59,7 \pm 18,1\%$  в центральной и  $49,3 \pm 18,0\%$  в дистальной частях.

В 4-й группе больных, которым применяли модифицированную переднемедиальную технику пластики ПКС, расширение бедренного туннеля в сагиттальной плоскости составило  $9,1 \pm 7,3\%$  в проксимальной,  $15,7 \pm 10,6\%$  в центральной и  $13,3 \pm 9,7\%$  в дистальной части туннеля. Во фронтальной плоскости его расширение составило  $11,4 \pm 18,9\%$  в проксимальной,  $17,0 \pm 9,8\%$  в центральной и  $14,2 \pm 10,2\%$  в дистальной части канала.

Статистический анализ показал наличие значимых различий ( $p < 0,01$ ) между группами при оценке расширения бедренного туннеля во всех его частях (Рисунок 61).

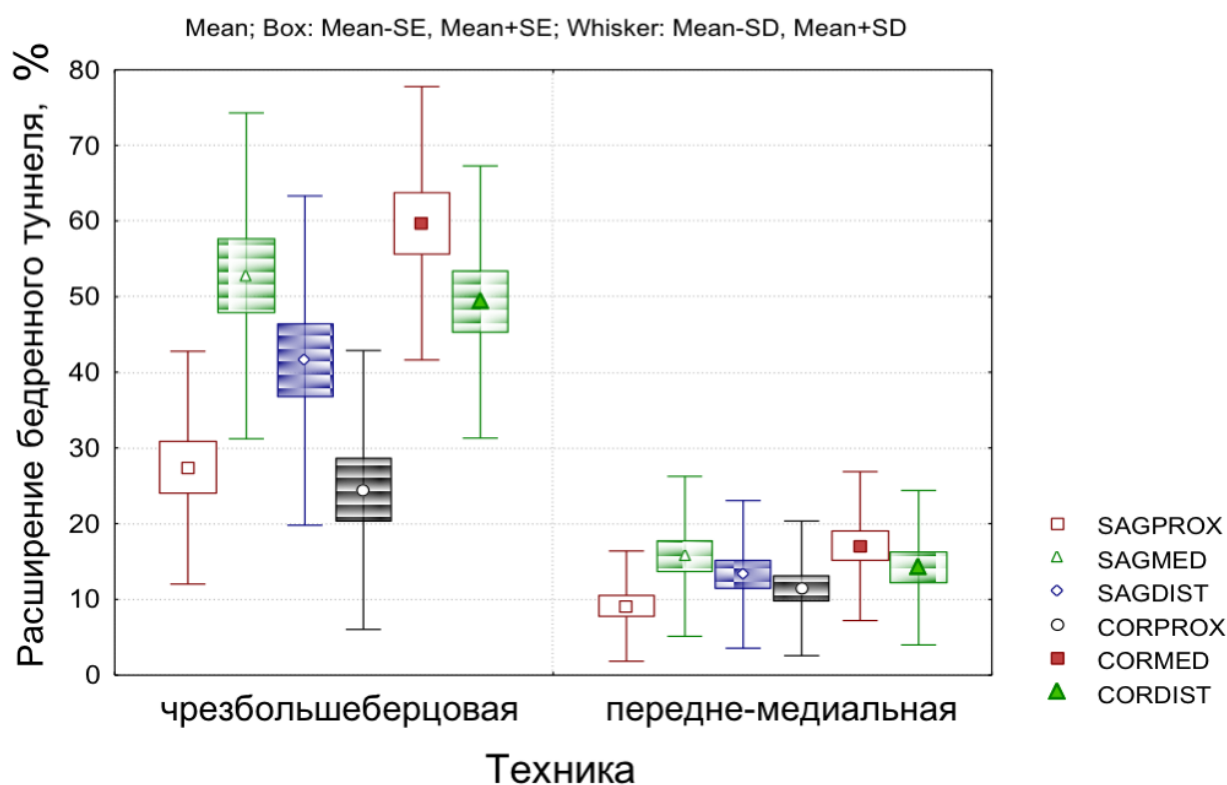


Рисунок 61 – Расширение бедренного туннеля через 12 месяцев после чрезбольшеберцовой и проксимально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции ПКС ( $p < 0,01$ )

В литературе одной из причин послеоперационного расширения туннелей называют микроподвижность еще не прижившего мягкотканного трансплантата (эффект стеклоочистителя, банджо-эффект). Хотя явного влияния данного последствия на клинические исходы не установлено, но хирурги признают необходимость учитывать его при планировании возможной ревизионной пластики ПКС.

Наше исследование показало, что в сравниваемых группах расширение бедренного туннеля было значительно более выраженным (примерно на 20–25%) у больных после ЧБ реконструкции. Весьма вероятно, что выявленный факт может быть следствием не анатомического положения трансплантата ПКС, вследствие чего его раскачивание в туннеле было более выраженным, чем в условиях анатомично-изометричной позиции новой связки у больных 4-й группы.

#### **4.5. Сравнительный анализ результатов переднемедиальной техники реконструкции ПКС с центрально-анатомичным и проксимально-анатомичным положением бедренного туннеля**

Полученные в ходе настоящего исследования результаты показали следующее. Во-первых, чрезбольшеберцовая техника на практике не позволяла сформировать костные туннели в зоне анатомического прикрепления и, во-вторых, примерно у половины пациентов не удалось получить отличных ближайших и среднесрочных клинических результатов. Поэтому переднемедиальная методика реконструкции ПКС представлялась более обоснованной и прогрессивной. Накопленный опыт использования данной техники, а также ее модификации (предположительно более рациональной), потребовал объективного анализа результатов в сравнимых группах больных.

##### **4.5.1. Положение костных туннелей**

При оценке большеберцового туннеля с использованием метода анатомических координатных осей между группами не было выявлено статистически значимых различий. У пациентов 2-й группы он располагался в

точке, соответствующей  $39,6 \pm 4,1\%$  по оси d и  $45,6 \pm 2,1\%$  по оси w, у больных 4-й группы он был в  $41,6 \pm 2,5\%$  и  $45,6 \pm 1,6\%$ , соответственно. В обеих группах больных локализация большеберцового туннеля соответствовала центральной или переднемедиальной части анатомического прикрепления ПКС.

Центр бедренного туннеля у пациентов 2-й группы, при оценке его положения с использованием квадрантного метода, располагался в точке, соответствующей  $38,7 \pm 6,2\%$  по оси t и  $33,3 \pm 6,7\%$  по оси h, у больных 4-й группы – в  $29,9 \pm 3,0\%$  по оси t и  $30,0 \pm 4,0\%$ , соответственно. Статистический анализ показал наличие значимых различий между группами при оценке локализации бедренного туннеля по оси t ( $p < 0,01$ ) и оси h ( $p < 0,05$ ). Различия в положении бедренного туннеля представлены на Рисунке 62.

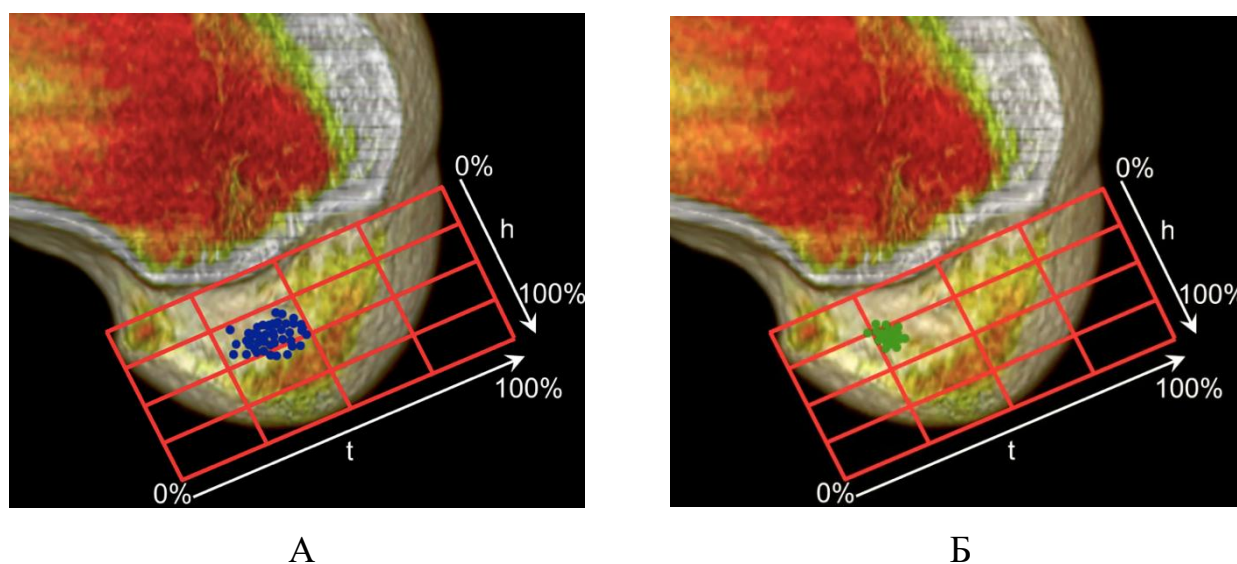


Рисунок 62 – Локализация центров бедренных туннелей у пациентов 2-й (А) и 4-й (Б) групп

Построенные трехмерные компьютерно-томографические изображения наглядно показали, что при центрально-анатомичной реконструкции, в особенности, если центр бедренного туннеля размечали не только по линейке, но и визуально ориентируясь по анатомическим референтным структурам, наблюдались значительные отклонения в позиции вокруг центра и заднелатеральной порции ПКС. При разметке бедренного туннеля в проксимально-анатомической части ПКС, с ориентиром на задневерхний край

хряща ЛМБК и с использованием оригинального прицельного устройства, удалось с большой точностью (без значительного размаха) получить желаемую позицию.

#### 4.5.2. Оценка субъективных и объективных результатов двух вариантов переднемедиальной реконструкции ПКС

Оценка клинических исходов проводилась в сроки через  $29,1 \pm 7$  месяцев после операции у пациентов 2-й группы и через  $19,2 \pm 2,3$  месяцев в 4-й. Срок наблюдения у больных 4-й группы был меньше, чем во 2-й ( $p < 0,05$ ), однако он был достаточным для проведения сравнительной оценки функции коленного сустава.

При анализе результатов субъективной оценки по всем шкалам-опросникам, кроме раздела «сложность выполнения ежедневных бытовых действий» шкалы KOOS, были получены более высокие статистически значимые показатели у пациентов 4-й группы по сравнению со 2-й группой (Таблица 14).

Таблица 14 – Субъективная оценка в группах больных после двух вариантов переднемедиальной реконструкции ПКС

Шкала	Раздел	2-я группа (n=47)	4-я группа (n=40)	P
IKDC	–	$84,7 \pm 8,0$ (69-100)	$89,8 \pm 6,4$ (69-100)	$< 0,05$
Lysholm	–	$90,6 \pm 6,4$ (71-100)	$94,7 \pm 6,6$ (76-100)	$< 0,05$
KOOS	Боль	$93,5 \pm 8,5$ (61-100)	$97,0 \pm 3,1$ (92-100)	$< 0,05$
	Симптомы	$89,1 \pm 9,5$ (68-100)	$94,7 \pm 6,3$ (71-100)	$< 0,05$
	Бытовые действия	$97,7 \pm 3,5$ (88-100)	$98,8 \pm 2,4$ (91-100)	0,154
	Спорт	$81,4 \pm 13,0$ (55-100)	$90,8 \pm 9,0$ (65-100)	$< 0,05$
	Качество жизни	$73,2 \pm 14,6$ (44-100)	$85,1 \pm 11,3$ (56-100)	$< 0,05$

Объективное клиническое обследование, проведенное между группами в указанные сроки, показало следующее. Разность окружности бедра, в сравнении с измерениями на здоровой стороне, составила  $1,2 \pm 1,0$  см во 2-й группе больных и

1,0 ± 1,0 см в 4-й группе. Дефицит сгибания в коленном суставе составил 1,4 ± 3,5° во 2-й группе и 0,7 ± 1,7° в 4-й, дефицит разгибания был 0,5 ± 2,0° и 0,4 ± 1,4°, соответственно.

По данным мануальных тестов и артрометрии коленного сустава были выявлены статистически значимые различия в показателях между группами, которые были выше у пациентов после модифицированной проксимально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции ПКС (Таблица 15).

Таблица 15 – Результаты объективных тестов функции трансплантата ПКС

Показатель	2-я группа (n=37)	4-я группа (n=40)	P
<i>Тесты «переднего выдвижного ящика» и Лахмана</i>			
– (от 0 до 2 мм)	18 (49%)	35 (88%)	< 0,01
+ (от 3 до 5 мм)	12 (32%)	5 (12%)	
++ (от 6 до 10 мм)	7 (19%)	-	
<i>Тест pivot-shift</i>			
– (отрицательный)	18 (49%)	35 (88%)	< 0,01
+ (скользящий)	10 (27%)	5 (12%)	
++ (явный)	9 (24%)	-	
Артрометрия, мм от здоровой стороны	3,1±2,7	1,2±1,4	< 0,01

По данным шкалы функциональной оценки коленного сустава IKDC-2000 также были выявлены статистически значимые различия между группами (Рисунок 63). Среди пациентов 2-й группы к категории «А – норма» были отнесены 17 больных (46%), к «В – близко к норме» – 11 (30%) и к «С – отклоняющиеся от нормы» – 9 (24%). В 4-й группе пациентов к категории «А» были отнесены 35 больных (88%), к «В» – остальные 5 (12%), плохих результатов получено не было.



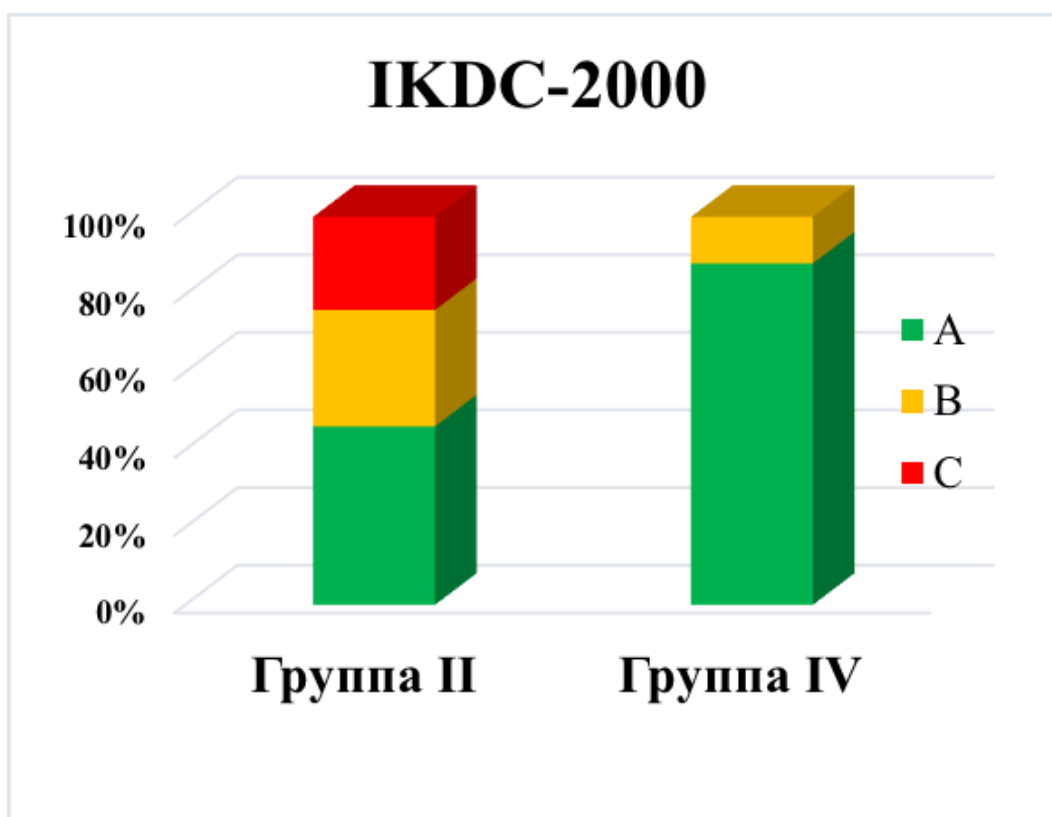


Рисунок 63 – Результаты функциональной оценки коленного сустава IKDC-2000 ( $p < 0,01$ )

При оценке относительных рисков (RR) было выявлено, что использование центрально-анатомичной переднемедиальной техники реконструкции ПКС увеличивает шансы возникновения остаточной нестабильности коленного сустава в 4,1 раз по сравнению с проксимально-анатомичной переднемедиальной методикой ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, проведенный сравнительный анализ результатов двух вариантов переднемедиальной техники реконструкции ПКС показал по всем (субъективным и объективным) показателям значимое преимущество предложенной техники с прицеливанием в проксимально-анатомичную зону прикрепления ПКС к бедренной кости.

#### 4.6. Резюме

Проведенный анализ использования известных технических приемов и устройств, применяемых для разметки и формирования бедренного костного туннеля при реконструкции ПКС, выявил их существенные недостатки, не позволяющие избегать ошибок в клинической практике.

С учетом обоснованных в 3-й главе диссертации представлений о рациональном размещении трансплантата ПКС в анатомично-изометричной позиции, в особенности на бедренной кости, был разработан собственный вариант переднемедиальной техники реконструкции с использованием ауто трансплантата из сухожилий подколенных мышц, в основу которого легла разметка центра бедренного туннеля в проксимально-анатомичной зоне прикрепления ПКС с помощью оригинального прицельного устройства.

Выполненное сравнительное проспективное исследование ближайших анатомо-функциональных результатов чрезбольшеберцовой и собственного варианта переднемедиальной техники показало существенные преимущества последнего способа. В частности, анализ послеоперационных трехмерных компьютерных томограмм показал, что, во-первых, бедренный туннель после чрезбольшеберцовой техники находился либо в области крыши межмышцелковой вырезки бедренной кости, либо в месте ее перехода в задневерхнюю часть боковой стенки ЛМБК. То есть, у всех исследуемых пациентов он располагался кпереди от проксимальной части анатомического места прикрепления ПКС. Во-вторых, предложенный вариант переднемедиальной техники позволял поместить бедренный туннель точно в выбранном проксимально-анатомическом месте прикрепления ПКС. У больных с таким положением туннелей в условиях применения одного вида аутогенного трансплантата клинические исходы были значительно выше, чем у больных после чрезбольшеберцовой не анатомичной техники.

Проспективное динамическое МРТ наблюдение за внутрисуставной перестройкой трансплантатом ПКС в течение 12 месяцев после операции продемонстрировало, во-первых, что более качественное созревание

трансплантата происходило в условиях проксимально-анатомичной позиции бедренного конца связки по сравнению с ее не анатомичной позицией, и, во-вторых, что МРТ изображение трансплантата приближалось к изображению нормальной связки не ранее, чем через 12 месяцев после операции.

По данным МРТ, выполненных у больных проспективных групп через 12 месяцев после операции, расширение бедренного туннеля наблюдалось во всех случаях, но было заметно меньшим (примерно на 20–25%) у пациентов после применения оригинального варианта переднемедиальной техники.

В завершение были изучены анатомо-функциональные результаты двух вариантов анатомической переднемедиальной техники реконструкции ПКС с использованием однотипного трансплантата из сухожилий подколенных мышц. Для первого (известного) варианта было характерным положение бедренного туннеля в центральной или в центрально-заднелатеральной части прикрепления ПКС. При собственном варианте переднемедиальной техники бедренный туннель практически у всех исследуемых больных находился в проксимальной части бедренного прикрепления ПКС. Наилучшие результаты были получены после оригинального варианта переднемедиальной реконструкции.

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что наилучшие клинические результаты реконструкции ПКС были получены при формировании туннелей в анатомично-изометричных зонах прикрепления ПКС, т.е. в проксимально-анатомичной позиции на бедренной и переднемедиально-центральной анатомичной позиции на большеберцовой кости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее диссертационное исследование было предпринято с тем, чтобы найти решения, способствующие улучшению клинических результатов реконструкции передней крестообразной связки. Несмотря на то, что данное вмешательство является одним из наиболее распространенных среди ортопедических операций, частота неудовлетворительных клинических исходов все еще остается на достаточно высоком уровне.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных литературных данных показал отсутствие единого мнения среди хирургов в выборе способа выполнения реконструкции. Среди множества факторов, влияющих на успех оперативного лечения, наиболее важным считают положение костных туннелей, особенно бедренного. Ошибки при его размещении называют наиболее частой причиной ревизионных операций. Причем хирургическая техника формирования костных туннелей оказывает существенное влияние на их локализацию и форму.

Развитие артроскопической техники позволило хирургам уменьшить травматичность оперативного лечения и снизить риск множества осложнений, связанных с реконструкцией ПКС. В 80-х–90-х годах XX века основной целью хирурга было достичь наиболее изометричного расположения трансплантата ПКС, что в случае успеха позволяло многим больным вернуться к прежним физическим и спортивным нагрузкам. Одной из наиболее популярных хирургических техник по мере повсеместного внедрения хирургической артроскопии стала так называемая чрезбольшеберцовая, или однодоступная, методика сверления костных туннелей. Как полагали, эта методика позволяла наименее травматично, без дополнительных доступов, в удобных условиях, реализовать концепцию «функциональной изометрии» ПКС на практике. В арсенале большинства хирургов до настоящего времени находятся наборы операционных инструментов от ведущих медицинских фирм, созданных именно для обеспечения чрезбольшеберцового способа формирования костных туннелей. Однако, неудовлетворенность клиническими исходами, а также полученные

новые знания об анатомии и биомеханическом поведении ПКС, послужили стимулом для поиска новых решений.

В начале 2000-х годов рядом хирургов была обоснована и внедрена так называемая «анатомичная концепция» реконструкции ПКС, целью которой было максимально заместить поврежденную связку трансплантатом, поместив его в пределах зон анатомического прикрепления. Для реализации задачи предлагали выполнять реконструкцию ПКС либо двухпучковым трансплантатом (4 туннеля), либо однопучковым, формируя костные туннели в центрах нормального прикрепления ПКС. Традиционная чрезбольшеберцовая техника, как показали новые КТ-исследования, в большинстве случаев не позволяла выполнить анатомическую реконструкцию, причем особенно частыми были ошибки при формировании бедренного туннеля. Поэтому хирурги стали переходить на техники независимого формирования костных туннелей. В частности, широкое распространение получила так называемая переднемедиальная, или транспортальная, методика реконструкции ПКС. Однако, несмотря на более высокие показатели лабораторных стендовых исследований, использование данной техники не привело к значительному улучшению клинических результатов. Это могло быть связано как с возможными техническими ошибками при освоении новой технологии, а также, возможно, и с менее изометричным расположением трансплантата. Отсутствие значимого улучшения клинических исходов, новые сведения об анатомии и гистологии мест прикрепления ПКС, внедрение в практику трехмерной компьютерной томографии, способствовали возникновению дальнейшей дискуссии между хирургами, как об оптимальной позиции трансплантата, так и о способах ее достижения.

В соответствии с поставленной целью и задачами было выполнено диссертационное исследование, основанное на анализе результатов лечения 202-х пациентов, прооперированных в РНИИТО им. Р.Р. Вредена в период с 2012 по 2016 годы по поводу первичного разрыва передней крестообразной связки. Всем пациентам была выполнена реконструкция ПКС по различным методикам, но с

использованием однотипного сухожильного аутологичного трансплантата из сухожилий полусухожильной и нежной мышц.

Пациенты были разделены на 4 основные группы в зависимости от техники реконструкции ПКС. Критерии включения и исключения из исследования позволили получить сравнимые группы по всем основным критериям оценки, что было подтверждено проведенным статистическим анализом. Единственным значимым различием между группами была локализация костных туннелей и способ их формирования.

Поскольку предметом исследования было выявление особенностей функционирования трансплантата ПКС после различных методов реконструкции, то пациенты с его разрывами в послеоперационном периоде не были включены в сравнительное исследование. Так, из дальнейшего анализа в связи с разрывами трансплантата (по данным анамнеза или контрольной МРТ) были исключены 9 пациентов из 1-й группы, 5 – из 2-й группы и 1 – из 4-й группы. Кроме того у 1 больного из 3-й группы возник послеоперационный гонит, из-за чего он также был исключен из дальнейшего наблюдения. В итоге, в окончательной выборке пациентов, подвергшихся исследованию, было  $202 - 16 = 186$  больных.

Из всех 202-х наблюдавшихся больных мужчин было 157 и 45 женщин, средний возраст пациентов составил  $28,6 \pm 6,0$  лет. Данные анамнеза показали, что среди всех больных наиболее часто повреждения ПКС происходили во время игровых видов спорта (43%), в 27% случаев – вследствие бытовых травм (падение с высоты, на неровной или скользкой поверхности), у 17% пациентов разрывы возникли во время единоборств, у 10% – во время катания на горных лыжах или сноуборде и у 3% – при ДТП. Изолированные разрывы ПКС встречались в 21% случаев. У 37% пациентов был поврежден медиальный мениск, у 20% – латеральный и у оставшихся 22% больных были повреждены оба мениска.

Проведенный в соответствии с первой задачей анализ среднесрочных анатомо-функциональных исходов чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС (1-я группа, 88 наблюдений) показал следующее.

Полученные данные трехмерной реконструкции компьютерных томограмм коленного сустава, выполненных у 54-х пациентов, показали, что центр внутрисуставного конца большеберцового туннеля, согласно методу анатомических координатных осей, располагался в точке, соответствующей  $45,7 \pm 5,5\%$  по оси d и  $45,2 \pm 2,3\%$  по оси w. Такая позиция является проекцией центральной или задней трети зоны анатомического прикрепления ПКС.

При оценке положения центра бедренного туннеля с использованием квадрантного метода Бернарда и Хертеля, было выявлено, что он располагался в точке, соответствующей  $40,1 \pm 6,1\%$  по оси t и  $15,1 \pm 4,9\%$  по оси h. У 32-х больных (59%), выделенных в подгруппу 1А, центр бедренного туннеля находился кпереди от ЛМГ, т.е. в не анатомичном положении. У остальных 22-х пациентов (31%), составивших подгруппу 1Б, он находился в пределах проксимальной трети ЛМГ. Данную позицию расценивали как частично анатомичную, т.к. при разогнутом коленном суставе трансплантат ПКС будет прилежать к передней стенке костного туннеля, которая у всех пациентов данной группы находилась кпереди от зоны анатомического прикрепления ПКС. Выявленные различия в позиции бедренного туннеля послужили поводом для изучения влияния его положения на клинические результаты.

В целом, проведенное очное клиническое обследование, выполненное у 54 пациентов 1-й группы, показало, что согласно шкале IKDC-2000 к категории «А – норма» было отнесено 20 (37%) больных, к категории «В – близко к норме» – 22 (41%) и к категории «С – отклоняющиеся от нормы» – 12 (22%). Данные клинических тестов, отражающих функцию трансплантата, также были не оптимальными. Смещение голени относительно бедра по результатам мануальных тестов «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана было в пределах от 0 до 2 мм (–) у 25 пациентов (46%), от 3 до 5 мм (+) - у 21(39%), от 6 до 10 мм (++) - в остальных 8 случаях (15%). «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 22 пациентов (41%), скользящим (+) – у 20 (37%) и явным (++) – у остальных 12 (22%). По данным артрометрии увеличение переднего смещения голени относительно бедра было на  $3,4 \pm 2,6$  мм больше, чем на здоровой стороне.

Проведенный ретроспективный сравнительный анализ среднесрочных (от 2-х до 5-и лет) результатов чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС с выявленной по КТ не анатомической позицией (подгруппа 1А, 32 наблюдения) и с частично анатомической позицией бедренного туннеля (подгруппа 1Б, 22 наблюдения) показал следующее.

1. Выполненный анализ основных демографических данных после распределения пациентов по группам не выявил статистически значимых различий, что позволило нам исключить влияние других факторов на итоговый результат.

2. При оценке положения большеберцового туннеля не было выявлено статистически значимых различий между подгруппами.

3. При статистическом анализе были выявлены значимые различия в локализации бедренного туннеля по оси t (в задне-переднем направлении). Так, у пациентов подгруппы 1А он располагался в точке, находящейся в  $43,4 \pm 0,6\%$  по оси t и в  $14,8 \pm 0,9\%$  по оси h. В подгруппе 1Б центр бедренного туннеля находился в  $34,4 \pm 0,8\%$  по оси t и в  $17,8 \pm 0,8\%$  по оси h, соответственно.

4. Данные субъективной клинической оценки были несколько выше у пациентов подгруппы 1Б, однако статистически значимого уровня они достигали лишь при использовании шкалы Lysholm.

5. Данные объективного обследования были существенно выше у больных с частично анатомической позицией бедренного туннеля (подгруппа 1Б), причем эти различия были статистически значимыми ( $p < 0,05$ ).

Действительно, по данным функционального (объективного) раздела шкалы IKDC-2000, среди пациентов подгруппы 1А (32 наблюдения) к категории «А – норма» были отнесены 6 больных (19%), к категории «В – близко к норме» – 16 (50%) и к категории «С – отклоняющиеся от нормы» – 10 (31%). Среди пациентов подгруппы 1Б (22 наблюдения) к категории «А» были отнесены 14 больных (64%), к «В» – 6 (27%) и к «С» – 2 (9%). Показатели клинических тестов оценки функции трансплантата ПКС также были значительно выше у пациентов подгруппы 1Б. В частности, в подгруппе 1А отрицательные тесты «переднего



выдвижного ящика» и Лахмана наблюдались у 10 пациентов (31%), слабо положительные (+) – у 15 больных (47%), и явно положительные (++) – у 7 (22%), в то время как в подгруппе 1Б – у 15 (68%), у 6 (27%) и у 1 (5%), соответственно. В подгруппе 1А «Pivot-shift» тест был отрицательным (–) у 7 пациентов (22%), скользящим (+) у 15 (47%) и явным (++) у 10 (31%), в подгруппе 1Б – у 15 (68%), у 5 (23%) и у 2 (9%), соответственно. По данным артрометрии увеличение переднего смещения голени относительно бедра по сравнению с неповрежденной стороной было больше на  $2,4 \pm 0,4$  мм у пациентов подгруппы 1А и  $1,2 \pm 0,3$  мм – у больных подгруппы 1Б.

Таким образом, было установлено, что среднесрочные клинические результаты чрезбольшеберцовой реконструкции ПКС в целом были не оптимальными и характеризовались значительной долей пациентов с проявлениями симптомов функциональной нестабильности коленного сустава. В частности, тест «Pivot-shift» + (скользящий) и ++ (явный) был выявлен в 59% (37% и 22%, соответственно) случаев. Кроме того, в группе больных (22 из 54 (40,7%) наблюдений), которым удавалось выполнить бедренный туннель в частично анатомичной проксимальной позиции, наблюдались значительно более высокие функциональные результаты по сравнению с больными, имеющими «не анатомичный» бедренный туннель. Так, к категории «А – норма» по шкале IKDC-2000 были отнесены 64% пациентов из подгруппы 1Б, против 19% – из подгруппы 1А.

Далее, в связи с полученными сведениями, было предпринято изучение возможных вариантов формирования туннелей и поиск условий, необходимых для достижения анатомического положения трансплантата с помощью чрезбольшеберцовой техники. В результате анализа компьютерных моделей формирования костных туннелей, выполненных на предоперационном этапе у 20 пациентов с повреждениями ПКС, было определено следующее.

1. При расположении большеберцового туннеля в переднемедиальной части прикрепления ПКС в 80% случаев возникал «импиджмент» трансплантата с крышей межмышцелковой вырезки бедренной кости, причем длина туннеля во

всех случаях была менее 30 мм. При расположении выхода большеберцового туннеля в центральной или заднелатеральной части прикрепления ПКС ни в одном случае не возникало «импиджмента», причем длина центрального туннеля была больше 30 мм у 70% обследованных больных, а длина расположенного в заднелатеральной части туннеля – во всех случаях.

2. Возможность чрезбольшеберцового размещения бедренного туннеля в анатомической позиции определялась как стартовой позицией и местом выхода большеберцового туннеля, так и размерами ЛМБК.

3. Рациональное анатомическое размещение трансплантата, а именно, в центре на большеберцовой кости и в проксимальной части на бедренной, было возможным не у всех больных (у 14 из 20) и только при наличии определенных условий. Необходимыми условиями для выполнения анатомической чрезбольшеберцовой реконструкции были следующие. 1. Угол наклона большеберцового туннеля  $47 \pm 9,7^\circ$  во фронтальной и  $53,5 \pm 7^\circ$  в сагиттальной плоскостях, стартовая точка для формирования туннеля – на  $22,8 \pm 4,1$  мм ниже плато большеберцовой кости и на  $14,8 \pm 2,7$  мм кнутри от ее бугристости. 2. Сочетание глубины внутренней стенки ЛМБК менее 33 мм и высоты более 14,5 мм.

Принимая во внимание ограниченность чрезбольшеберцовой техники, хирурги РНИИТО начали применять известный способ переднемедиальной техники реконструкции ПКС, который был опубликован докторами С.Н Brown и Т. Spalding в практическом руководстве компании Smith&Nephew в 2012 году. Особенности данного способа являлись: 1) использование для лучшей визуализации и формирования бедренного туннеля дополнительного (второго) переднемедиального артроскопического доступа; 2) сверление туннелей в центре анатомического прикрепления, т.е. с захватом обоих функциональных пучков ПКС и 3) разметка центра бедренного туннеля с использованием анатомических ориентиров и специальной линейки.

Накопленный опыт позволил провести ретроспективный анализ среднесрочных результатов применения данного способа переднемедиальной

техники реконструкции ПКС (2-я группа, 52 пациента, из них 41 прошел углубленное очное обследование). По данным анамнеза, разрыв ПКС был выявлен у 1-го больного и по данным очного обследования (МРТ и клинически) – еще у 4-х. Поэтому дальнейшему анализу подверглись 37 пациентов.

Проведенная КТ оценка положения туннелей показала следующее. 1. Центр большеберцового туннеля располагался в точке, соответствующей  $39,6 \pm 4,1\%$  по оси d и  $45,6 \pm 2,1\%$  по оси w, что совпадает с проекцией центральной или передней трети прикрепления ПКС. 2. Центр бедренного туннеля находился в точке, соответствующей  $38,7 \pm 6,2\%$  по оси t и  $33,3 \pm 6,7\%$  по оси h, что совпадает с центром прикрепления ПКС. 3. Были выявлены значительные различия в локализации бедренного туннеля, по-видимому, из-за ошибок при его разметке.

По данным функциональной шкалы IKDC-2000 из 37 обследованных пациентов 2-й группы к категории «А – норма» были отнесены 17 (46%), к категории «В – близко к норме» – 11 (30%) и к «С – отклоняющиеся от нормы» – 9 (24%). Тесты «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана были отрицательными у 18 пациентов (49%), + (от 3 до 5 мм) – у 12 (32%) и ++ (от 6 до 10 мм) – у 7 (19%). «Pivot-shift» тест был отрицательным у 18 пациентов (49%), скользящим – у 10 (27%), и явным – у 9 (24%). Артрометрия показала увеличение переднего смещения голени на  $3,1 \pm 2,7$  мм по сравнению со здоровой стороной.

Проведенный сравнительный анализ полученных результатов чрезбольшеберцовой и центрально-анатомичной переднемедиальной реконструкций показал следующее. 1. По частоте разрывов трансплантата (10,2% и 9,6%, соответственно) статистически значимых различий не выявлено. 2. В положении костных туннелей на большеберцовой и бедренной кости были выявлены статистически значимые различия. Так, при чрезбольшеберцовой технике большеберцовый туннель соответствовал средней или заднелатеральной трети прикрепления ПКС, тогда как при переднемедиальной технике – переднемедиальной или центральной трети. Бедренный туннель при чрезбольшеберцовой технике обычно был расположен впереди от проксимальной части прикрепления ПКС, а при переднемедиальной технике – в пределах центра

или заднелатеральной части анатомического прикрепления. 3. При клиническом обследовании (как субъективной, так и объективной оценке) статистически значимых различий между группами выявлено не было. В исследованной выборке примерно у половины пациентов из обеих групп сохранялись остаточные явления неустойчивости коленного сустава.

Данные проведенного анализа, а также выявленные недостатки в использовании известных техник позиционирования бедренного туннеля послужили основанием для разработки собственного варианта переднемедиальной техники реконструкции ПКС, при котором бедренный туннель будет размещаться в проксимально-анатомичной, вероятно, наиболее благоприятной позиции.

Обоснованием для разработки нового способа формирования бедренного туннеля были следующие заключения. Согласно известным данным передней границей бедренного прикрепления ПКС является ЛМГ, который у большинства больных располагается на расстоянии от 7 до 10 мм от заднего края хряща латерального мыщелка бедренной кости. Причем, наиболее важные в функциональном плане волокна ПКС прикрепляются по его краю. Задняя граница прикрепления волокон располагается на расстоянии 3–4 мм от заднего края хряща ЛМБК. Наиболее изометричной частью анатомического прикрепления ПКС на бедре полагают проксимальную треть. Поэтому позиция центра бедренного туннеля, по-видимому, должна быть в такой области ЛМБК, чтобы в результате рассверливания весь туннель находился в пределах анатомичного и одновременно наиболее изометричного места прикрепления ПКС. Таким образом, хирург может получить выгодный компромисс между анатомичным и изометричным положением бедренного конца трансплантата ПКС.

Для размещения трансплантата в проксимальной, наиболее изометричной зоне бедренного прикрепления ПКС, надо выполнить туннель так, чтобы (при разметке в положении коленного сустава под углом  $90^\circ$ ) его задняя стенка была на 3–4 мм кпереди от верхнего конца и нижнего края задней части хряща ЛМБК. Тогда передняя стенка туннеля, к которой при обычных условиях

функционирования сустава будет прижиматься трансплантат ПКС, окажется в зоне проксимальной трети ЛМГ. В качестве постоянной референтной линии мы выбрали линию, идущую вдоль заднего края хряща ЛМБК до наиболее верхней его точки. Этот задневерхний контур ЛМБК и переход хряща в кость можно отчетливо визуализировать во время операции. Артроскопическое наблюдение лучше всего вести через верхний переднемедиальный доступ, придав коленному суставу положение сгибания под углом  $90^\circ$ . Тогда переднелатеральный доступ можно использовать для введения прицельного устройства, а нижний переднемедиальный доступ – для маркировки центра будущего туннеля шилом и в дальнейшем – для сверления. Для повышения эффективности решения поставленных технических задач было разработано прицельное устройство, предназначенное для определения места формирования бедренного костного туннеля в проксимально-анатомичной позиции.

Устройство представляет собой S-образно изогнутую пластину шириной 6 мм. Особенностью устройства является то, что оно имеет изгибы, повторяющие рельеф внутренней поверхности латерального мыщелка бедренной кости, а также симметричные относительно центра рабочие концы устройства, что позволяет его применять как для левого, так и для правого коленного суставов. На обоих рабочих концах имеются зубцы для точной ориентации относительно заднего суставного края латерального мыщелка бедренной кости. Плавное сужение рабочей части позволяет улучшить визуализацию заднего контура хряща. На концах рабочих частей имеются пазы для плотной посадки кончика шила на расстоянии 7 и 9 мм от заостренного зубца для разных диаметров трансплантата (от 7 до 9 и более мм). Пазы были сделаны, чтобы улучшить визуализацию, а также повысить стойкость инструмента к износу (вместо миллиметровой разметки на известной гладкой линейке). Углубления промаркированы фрезой, но если цифры со временем станут малозаметными, то не трудно запомнить, что первый от центра паз соответствует 9 мм, второй – 7 мм, между ними – 8 мм от заднего края хряща ЛМБК. Заостренный конец зубца на окончании рабочей части инструмента позволяет зафиксировать устройство на медиальной стенке ЛМБК во

время работы. На разработанное прицельное устройство и способ его применения был получен патент РФ на изобретение № 2655079 от 23.05.2018г. (в соавторстве с О.Е. Богопольским и А.П. Трачуком).

Разработанный способ переднемедиальной техники реконструкции ПКС осуществляли следующим образом. В ходе артроскопической операции полноценно визуализировали медиальную стенку ЛМБК, после чего формировали дополнительный нижний переднемедиальный портал непосредственно над передним рогом медиального мениска. Далее переводили артроскоп из переднелатерального в верхний переднемедиальный доступ и устанавливали коленный сустав под углом  $90^\circ$ . Через переднелатеральный доступ в сустав вводили один из рабочих концов (для правого или левого сустава) прицельного устройства для определения центра будущего бедренного туннеля. Устройство располагали таким образом, чтобы зубец, загнутый перпендикулярно, соответствовал верхнему концу заднего края хряща ЛМБК, а зубец, направленный вниз совпадал с нижним краем хряща. Далее путем надавливания на тело устройства внедряли перпендикулярный зубец в хрящ для фиксации и исключения миграции во время дальнейшей работы. Затем введенное через дополнительный переднемедиальный доступ изогнутое шило устанавливали в один из пазов, который соответствовал диаметру трансплантата и путем надавливания на него формировали углубление в мышелке бедренной кости. После разметки центра туннеля из сустава удаляли направляющее устройство и шило, а в углубление в кости устанавливали ориентирующую спицу через дополнительный переднемедиальный доступ при помощи направителя без выноса. Затем производили сгибание в коленном суставе до угла  $130-140^\circ$  и проводили спицу насквозь. Не меняя положения в коленном суставе, по спице формировали сквозной туннель в ЛМБК сверлом диаметром 4,5 мм и измеряли его длину. Повторно через туннель проводили спицу с ушком насквозь из дополнительного переднемедиального портала на наружную поверхность бедра. По спице рассверливали слепой туннель диаметром, соответствующим диаметру трансплантата. При данной методике мы во всех случаях использовали для

крепления бедренного конца трансплантата систему подвешивающей фиксации с непрерывной петлей длиной 15 мм. Поэтому длину толстой части туннеля определяли, вычитая из длины сквозной (тонкой) части туннеля 7 мм. Например: сквозной тонкий туннель длиной 40 мм, длина петли «Endobutton» 15 мм;  $40 \text{ мм} - 15 \text{ мм} = 25 \text{ мм} + 8 \text{ мм}$  (на разворот) = 33 мм (длина толстого туннеля). Или  $40 - 7 = 33 \text{ мм}$ . Завершая формирование бедренного туннеля, очищали его от костной стружки и с помощью спицы с ушком вводили в него петлю из шовной нити, концы которой выводили на кожу. Следующим этапом формировали большеберцовый туннель по общепринятой методике в центре прикрепления ПКС, через который затем выводили конец шовной петли из сустава. Завершали операцию проведением, натяжением и фиксацией трансплантата ПКС по общепринятой методике («Endobutton» на бедренной и интерферентный винт на большеберцовой кости).

Данный модифицированный способ переднемедиальной техники реконструкции ПКС был апробирован при лечении пациентов 4-й группы. Проведенный далее проспективный анализ ближайших анатомо-функциональных результатов традиционной чрезбольшеберцовой (3-я группа, 20 наблюдений) и модифицированной переднемедиальной техники (4-я группа, 40 наблюдений) реконструкции ПКС показал следующее.

1. При изучении трехмерных компьютерных изображений костных туннелей было установлено, что у пациентов 3-й (чрезбольшеберцовой) группы центр большеберцового туннеля располагался в точке, соответствующей  $44,9 \pm 5,6\%$  по оси d и  $44,4 \pm 3,2\%$  по оси w, что совпадало с проекцией центральной или задней трети места прикрепления ПКС. Центр бедренного туннеля находился в точке, соответствующей  $41,5 \pm 7,2\%$  по оси t и  $12,4 \pm 4,5\%$  по оси h, что означало его расположение впереди от проксимальной трети прикрепления ПКС. У пациентов 4-й группы большеберцовый туннель находился в точке, соответствующей  $41,6 \pm 2,5\%$  по оси d и  $45,6 \pm 1,6\%$  по оси w, что совпадало с центральной частью прикрепления ПКС. Центр бедренного туннеля находился в точке, соответствующей  $29,9 \pm 3,0\%$  по оси t и  $30,0 \pm 4,0\%$  по оси h,

т.е. в пределах переднемедиальной части или зоны между переднемедиальной и центральной частями прикрепления ПКС. Причем, среди больных данной группы не было выявлено существенных ошибок при разметке бедренного туннеля. Различия между группами по данным локализации бедренного туннеля были статистически значимыми ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, во-первых, бедренный туннель после чрезбольшеберцовой техники находился либо в крыше межмышечковой вырезки, либо в месте ее перехода в задневерхнюю часть боковой стенки ЛМБК, т.е. – кпереди от проксимальной части места прикрепления ПКС, и, во-вторых, предложенный вариант переднемедиальной техники позволял поместить бедренный туннель точно в выбранном проксимально-анатомическом месте прикрепления ПКС.

2. Проведенное клиническое обследование в дооперационном периоде выявило значительные нарушения функции у всех больных, обусловленные проявлениями нестабильности поврежденного коленного сустава, причем, различия между группами не были статистически значимыми.

3. Динамическое наблюдение за больными показало, что восстановление функции поврежденной конечности происходило постепенно в течение, по крайней мере, 12 месяцев после операции. Причем, у больных 4-й группы к концу срока наблюдения были достигнуты статистически значимые более высокие показатели восстановления функциональной стабильности коленного сустава (как субъективные, так и объективные).

4. По данным итогового обследования лучшие клинические результаты были достигнуты у пациентов 4-й группы, причем различия были статистически значимыми ( $p < 0,01$ ). Так, по данным шкалы функциональной оценки коленного сустава IKDC-2000, среди пациентов 3-й группы (20 наблюдений) к категории «А – норма» были отнесены 7 больных (35%), к «В – близко к норме» – 10 (50%) и к «С – отклоняющиеся от нормы» – 3 (15%). Среди пациентов 4-й группы (40 наблюдений) категории «А» соответствовали 35 больных (88%) и остальные 5 (12%) – категории «В». Клинические тесты оценки функции трансплантата ПКС также были лучше у пациентов 4-й группы. Так, в 3-й группе отрицательные



тесты «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана наблюдались у 8 больных (31%), слабо положительные (+) – у 10 (47%), и явно положительные (++) – у 2 (10%), в то время как среди пациентов 4-й группы они были отрицательными у 35 (88%) и слабо положительными (+) у остальных 5 (12%). «Pivot-shift» тест в 3-й группе был отрицательным (-) у 7 (35%), скользящим (+) – у 10 (50%) и явным (++) – у 3 пациентов (15%), в 4-й группе он был отрицательным у 35 (88%) и скользящим (+) у остальных 5 больных (12%). По данным артрометрии увеличение переднего смещения голени относительно бедра было больше, чем на здоровой стороне на  $3,3 \pm 2,6$  мм у пациентов 3-й группы и на  $1,2 \pm 1,4$  мм – у пациентов 4-й группы.

5. Проведенное динамическое МРТ-наблюдение за состоянием сухожильного ауто трансплантата ПКС показало, что на протяжении всех 12 месяцев происходило изменение интенсивности сигнала от трансплантата ПКС. По-видимому, это было связано с постепенным восстановлением его кровоснабжения и изменением физико-химических свойств, что в иностранной литературе обозначают термином «лигаментизация». На 3-5-е сутки и через 3 месяца после операции в обеих группах ауто трансплантат выглядел однородным и гипоинтенсивным по сравнению с сигналом от нормальной связки. После 3-х месяцев в 3-й группе происходило постепенное увеличение его интенсивности сигнала, однако до 12 месяцев у большинства пациентов она так и не достигала нормы. У пациентов 4-й группы после 6 месяцев после операции было отмечено резкое увеличение интенсивности сигнала трансплантата ПКС, которая затем снизилась и в большинстве случаев соответствовала показателям нормы к 12 месяцам послеоперационного периода.

6. По данным МРТ расширение бедренного туннеля к концу 12 месяцев наблюдалось у пациентов обеих групп, однако оно было более выраженным (примерно на 20–25%) в 3-й группе по сравнению с 4-й, что могло быть следствием большей степени раскачивания не анатомично расположенного трансплантата.

Затем был изучен накопленный опыт использования переднемедиальной техники независимого формирования туннелей при реконструкции ПКС и выполнен сравнительный анализ результатов использования двух вариантов размещения бедренного туннеля – в центрально-анатомичной и проксимально-анатомичной позиции. В результате было установлено следующее.

1. Большеберцовый туннель в обеих исследуемых группах (2-й и 4-й) находился в центральной или в переднемедиально-центральной части прикрепления ПКС, причем статистически значимых различий по данному признаку между группами выявлено не было. Так, у пациентов 2-й группы он располагался в точке, соответствующей  $39,6 \pm 4,1\%$  по оси d и  $45,6 \pm 2,1\%$  по оси w, у больных 4-й группы – в  $41,6 \pm 2,5\%$  и  $45,6 \pm 1,6\%$ , соответственно.

2. Выявленные различия в позиции бедренного туннеля были статистически значимыми. У пациентов 2-й группы он находился в точке, соответствующей  $38,7 \pm 6,2\%$  по оси t и  $33,3 \pm 6,7\%$  по оси h, у пациентов 4-й группы – в  $29,9 \pm 3,0\%$  по оси t и  $30,0 \pm 4,0\%$ , соответственно. Причем, при разметке бедренного туннеля в проксимальной части ПКС с помощью собственного способа, т.е. ориентируясь на задневерхний край хряща ЛМБК и используя оригинальное прицельное устройство, удалось практически у всех больных сформировать туннель в желаемом месте.

3. Клинические результаты были выше у больных 4-й группы, причем различия между группами были статистически значимыми по всем (субъективным и объективным) показателям.

В частности, у больных 2-й группы (37 наблюдений) мануальные тесты «переднего выдвигающего ящика» и Лахмана были отрицательными (–) у 18 пациентов (49%), слабо положительными (+) – у 12 (32%) и явно положительными (++) – у 7 (19%), в то время как, среди пациентов 4-й группы (40 наблюдений) они были отрицательными у 35 (88%) и слабо положительными (+) у остальных 5 (12%). «Pivot-shift» тест во 2-й группе был отрицательным (–) у 18 больных (49%), скользящим (+) – у 10 (27%) и явным (++) – у 9 (24%), в 4-й

группе он был отрицательным у 35 пациентов (88%) и скользящим (+) – у остальных 5 (12%).

По данным функциональной шкалы IKDC-2000 среди больных 2-й группы к категории «А – норма» были отнесены 17 (46%), к «В – близко к норме» – 11 (30%) и к «С – отклоняющиеся от нормы» – 9 (24%). Среди пациентов 4-й группы к категории «А» были отнесены 35 (88%) и остальные 5 (12%) - к категории «В».

Таким образом, выполненное диссертационное исследование, посвященное изучению технических особенностей и анализу анатомо-функциональных результатов различных методик реконструкции ПКС, позволило получить достоверные факты, свидетельствующие о преимуществе такого варианта переднемедиальной техники, при котором костные туннели будут сформированы в «анатомично-изометричных» зонах прикрепления ПКС, т.е. в проксимально-анатомичной позиции на бедренной и переднемедиально-центральной позиции на большеберцовой кости. Кроме того, был разработан и апробирован в клинике собственный способ (и прицельное устройство) для рациональной разметки бедренного туннеля. Основные итоги проведенной работы представлены далее в выводах и практических рекомендациях.

## ВЫВОДЫ

1. Применение чрезбольшеберцовой техники реконструкции передней крестообразной связки приводит к появлению значительной группы пациентов с отличающимися от нормы среднесрочными результатами (63% соответствовали категориям «В» и «С» по шкале IKDC-2000) и с клиническими признаками функциональной нестабильности коленного сустава (59% положительных показателей «Pivot-shift» теста) вследствие не анатомичного положения бедренного туннеля. Причем, у 40,7% пациентов, имевших бедренный туннель в частично анатомичной проксимальной позиции, получены более высокие результаты (64% соответствовали категории «А» по шкале IKDC-2000), чем у пациентов с полностью не анатомичной его локализацией (19%). Относительный риск возникновения остаточной нестабильности коленного сустава при не анатомичной позиции бедренного туннеля в сравнении с частично анатомичной его локализацией составляет  $RR=2,2$  ( $p < 0,001$ ).

2. Использование компьютерного моделирования с трехмерной КТ-визуализацией при чрезбольшеберцовом проектировании костных туннелей позволило разместить их в местах анатомического прикрепления передней крестообразной связки только в 70% наблюдений и лишь при соблюдении определенных (технических и анатомических) условий, которые трудно достичь в клинической практике.

3. Применение центрально-анатомичного варианта переднемедиальной техники позволило сформировать бедренный туннель в центре прикрепления передней крестообразной связки (с захватом обоих функциональных пучков), однако не привело к значимому улучшению среднесрочных клинических результатов по сравнению с чрезбольшеберцовой техникой и характеризовалось наличием примерно у половины пациентов остаточных явлений неустойчивости коленного сустава (51% положительных показателей «Pivot-shift» теста).

4. Разработанный и апробированный на 41 больном собственный вариант переднемедиальной техники реконструкции передней крестообразной связки (особенностями которого были: а) разметка бедренного туннеля в

проксимально-анатомичной позиции, б) использование задневерхнего края хряща ЛМБК в качестве ориентира и в) применение оригинального прицельного устройства) позволил выполнить бедренный туннель точно в выбранном, наиболее изометричном участке прикрепления связки.

5. Изменения состояния аутотрансплантата передней крестообразной связки и размеров бедренного туннеля (по данным МРТ) происходят у всех больных, по крайней мере, на протяжении 12 месяцев после операции, причем их характер был более благоприятным у пациентов с проксимально-анатомичной позицией бедренного туннеля.

6. Среди исследованных чрезбольшеберцовой и двух вариантов переднемедиальной техник реконструкции передней крестообразной связки наиболее эффективным является модифицированный способ (категории «А» шкалы IKDC-2000 соответствовали 88% пациентов, «В» - остальные 12%), при котором костные туннели выполняют в «анатомично-изометричных» зонах прикрепления ПКС, т.е. в проксимально-анатомичной позиции на бедренной и переднемедиально-центральной части на большеберцовой кости. Относительный риск возникновения остаточной нестабильности коленного сустава в сравнении с проксимально-анатомичной переднемедиальной техникой при чрезбольшеберцовой методике формирования туннелей составляет  $RR=5,2$  ( $p < 0,001$ ), а при центрально-анатомичной переднемедиальной –  $RR=4,1$  ( $p < 0,05$ ).

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Реконструкция передней крестообразной связки с использованием чрезбольшеберцовой техники может быть эффективной при условии, что большеберцовый туннель будет проведен под углом  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$  от вертикали во фронтальной плоскости, а также, что глубина латерального мыщелка бедренной кости будет менее 33 мм.

2. При реконструкции передней крестообразной связки независимое формирование костных туннелей является предпочтительным, в том числе использование переднемедиальной техники с дополнительным нижним медиальным доступом.

3. Бедренный туннель необходимо размещать в проксимальной части анатомического прикрепления передней крестообразной связки, а большеберцовый туннель – в месте между переднемедиальной частью и центром. Для снижения риска ошибок и повышения точности при внутрисуставной разметке бедренного туннеля целесообразно использовать артроскопическую линейку или предложенное прицельное устройство и способ.

4. Для диагностики повреждений передней крестообразной связки и оценки состояния трансплантата необходимо использовать специальные протоколы МРТ-исследования, которые включают стандартные и косые проекции.

5. Для снижения риска рецидива нестабильности после аутопластики передней крестообразной связки сухожильным трансплантатом целесообразно ограничить величину функциональных нагрузок и занятия контактными видами спорта на срок до 1 года.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ЗКС – задняя крестообразная связка

ИС – интенсивность сигнала

КТ – компьютерная томография

ЛБГ – латеральный бифуркационный гребень

ЛМБК – латеральный мыщелок бедренной кости

ЛМГ – латеральный межмышцелковый гребень

МРТ – магнитно-резонансная томография

ПКС – передняя крестообразная связка

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксенов, С.Ю. Артроскопическая пластика передней крестообразной связки сухожилиями подколенных сгибателей. Сравнение протоколов антикоагулянтной терапии / С.Ю. Аксенов, А.В. Королев, Д.О. Герасимов [и др.] // Медицинский совет. – 2014. – № 8. – С. 54-59.
2. Загородний, Н.В. Использование компьютерной навигации при реконструкции передней крестообразной связки / Н.В. Загородний, И.И. Радыш, А.С. Неверкович // Технологии живых систем. – 2011. – № 3. – С. 15-19.
3. 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 им. И.И. Грекова. – 2017. – № 2. – С. 77-82.
4. Кавалерский, Г.М. Современные аспекты артроскопической реконструкции передней крестообразной связки / Г.М. Кавалерский, А.Д. Ченский, А.А. Сорокин [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2014. – № 1. – С. 10-14.
5. Карасева, Т.Ю. Артроскопические технологии лечения больных с нестабильностью коленного сустава / Т.Ю. Карасева, Е.А. Карасев // Гений ортопедии. – 2013. – № 4. – С. 38-43.
6. Королев, А.В. Взаимосвязь положения костных каналов при артроскопической пластике передней крестообразной связки, интраоперационных пожеланий хирурга и антропометрических данных пациента / А.В. Королев, Н.Е. Магнитская, М.С. Рязанцев [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2016. – № 1. – С. 85-95.
7. 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.
8. Маланин, Д.А. Формирование бедренного тоннеля при артроскопической пластике передней крестообразной связки с использованием референтных анатомических структур межмышцелковой ямки / Д.А. Маланин, И.А. Сучилин, М.В. Демещенко [и др.] // Травматология и ортопедия России – 2013. – № 3. – С. 22-28.
9. 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 ВолгГМУ. – 2015. – № 1. – С. 43-46.



10. Миронов, С.П. Оперативное лечение повреждений крестообразных связок коленного сустава (ретроспективный анализ) / С.П. Миронов, З.С. Миронова, А.К. Орлецкий // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2001. – № 2. – С. 51-55.
11. Прохоренко, В.М. Хирургическое лечение нестабильности коленного сустава (обзор литературы) / В.М. Прохоренко, С.М. Фоменко, Р.О. Симагаев // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 1. – С. 60-68.
12. Рыбин, А.В. Применение обогащенной тромбоцитами плазмы для стимуляции биопластических процессов после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава (обзор литературы) / А.В. Рыбин, И.А. Кузнецов, Г.И. Нетылько [и др.] // Травматология и ортопедия России – 2015. – № 3. – С. 22-28.
13. Сучилин, И.А. Референтные анатомические структуры межмышцелковой ямки бедренной кости при пластике передней крестообразной связки / И.А. Сучилин, Д.А. Маланин, А.И. Краюшкин // Травматология и ортопедия России – 2012. – № 3. – С. 67-72.
14. Трачук, А.П. Ревизионные операции после реконструкции передней крестообразной связки / А.П. Трачук, Р.М. Тихилов, Т.В. Серебряк [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 2. – С. 285.
15. 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.
16. Ahn, J.H. Measurement of the graft angles for the anterior cruciate ligament reconstruction with transtibial technique using postoperative magnetic resonance imaging in comparative study / J.H. Ahn, S.H. Lee, J.C. Yoo [et al.] // Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc. – 2007. – Vol. 15, N 11. – P. 1293-1300.
17. Ahn, J.H. Magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled hamstring tendon autografts: comparison of remnant bundle preservation and standard technique / J.H. Ahn, S.H. Lee, S.H. Choi [et al.] // Am. J. Sports Med. – 2010. – Vol. 38, N 9. – P. 1768-1777.
18. Ajuied, A. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis / A. Ajuied, F. Wong, C. Smith [et al.] // Am. J. Sports Med. – 2014. – Vol. 42, N 9. – P. 2242-2252.
19. Alavekios, D. The relation between knee flexion angle and anterior cruciate ligament femoral tunnel characteristics: a cadaveric study comparing a standard and a far anteromedial portal / D. Alavekios, A. Peterson, J. Patton [et al.] // Arthroscopy – 2014. – Vol. 30, N 11. – P. 1468-1474.
20. Alentorn-Geli, E. The transtibial versus the anteromedial portal technique in the arthroscopic bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction / E. Alentorn-Geli, F.

Lajara, G. Samitier [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2010. – Vol. 18, N 8. – P. 1013-1037.

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

22. Amis, A.A. Isometricity and graft placement during anterior cruciate ligament reconstruction / A.A. Amis, T.D. Zavras // *Knee.* – 1995. – Vol. 2, N 1. – P. 5-17.

23. Amis, A.A. Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting / A.A. Amis, R.P. Jacob // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 1998. – Vol. 6, Suppl 1. – P. 2-12.

24. Anderson, A.F. Anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study of three surgical methods / A.F. Anderson, R.B. Snyder, A.B. Lipscomb Jr. // *Am. J. Sports Med.* – 2001. – Vol. 29, N 3. – P. 272-279.

25. Arms, S.W. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction / S.W. Arms, M.H. Pope, R.J. Johnson [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1984. – Vol. 12, N 1. – P. 8-18.

26. Araujo, P.H. ACL graft position affects in situ graft force following ACL reconstruction / P.H. Araujo, S. Asai, M. Pinto [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2015. – Vol. 97, N 1. – P. 1767-1773.

27. Araujo, P.H. Advances in the three-portal technique for anatomical single- or double-bundle ACL reconstruction / P.H. Araujo, C.F. van Eck, J.A. Macalena [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2011. – Vol. 19, N 18 – P. 1239-1242.

28. Ardern, C.L. Return-to-sport outcomes at 2 to 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery / C.L. Ardern, N.F. Taylor, J.A. Feller [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2012. – Vol. 40, N 1. – P. 41-48.

29. Arnold, M.P. Single-incision technique misses the anatomical femoral anterior cruciate ligament insertion: a cadaver study / M.P. Arnold, J. Kooloos, A. van Kampen // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2001. – Vol. 9, N 4. – P. 194-199.

30. Baek, G.H. Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and menisofemoral ligaments / G.H. Baek, G.J. Carlin, T.M. Vogrin [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1998. – N 357. – P. 205-211.

31. Barenus, B. Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial / B. Barenus, S. Ponzer, A. Shalabi [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2014. – Vol. 42, N 5. – P. 1049-1057.

32. Bedi, A. Effect of tibial tunnel position on stability of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction: is the tibial tunnel position most important? / A. Bedi, T. Maak, V. Musahl [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 2. – P. 366-373.
33. Bedi, A. Effect of tunnel position and graft size in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an evaluation of time-zero knee stability / A. Bedi, T. Maak, V. Musahl [et al.] // *Arthroscopy* – 2011. – Vol. 27, N 11. – P. 1543-1551.
34. Bernard, M. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method / M. Bernard, P. Hertel, H. Hornung [et al.] // *Am. J. Knee Surg.* – 1997. – Vol. 10, N 1. – P. 14-22.
35. 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. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 1. – P. 51-57.
36. Bird, J.H. Validation of a new technique to determine midbundle femoral tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography analysis / J.H. Bird, M.R. Carmont, M. Dhillon [et al.] // *Arthroscopy* – 2011. – Vol. 27, N 9. – P. 1259-1267.
37. Bohn, M.B. Rotational laxity after anatomical ACL reconstruction measured by 3-D motion analysis: a prospective randomized clinical trial comparing anatomic and nonanatomic ACL reconstruction techniques / M.B. Bohn, H. Sorensen, M.K. Petersen [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 12. – P. 3473-3481.
38. Brophy, R.H. Single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of conventional, central, and horizontal single-bundle virtual graft positions / R.H. Brophy, A.D. Pearle // *Am. J. Sports Med.* – 2009. – Vol. 37, N 7. – P. 1317-1323.
39. Brown, C.H. Jr. Medial portal technique for single-bundle anatomical Anterior Cruciate Ligament (ACL) reconstruction / C.H. Brown Jr., T. Spalding, C. Robb // *Int. Orthop.* – 2013. – Vol. 37, N 2. – P. 253-269.
40. Bylski-Austrow, D.I. Anterior cruciate ligament replacements: a mechanical study of femoral attachment location, flexion angle at tensioning, and initial tension / D. I. Bylski-Austrow, E. S. Grood, M. S. Hefzy [et al.] // *J. Orthop. Res.* – 1990. – Vol. 8, N 4. – P. 522-531.
41. Chalmers, P.N. Anteromedial versus transtibial tunnel drilling in anterior cruciate ligament reconstructions: a systematic review / P.N. Chalmers, N.A. Mall, B.J. Cole [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 7. – P. 1235-1242.
42. Chechik, O. An international survey on anterior cruciate ligament reconstruction practices / O. Chechik, E. Amar, M. Khashan [et al.] // *Int. Orthop.* – 2013. – Vol. 37, N 2. – P. 201-206.

43. Collette, M. Radiological method for preoperative determination of isometric attachment points of an anterior cruciate ligament graft / M. Collette, H. Mertens, M. Peters [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 1996. – Vol. 4, N 2. – P. 75-83.
44. Colombet, P. Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study / P. Colombet, J. Robinson, P. Christel [et al.] // *Arthroscopy* – 2006. – Vol. 22, N 9. – P. 984-992.
45. Colville, M.R. The significance of isometer measurements and graft position during anterior cruciate ligament reconstruction / M.R. Colville, R.R. Bowman // *Am. J. Sports Med.* – 1993. – Vol. 21, N 6. – P. 832-835.
46. Cooper, R.R. Tendon and ligament insertion. A light and electron microscopic study / R.R. Cooper, S. Misol // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1970. – Vol. 52, N 1. – P. 1-20.
47. Dodds, J.A. Anatomy of the anterior cruciate ligament: a blueprint for repair and reconstruction / J.A. Dodds, S.P. Arnoczky // *Arthroscopy* – 1994. – Vol. 10, N 2. – P. 132-139.
48. Driscoll, M.D. Comparison of 2 femoral tunnel locations in anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical study / M.D. Driscoll, G.P. Isabel Jr., M.A. Conditt [et al.] // *Arthroscopy* – 2012. – Vol. 28, N 10. – P. 1481-1489.
49. Duquin, T.R. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction / T.R. Duquin, W.M. Wind, M.S. Fineberg [et al.] // *J. Knee Surg.* – 2009. – Vol. 22, N 1. – P. 7-12.
50. Edwards, A. The attachments of the anteromedial and posterolateral fibre bundles of the anterior cruciate ligament. Part 2: femoral attachment / A. Edwards, A.M. Bull, A.A. Amis // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2008. – Vol. 16, N 1. – P. 29-36.
51. Feller, J.A. A randomized comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction / J.A. Feller, K.E. Webster // *Am. J. Sports Med.* – 2003. – Vol. 31, N 4. – P. 564-573.
52. Ferretti, M. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study / M. Ferretti, E.A. Levicoff, T.A. Macpherson [et al.] // *Arthroscopy* – 2007. – Vol. 23, N 3. – P. 278-283.
53. 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.
54. Ferretti, M. Bony and soft tissue landmarks of the ACL tibial insertion site: an anatomical study / M. Ferretti, D. Doca, S.M. Ingham [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2012. – Vol. 20, N 1. – P. 62-68.
55. Fleming, B. Isometric versus tension measurements. A comparison for the reconstruction of the anterior cruciate ligament / B. Fleming, B.D. Beynnon, R.J. Johnson [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1993. – Vol. 21, N 1. – P. 82-88.

56. Franceschi, F. Anteromedial portal versus transtibial drilling techniques in anterior cruciate ligament reconstruction: any clinical relevance? A retrospective comparative study / F. Franceschi, R. Papalia, G. Rizzello [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 8. – P. 1330-1337.
57. Fu, F.H. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a changing paradigm / F.H. Fu, C.F. van Eck, S. Tashman [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 3. – P. 640-648.
58. Fujimaki, Y. Quantitative in situ analysis of the anterior cruciate ligament: length, midsubstance cross-sectional area, and insertion site areas / Y. Fujimaki, E. Thorhauer, Y. Sasaki [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, N 1. – P. 118-125.
59. Furia, J.P. Isometry measurements in the knee with the anterior cruciate ligament intact, sectioned, and reconstructed / J.P. Furia, D.M. Lintner, P. Saiz [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1997. – Vol. 25, N 3. – P. 346-352.
60. Girgis, F.G. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis / F.G. Girgis, J.L. Marshall, A. Monajem // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1975. – N 106. – P. 216-231.
61. Gougoulias, N. ACL reconstruction: can the transtibial technique achieve optimal tunnel positioning? A radiographic study / N. Gougoulias, A. Khanna, D. Griffiths [et al.] // *Knee* – 2008. Vol. 15, N 6. – P. 486-490.
62. Guenther, D. Area of the tibial insertion site of the anterior cruciate ligament as a predictor for graft size / D. Guenther, S. Irrazaval, M. Albers [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2017. – Vol. 25, N 5. – P. 1576-1582.
63. Harner, C.D. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions / C.D. Harner, G.H. Baek, T.M. Vogrin [et al.] // *Arthroscopy* – 1999. – Vol. 15, N 7. – P. 741-749.
64. Hart, A. The apex of the deep cartilage: a landmark and new technique to help identify femoral tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction / A. Hart, Y. Han, P.A. Martineau // *Arthroscopy* – 2015. – Vol. 31, N 9. – P. 1777-1783.
65. Hefzy, M.S. Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. Part II: The anterior cruciate ligament / M.S. Hefzy, E.S. Grood, F.R. Noyes // *Am. J. Sports Med.* – 1989. – Vol. 17, N 2. – P. 208-216.
66. Heming, J.F. Anatomical limitations of transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction / J.F. Heming, J. Rand, M.E. Steiner // *Am. J. Sports Med.* – 2007. – Vol. 35, N 10. – P. 1708-1715.
67. Hofbauer, M. The concept of individualized anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction / M. Hofbauer, B. Muller, C.D. Murawski [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 6. – P. 979-986.

68. Hollis, J.M. The effects of knee motion and external loading on the length of the anterior cruciate ligament (ACL): a kinematic study / J.M. Hollis, S. Takai, D.J. Adams [et al.] // *J. Biomech. Eng.* – 1991. – Vol. 113, N 2. – P. 208-214.
69. Hussein, M. Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up / M. Hussein, C.F. van Eck, A. Cretnik [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2012. – Vol. 40, N 3. – P. 512-520.
70. Ibrahim, S.A.R. Intratunnel versus extratunnel autologous hamstring double-bundle graft for anterior cruciate ligament reconstruction. A comparison of 2 femoral fixation procedures / S.A.R. Ibrahim, S.A. Ghafar, Y. Marwan [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2015. – Vol. 43, N 1. – P. 161-168.
71. Imhauser, C. Abnormal tibiofemoral contact stress and its association with altered kinematics after center-center anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro study / C. Imhauser, C. Mauro, D. Choi [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2013. – Vol. 41, N 4. – P. 815-825.
72. Inderhaug, E. Effect of a too posterior placement of the tibial tunnel on the outcome 10-12 years after anterior cruciate ligament reconstruction using the 70-degree tibial guide / E. Inderhaug, T. Strand, C. Fischer-Bredenbeck [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 5. – P. 1182-1189.
73. Inderhaug, E. The effect of feedback from post-operative 3D CT on placement of femoral tunnels in single-bundle anatomic ACL reconstruction / E. Inderhaug, A. Larsen, T. Strand [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 1. – P. 154-160.
74. Irarrázaval, S. Anterior cruciate ligament reconstruction / S. Irarrázaval, M. Kurosaka, M. Cohen [et al.] // *JISAKOS.* – 2016. – Vol. 2, N 5. – P. 38-52.
75. Iriuchishima, T. Evaluation of ACL mid-substance cross-sectional area for reconstructed autograft selection / T. Iriuchishima, H. Yorifuji, S. Aizawa [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 1. – P. 207-213.
76. Iriuchishima, T. Proportional evaluation of anterior cruciate ligament footprint size and knee bony morphology / T. Iriuchishima, K. Ryu, S. Aizawa [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 11. – P. 3157-3162.
77. Iriuchishima, T. The difference in center position in the ACL femoral footprint inclusive and exclusive of the fan-like extension fibers / T. Iriuchishima, K. Ruy, S. Aizawa [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 1. – P. 254-259.
78. 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, Suppl. 9. – P. 13-20.

79. Izawa, T. Comparison of rotatory stability after anterior cruciate ligament reconstruction between single-bundle and double-bundle techniques / T. Izawa, K. Okazaki, Y. Tashiro [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 7. – P. 1470-1477.
80. Jacob R.P. The knee and the crucial ligaments / R.P. Jacob, H.-U. Staubli. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992. – 637 p.
81. Janssen, R.P. 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. Janssen, A.W. du Mee, J. van Valkenburg [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, N 9. – P. 1977-1988.
82. Janssen, R.P. Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction / R.P. Janssen, S.U. Scheffler // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 9. – P. 2102-2108.
83. Karlsson, J. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction, part 2: clinical application of surgical technique / J. Karlsson, J.J. Irrgang, C.F. van Eck [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 9. – P. 2016-2026.
84. Kato, Y. Biomechanical comparison of different graft positions for single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction / Y. Kato, A. Maeyama, P. Lertwanich [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, N 4. – P. 816-823.
85. Kato, Y. Effect of tunnel position for anatomic single-bundle ACL reconstruction on knee biomechanics in a porcine model / Y. Kato, S.J. Ingham, S. Kramer [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2010. – Vol. 18, N 1. – P. 2-10.
86. Kawaguchi, Y. The role of fibers in the femoral attachment of the anterior cruciate ligament in resisting tibial displacement / Y. Kawaguchi, E. Kondo, R. Takeda [et al.] // *Arthroscopy* – 2015. – Vol. 31, N 3. – P. 435-444.
87. Keller T.C. Tibial tunnel placement accuracy during anterior cruciate ligament reconstruction: independent femoral versus transtibial femoral tunnel drilling techniques / T.C. Keller, M. Tompkins, K. Economopoulos [et al.] // *Arthroscopy* – 2014. – Vol. 30, N 9. – P. 1116-1123.
88. Kondo, E. Biomechanical comparison of anatomic double-bundle, anatomic single-bundle, and nonanatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions / E. Kondo, A.M. Merican, K. Yasuda [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 2. – P. 279-288.
89. Kondo, E. Biomechanical comparisons of knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction between 2 clinically available transtibial procedures: anatomic double bundle versus single bundle / E. Kondo, A.M. Merican, K. Yasuda [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2010. – Vol. 38, N 7. – P. 1349-1358.

90. Kopf, S. Nonanatomic tunnel position in traditional transtibial single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction evaluated by three-dimensional computed tomography / S. Kopf, B. Forsythe, A.K. Wong [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2010. – Vol.92, N 6. – P. 1427-1431.
91. Kopf, S. Size variability of the human anterior cruciate ligament insertion sites / S. Kopf, M.W. Pombo, M. Szczodry [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 1. – P. 108-113.
92. Koutras, G. Short-term functional and clinical outcomes after ACL reconstruction with hamstrings autograft: transtibial versus anteromedial portal technique / G. Koutras, P. Papadopoulos, I.P. Terzidis [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, N 8. – P. 1904-1909.
93. Kurosawa, H. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion / H. Kurosawa, K. Yamakoshi, K. Yasuda [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1991. – N 265. – P. 233-240.
94. Laxdal, G. A prospective randomized comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction / G. Laxdal, J. Kartus, L. Hansson [et al.] // *Arthroscopy* – 2005. – Vol. 21, N 1. – P. 34-42.
95. Lee, D.H. Comparison of femur tunnel aperture location in patients undergoing transtibial and anatomical single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction / D.H. Lee, H.J. Kim, H.S. Ahn [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 12. – P. 3713-3721.
96. 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.
97. Lee, M.C. Vertical femoral tunnel placement results in rotational knee laxity after anterior cruciate ligament reconstruction / M.C. Lee, S.C. Seong, S. Lee [et al.] // *Arthroscopy* – 2007. – Vol. 23, N 7. – P. 771-778.
98. Lubowitz, J.H. Anatomic ACL reconstruction produces greater graft length change during knee range-of-motion than transtibial technique / J.H. Lubowitz // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 5. – P. 1190-1195.
99. 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. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2007. – Vol. 15, N 12. – P. 1422-1431.
100. Magnussen, R.A. A CT-based classification of prior ACL femoral tunnel location for planning revision ACL surgery / R.A. Magnussen, P. Debieux, B. Benjamin [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2012. – Vol. 20, N 7. – P. 1298-1307.



101. Markolf, K.L. Anterior-posterior and rotatory stability of single and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions / K.L. Markolf, S. Park, S.R. Jackson [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2009. – Vol. 91, N 1. – P. 107-118.
102. Martins, C.A.Q. The concept of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction / C.A.Q. Martins, E.J. Kropf, W. Shen [et al.] // *Oper. Tech. Sports Med.* - 2008. - Vol. 16, N 3. – P. 104-115.
103. McGuire, D.A. Use of an endoscopic aimer for femoral tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction / D.A. McGuire, S.D. Hendricks, G.L. Grinstead // *Arthroscopy* – 1996. – Vol. 12, N 1. – P. 26-31.
104. Melhorn, J.M. The relationship of the femoral attachment site to the isometric tracking of the anterior cruciate ligament graft / J.M. Melhorn, C.E. Henning // *Am. J. Sports Med.* – 1987. – Vol. 15, N 6. – P. 539-542.
105. Miyawaki, M. Signal intensity on magnetic resonance imaging after allograft double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction / M. Miyawaki, D. Hensler, K.D. Illingworth [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 5. – P. 1002-1008.
106. Mochizuki, T. Cadaveric knee observation study for describing anatomic femoral tunnel placement for two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction / T. Mochizuki, T. Muneta, T. Nagase [et al.] // *Arthroscopy* – 2006. – Vol. 22, N 4. – P. 356-361.
107. 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. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2014. – Vol. 22, N 2. – P. 336-344.
108. Morgan, J.A. Femoral tunnel malposition in ACL revision reconstruction / J.A. Morgan, D. Dahm, B. Levy [et al.] // *J. Knee Surg.* – 2012. – Vol. 25, N 5. – P. 361-368.
109. Mulcahey, M.K. Transtibial versus anteromedial portal anterior cruciate ligament reconstruction using soft-tissue graft and expandable fixation / M.K. Mulcanhey, T.S. David, D.M. Epstein [et al.] // *Arthroscopy* – 2014. – Vol. 30, N 11. – P. 1461-1467.
110. Murawski, D.C. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: current concepts and future perspective / D.C. Murawski, M.R. Wolf, D. Araki [et al.] // *Cartilage.* – 2013. – Vol. 4, Suppl. 3. – P. 27-37.
111. Nawabi, D.H. ACL fibers near the lateral intercondylar ridge are the most load bearing during stability examinations and isometric through passive flexion / D.H. Nawabi, S. Tucker, K.A. Schafer [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, N 10. – P. 2563-2571.

112. Neuman, P. Prevalence of tibiofemoral osteoarthritis 15 years after nonoperative treatment of anterior cruciate ligament injury: a prospective cohort study / P. Neuman, M. Englund, I. Kostogiannis [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 9. – P. 1717-1725.
113. 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. Futura, M. Deie // *Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Ther. Technol.* – 2014. – Vol. 1, N 4. – P. 126-131.
114. Noailles, T. Appearance of the Anterior Cruciate Ligament Explaining "Ribbon" and Double-Bundle Concepts: A Cadaver-based Study / T. Noailles, P. Boisrenoult, M. Sanchez [et al.] // *Arthroscopy* – 2017. – Vol. 33, N 9. – P. 1703-1709.
115. Noh, J.H. Anterior cruciate ligament reconstruction using 4-strand hamstring autograft: conventional single-bundle technique versus oval-footprint technique / J.H. Noh, B.G. Yang, Y.H. Roh [et al.] // *Arthroscopy* – 2011. – Vol. 27, N 11. – P. 1502-1510.
116. Noh, J.H. Femoral tunnel position on conventional magnetic resonance imaging after anterior cruciate ligament reconstruction in young men: transtibial technique versus anteromedial portal technique / J.H. Noh, Y.H. Roh, B.G. Yang [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 5. – P. 882-890.
117. Norman, D. Cortical bony thickening of the lateral intercondylar wall: the functional attachment of the anterior cruciate ligament / D. Norman, A.J. Metcalfe, T. Barlow [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2017. – Vol. 45, N 2. – P. 394-402.
118. Odensten, M. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction / M. Odensten, J. Gillquist // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1985. – Vol. 67, N 2. – P. 257-262.
119. Oka, S. Histological analysis of the tibial anterior cruciate ligament insertion / S. Oka, P. Schuhmacher, A. Brehmer [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 3. – P. 747-753.
120. 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 // *Arthroscopy* – 2014. – Vol. 30, N 11. – P. 1430-1438.
121. Pearle, A.D. Rationale for strategic graft placement in anterior cruciate ligament reconstruction: I.D.E.A.L. femoral tunnel position / A.D. Pearle, D. McAllister, S.M. Howell // *Am. J. Orthop.* – 2015. – Vol. 44, N 6. – P. 253-258.
122. Penner, D.A. An in vitro study of anterior cruciate ligament graft placement and isometry / D.A. Penner, D.M. Daniel, P. Wood [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 1988. – Vol. 16, N 3. – P. 238-243.

123. Petersen, W. Anatomy and function of the anterior cruciate ligament / W. Petersen, B. Tillman // *Orthopade.* – 2002. – Vol. 31, N 8. – P. 710-718.
124. 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.
125. Rahr-Wagner, L. Increased risk of revision after anteromedial compared with transtibial drilling of the femoral tunnel during primary anterior cruciate ligament reconstruction: results from the Danish Knee Ligament Reconstruction Register / L. Rahr-Wagner, T.M. Thillemann, A.B. Pedersen [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 1. – P. 98-105.
126. Raunest, J. Application of a new positioning device for isometric replacement in anterior cruciate ligament repair and reconstruction / J. Raunest // *J. Trauma.* – 1991. – Vol. 31, N 2. – P. 223-229.
127. Robin, B.N. Advantages and disadvantages of transtibial, anteromedial portal, and outside-in femoral tunnel drilling in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review / B.N. Robin, S.S. Jani, S.C. Marvil [et al.] // *Arthroscopy* – 2015. – Vol. 31, N 7. – P. 1412-1417.
128. Rue, J.P. Posterior wall blowout in anterior cruciate ligament reconstruction: avoidance, recognition, and salvage / J.P. Rue, M.L. Busam, A.J. Dettlerline [et al.] // *J. Knee Surg.* – 2008. – Vol. 21, N 3. – P. 235-240.
129. Rue, J.P. Femoral tunnel placement in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study relating transtibial lateralized femoral tunnel position to the anteromedial and posterolateral bundle femoral origins of the anterior cruciate ligament / J.P. Rue, N. Ghodadra, B.R. Bach Jr. // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 1. – P. 73-39.
130. Sapega, A.A. Testing for isometry during reconstruction of the anterior cruciate ligament. Anatomical and biomechanical considerations / A.A. Sapega, R.A. Moyer, C. Schneck // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1990. – Vol. 72, N 2. – P. 259-267.
131. 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.
132. Schindler, O.S. Surgery for anterior cruciate ligament deficiency: a historical perspective / O.S. Schindler // *Knee Surg. Sport Traumatol. Artosc.* – 2012. – Vol. 20, N 1. – P. 5-47.
133. Schutzer, S.F. Further observations on the isometricity of the anterior cruciate ligament. An anatomical study using a 6-mm diameter replacement / S.F. Schutzer, S. Christen, R.P. Jakob // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1989. – N 242. – P. 247-255.

134. Seon, J.K. Comparison of single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions in restoration of knee kinematics and anterior cruciate ligament forces / J.K. Seon, H.R. Gadikota, J-L. Wu [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2010. – Vol. 38, N 7. – P. 1359-1367.
135. Shea, K.G. The American Academy of Orthopaedic Surgeons evidence-based guideline on management of anterior cruciate ligament injuries / K.G. Shea, J.L. Carey, J. Richmond [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2015. – Vol.97, N 8. – P. 672-674.
136. Shin, Y.S. Location of the femoral tunnel aperture in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: comparison of the transtibial, anteromedial portal, and outside-in techniques / Y.S. Shin, K.H. Ro, J.H. Lee [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2013. – Vol. 41, N 11. – P. 2533-2539.
137. 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. Arthrosc.* – 2010. – Vol. 18, N 9. – P. 1164-1168.
138. Smigielski, 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. Smigielski, U. Zdanowicz, M. Drwiega [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 11. – P. 3143-3150.
139. Smith, J.O. Femoral and tibial tunnel positioning on graft isometry in anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study / J.O. Smith, S. Yasen, M.J. Risebury // *J. Orthop. Surg.* – 2014. – Vol. 22, N 3. – P. 318-324.
140. Sidles, J.A. Ligament length relationships in the moving knee / J.A. Sidles, R.V. Larson, J.L. Garbini [et al.] // *J. Orthop. Res.* – 1988. – Vol. 6, N 4. – P. 593-610.
141. Siebold, R. Tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry, arthroscopic landmarks, and orientation model for bone tunnel placement / R. Siebold, T. Ellert, S. Metz [et al.] // *Arthroscopy* – 2008. – Vol. 24, N 2. – P. 154-161.
142. Siebold, R. Femoral insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry and arthroscopic orientation models for double-bundle bone tunnel placement-a cadaver study / R. Siebold, T. Ellert, S. Metz [et al.] // *Arthroscopy* – 2008. – Vol. 24, N 5. – P. 585-592.
143. 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. Sport Traumatol. Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, N 11. – P. 3136-3142.
144. Steiner, M.E. Independent drilling outperforms conventional transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction / M. E. Steiner, T.C. Battaglia, J.F. Heming [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2009. – Vol. 37, N 10. – P. 1912-1919.

145. Strauss, E.J. Can anatomic femoral tunnel placement be achieved using a transtibial technique for hamstring anterior cruciate ligament reconstruction? / E.J. Strauss, J.U. Barker, K. McGill [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, N 6. – P. 1263-1269.
146. Tensho, K. Bony landmarks of the anterior cruciate ligament tibial footprint: a detailed analysis comparing 3-dimensional computed tomography images to visual and histological evaluations / K. Tensho, H. Shimodaira, T. Aoki [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2014. – Vol. 42, N 6. – P. 1433-1440.
147. Tompkins, M. Femoral tunnel length in primary anterior cruciate ligament reconstruction using an accessory medial portal / M. Tompkins, M.D. Milewski, E.W. Carson [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 2. – P. 238-243.
148. Triantafyllidi, E. The shape and the thickness of the anterior cruciate ligament along its length in relation to the posterior cruciate ligament: a cadaveric study / E. Triantafyllidi, N.K. Paschos, A. Goussia [et al.] // *Arthroscopy* – 2013. – Vol. 29, N 12. – P. 1963-1973.
149. Tsoukas, D. No difference in osteoarthritis after surgical and non-surgical treatment of ACL-injured knees after 10 years / D. Tsoukas, V. Fotopoulos, G. Basdekis [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Artrosc.* – 2016. – Vol. 24, N 9. – P. 2953-2959.
150. Tsukada, H. Anatomical analysis of the anterior cruciate ligament femoral and tibial footprints / H. Tsukada, Y. Ishibashi, E. Tsuda [et al.] // *J. Orthop. Sci.* – 2008. – Vol. 13, N 2. – P. 122-129.
151. Wang, H. Transtibial versus anteromedial portal technique in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: outcomes of knee joint kinematics during walking / H. Wang, J.E. Fleischli, N.N. Zheng // *Am. J. Sports Med.* – 2013. – Vol. 41, N 8. – P. 1847-1856.
152. Williams, R.J. Anterior cruciate ligament reconstruction with a four-strand hamstring tendon autograft / R.J. Williams, J. Hyman, F. Petrigliano [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2004. – Vol. 86-A, N 2. – P. 225-232.
153. Youm, Y.S. Modified transtibial versus anteromedial portal technique in anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: comparison of femoral tunnel position and clinical results / Y.S. Youm, S.D. Cho, S.H. Lee [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2014. – Vol. 42, N 12. – P. 2941-2947.
154. Zantop, T. Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics / T. Zantop, N. Diermann, T. Shumacher [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2008. – Vol. 36, N 4. – P. 678-685.
155. Zavras, T.D. A comparative study of “isometric” points for anterior cruciate ligament graft attachment / T.D. Zavras, A. Race, A.M. Bull [et al.] // *Knee Surg. Sport Traumatol. Artrosc.* – 2001. – Vol. 9, N 1. – P. 28-33.



не способен заниматься ни одним из перечисленных видов деятельности из-за болей в коленном суставе

Какой самый высокий уровень активной деятельности, в которой вы заняты на постоянной основе?

Очень трудная, напряженная деятельность, например, как прыжки или развороты в баскетболе/футболе

Напряженная деятельность (тяжелый физический труд, лыжи, теннис)

Умеренная физическая активность (умеренный физический труд, бег разминочным темпом)

Легкая активная деятельность (работа по дому, во дворе, ходьба)

не способен заниматься ни одним из перечисленных видов деятельности из-за болей в коленном суставе

Как состояние вашего коленного сустава сказывается на способности выполнять следующие действия?

*Подниматься по лестнице:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Спускаться по лестнице:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Встать на колено:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Присесть на корточки:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Сидеть с согнутыми коленями:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Встать со стула:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Бег по прямой:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Прыгнуть и встать на больную ногу:*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

*Остановиться и быстро начать движение*

Никаких затруднений

Минимальное затруднение

Умеренное затруднение

Крайнее затруднение

Невозможно выполнить

Как бы вы оценили функцию вашего коленного сустава по 10-балльной шкале

*Функция коленного сустава до заболевания (травмы)*

0(не могу выполнять повседневную работу)

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10(без ограничений)

*Функция коленного сустава на текущий момент*

0(не могу выполнять повседневную работу)

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10(без ограничений)



**Приложение 2. Балльная шкала оценки функционального состояния  
коленного сустава (Lysholm J., Gillquist J., 1982; Tegner Y., Lysholm J., 1985)**

Показатели	Выраженность показателей	Оценка баллах	в
Хромота	Нет	5	
	Периодическая или легкая	3	
	Сильная или постоянная	0	
Дополнительная опора	Нет	5	
	Трость или костыли	2	
	Нагрузка телом невозможна	0	
Блокирование сустава	Нет блокады по ощущению	15	
	Ощущение защемления, но без блока	10	
	Блокада редко	6	
	Блокада часто	2	
	Блокада при осмотре	0	
Неустойчивость	Отсутствие	25	
	Редко, при спортивной или физической нагрузке	20	
	Часто, при спортивной или физической нагрузке	15	
	Редко, при ежедневной нагрузке	10	
	Часто, при ежедневной нагрузке	5	
	При каждом шаге	0	
Боль	Нет	25	
	Постоянная или легкая во время тяжелой нагрузки	20	
	Возникает при тяжелой нагрузке	15	
	Возникает или во время или после ходьбы на 2 км	10	
	Возникает при ходьбе на 2 км	5	
	Возникает при ходьбе менее чем на 2 км	0	
Отечность	Нет	10	
	При тяжелой нагрузке	6	
	При обычной нагрузке	2	
	Постоянно	0	
Подъем по лестнице	Нет проблем	10	
	Слегка затруднен	6	
	По одному шагу	2	
	Невозможен	0	
Приседание на корточках	Нет проблем	5	
	Слегка ограничено	4	
	Не достигает 90°	2	
	Невозможно	0	

При сумме баллов более 90 результаты лечения оценивают как отличные, от 84 до 90 - как хорошие, от 65 до 83 - как удовлетворительные, ниже 65 баллов - как неудовлетворительные.

**Приложение 3. Шкала-опросник пациента KOOS****KOOS KNEE SURVEY****ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КОЛЕННОГО СУСТАВА**

Дата заполнения: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Дата рождения: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Фамилия, имя, отчество: \_\_\_\_\_

Инструкция: Этот вопросник предназначен для оценки функции Вашего коленного сустава. Полученная информация поможет нам оценить состояние коленного сустава и качество Вашей жизни.

Пометьте «галочкой» только один вариант ответа на один вопрос. Если Вы испытываете сомнения при ответе или не можете выбрать ответ из нескольких вариантов, пожалуйста, дайте тот ответ, который в наибольшей степени отражает Ваше состояние.

**Симптомы**

При ответе на эти вопросы обобщите Ваши ощущения, полученные в течение прошедшей недели.

**S1. Отечно ли Ваше колено?**

- Никогда
- Изредка
- Иногда
- Часто
- Всегда

**S2. Ощущаете ли Вы хруст, слышите ли щелчки или другие звуки при движениях в коленном суставе?**

- Никогда
- Изредка
- Иногда
- Часто
- Всегда

**S3. Бывают ли у Вас блокады коленного сустава в положении сгибания или разгибаний?**

- Никогда
- Изредка
- Иногда
- Часто
- Всегда

**S4. Полностью ли Вы выпрямляете (разгибаете) колено?**

- Всегда
- Часто
- Иногда
- Изредка
- Никогда

S5. Полностью ли Вы сгибаете колено?

- Всегда
- Часто
- Иногда
- Изредка
- Никогда

Тугоподвижность

Следующие вопросы касаются оценки тугоподвижности в коленном суставе, которую Вы испытывали в течение последней недели. Тугоподвижность это ощущение ограничения объема или замедления движений при использовании коленного сустава.

S6. Насколько выражена утренняя скованность коленного сустава?

- отсутствует
- лёгкая
- умеренная
- сильная
- очень сильная

S7. Как Вы оцениваете выраженность тугоподвижности коленного сустава после сидения, лежания или кратковременного отдыха в вечерние часы?

- Никогда
- Изредка
- Иногда
- Часто
- Всегда

Боль

P1. Как часто вы испытываете боль в коленном суставе?

- Никогда
- Ежемесячно
- Еженедельно
- Ежедневно
- Постоянно

Насколько сильной была боль в коленном суставе в течение прошедшей недели при выполнении следующих движений?

P2. Вращение/скручивание

- Отсутствует
- Легкая
- Умеренная
- Сильная
- Чрезвычайная

P3. Полное разгибание

- Отсутствует
- Легкая
- Умеренная
- Сильная
- Чрезвычайная

Р4. Полное сгибание

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Р5. Ходьба по ровной поверхности

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Р6. Ходьба по лестнице (подъем и спуск)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Р7. Ночью в кровати

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Р8. Сидение или лежание

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Р9. Стояние на месте на выпрямленных ногах

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Сложность выполнения ежедневных бытовых действий.

Следующие вопросы касаются Вашей физической активности. Мы имеем в виду Вашу способность к передвижению и самообслуживанию. Для каждого из приведенных вопросов отметьте степень выраженности затруднений, которые Вы испытывали в течение прошедшей недели в связи с заболеванием коленного сустава.

## А1. Спуск по лестнице

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А2. Подъем по лестнице

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А3. Вставание после сидения

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А4. Стояние

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А5. Наклон к полу, поднимание предметов с пола

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А6. Ходьба по ровной поверхности

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

## А7. Усаживание в машину (выход из машины)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А8. Поход в магазин за покупками

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А9. Надевание носков (чулок)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А10. Вставание из кровати

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А11. Снятие носков (чулок)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А12. Укладывание в кровать, смена положения в кровати, поиск положения для колена (коленей)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Для каждого из приведенных вопросов отметьте степень выраженности затруднений, которые Вы испытывали в течение прошедшей недели в связи с заболеванием коленного сустава.

А13. Вхождение в ванну/выход из ванны

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

А14. Положение сидя

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

A15. Усаживание на унитаз/вставание с унитаза

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

A16. Выполнение тяжёлой домашней работы (перемещение тяжёлых коробок, натирание пола и т.п.)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

A17. Выполнение лёгкой домашней работы (приготовление пищи, вытирание пыли и т.п.)

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Спорт, активность на отдыхе

Следующие вопросы имеют отношение Вашей физической активности более высокого уровня: при занятиях спортом или при участии в подвижных играх. Для каждого из приведенных вопросов отметьте степень выраженности затруднений, которые Вы испытывали в течение прошедшей недели в связи с заболеванием коленного сустава.

SP1. Сидение на корточках

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

SP2. Бег

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

SP3. Прыжки

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

SP4. Вращение на больной ноге

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

SP5. Стояние на коленях

Отсутствует

Легкая

Умеренная

Сильная

Чрезвычайная

Качество жизни

Q1. Как часто Вас беспокоят проблемы с коленными суставами?

Никогда

Ежемесячно

Еженедельно

Ежедневно

Постоянно

Q2. Изменили ли Вы образ жизни для того, чтобы избежать действий, создающих проблемы с коленным суставом?

нет

слегка

умеренно

значительно

полностью

Q3. В какой степени Вас беспокоят проблемы с коленным суставом?

совсем нет

слегка

умеренно

сильно

очень сильно

Q4. В общем, насколько осложняют Вашу жизнь проблемы с коленным суставом?  
нисколько

слегка

умеренно

сильно

очень сильно



### Приложение 4. Функциональная шкала оценки коленного сустава

#### IKDC-2000 (объективная часть)

Группы тестов	A (норма)	B (близко к норме)	C (отклоняющ. от нормы)	D (грубые нарушения)
Выпот в суставе	нет	незначительн.	умеренный	выраженный
Объем пассивных движений в суставе				
Дефицит разгибания, град.	<3	3-5	6-10	>10
Дефицит сгибания, град.	0-5	6-15	16-25	>25
Исследование связочного аппарата				
ΔLachman (25 <sup>0</sup> сгибания), мануально	от -1 до 2 мм (-)	от 3 до 5 мм (+)	от 6 до 10 мм (++)	>10 мм (+++)
ΔПередний выдвигной ящик (70 <sup>0</sup> сгибания)	от -1 до 2 мм (-)	от 3 до 5 мм (+)	от 6 до 10 мм (++)	>10 мм (+++)
ΔЗадний выдвигной ящик (70 <sup>0</sup> сгибания)	от -1 до 2 мм (-)	от 3 до 5 мм (+)	от 6 до 10 мм (++)	>10 мм (+++)
ΔВарус-тест	от -1 до 2 мм (-)	от 3 до 5 мм (+)	от 6 до 10 мм (++)	>10 мм (+++)
ΔВальгус-тест	от -1 до 2 мм (-)	от 3 до 5 мм (+)	от 6 до 10 мм (++)	>10 мм (+++)
ΔPivot-shift	отрицат. (-)	скользящий (+)	явный (++)	грубый (+++)
Компартмент-симптомы				
Крепитация в переднем отделе	нет	незначит.	с болевыми ощущениями	с выраженной болью
Крепитация в медиальном отделе	нет	незначит.	с болевыми ощущениями	с выраженной болью
Крепитация в латеральном отделе	нет	незначит.	с болевыми ощущениями	с выраженной болью
Рентгенологические симптомы				
Изменения в медиальном отделе	нет	незначит.	умеренные	выраженные
Изменения в латеральном отделе	нет	незначит.	умеренные	выраженные
Изменения в бедренно-надколенниковом отделе	нет	незначит.	умеренные	выраженные