На правах рукописи

Зуев-Ратников Сергей Дмитриевич

РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ ПРИ СОЧЕТАННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ И СУСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА

3.1.8. – Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

доктора медицинских наук

Самара – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный консультант:
академик РАН,
доктор медицинских наук, профессор **Котельников Геннадий Петрович**

Официальные оппоненты:
Загородний Николай Васильевич, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, советник директора

Корнилов Николай Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, профессор кафедры травматологии и ортопедии

Маланин Дмитрий Александрович, доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва

Защита диссертации состоится «____» _____ 20___ г. в _____ часов на заседании диссертационного совета 21.2.061.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 443079, г. Самара, пр. К. Маркса, д. 165 Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке (443001, г. Самара, ул. Арцыбушевская, 171) и на сайте (https://samsmu.ru/scientists/science/referats/) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
Автореферат разослан «____» _____ 20___ г.

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат медицинских наук, доцент **Д.А. Долгушкин**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Сочетанные повреждения передней крестообразной связки (ПКС) и суставных поверхностей коленного сустава (КС) остаются одной из актуальных проблем современной травматологии и ортопедии вследствие их распространённости, преимущественного поражения лиц молодого и среднего трудоспособного возраста, длительных сроков восстановления функции конечности и риска развития посттравматического остеоартроза (Корнилов Н.Н. с соавт., 2022; Маланин Д.А. с соавт., 2020; Сапрыкин А.С. с соавт., 2022).

ПКС является одним из основных стабилизаторов КС. Нарушение целостности связки сопровождается изменением кинематики, формированием переднезадней и ротационной нестабильности и перераспределением нагрузок на внутрисуставные структуры. Длительно существующая нестабильность создаёт условия для вторичного повреждения менисков, суставного хряща и субхондральной кости. В свою очередь, дефект суставной поверхности нарушает распределение контактных нагрузок и поддерживает патологический биомеханический стереотип. Сочетанное повреждение ПКС и суставных поверхностей следует рассматривать не как сумму отдельных дефектов, а как взаимосвязанный клинико-биомеханический комплекс (Сучилин И.А. с соавт., 2021; Zhou P. et al., 2020).

По обобщённым данным литературы, сочетанные повреждения структур КС составляют от 58,8% до 82,7% наблюдений. Частота одновременного поражения суставного хряща и менисков варьирует от 8,9% до 15,8%, а сочетание хрящевых и костно-хрящевых дефектов с повреждениями ПКС выявляют в 7,4–13,2% наблюдений. Одновременное повреждение ПКС и менисков встречают в 38,5–53,7% случаев. Наличие сочетанных повреждений усложняет выбор хирургической тактики, увеличивает объём вмешательства и снижает предсказуемость отдалённых результатов лечения пациентов (Айрапетов Г.А. с соавт., 2017; Анастасиева Е.А. с соавт., 2020; Котельников Г.П. с соавт., 2025).

По данным последовательных артроскопических исследований, увеличение интервала между повреждением ПКС и её реконструкцией сопровождается увеличением частоты менисковых и остеохондральных повреждений. Наиболее

уязвимыми являются нагружаемые отделы мыщелков бедренной кости, в частности, её медиальный мыщелок (Diermeier T. et al., 2021; Thaunat M. et al., 2021).

Характер сочетанного повреждения отличается морфологической неоднородностью. Разрыв ПКС может быть частичным или полным, иметь различную локализацию, сопровождаться разной степенью сохранности культи и синовиальной оболочки. Повреждения суставной поверхности варьируют от поверхностных до полнослойных остеохондральных дефектов. Хирургическая тактика должна учитывать все эти факторы (Егиазарян К.А. с соавт., Маланин Д.А. с соавт., 2020; Ларцев Ю.В. с соавт., 2022; Котельников Г.П. с соавт., 2024).

Сохраняется проблема выбора оптимального аутотрансплантата для реконструкции ПКС. Изучают альтернативные источники трансплантатов, в том числе, сухожилие длинной малоберцовой мышцы (Лычагин А.В. с соавт., 2024). Перспективным является сочетание механической реконструкции ПКС с технологиями биологической стимуляции (Загородний Н.В. с соавт., 2024; Рофизода Ф.Н. с соавт., 2024).

Особое значение приобретает состояние субхондральной кости как структурной и биологической основы хряща, что определяет необходимость восстановления остеохондрального комплекса в целом, в том числе, с применением ортобиологических и клеточных технологий, направленных на стимуляцию репаративных процессов реконструированных тканей (Маланин Д.А. с соавт., 2021; Кудашев Д.С. с соавт., 2023).

Одним из наиболее неблагоприятных последствий сочетанной травмы КС является посттравматический остеоартроз (ОА). При сроках наблюдения более 15 лет рентгенологические признаки ОА выявляют у 23,2% пациентов после анатомической и у 43,9% после неанатомической реконструкции ПКС. Это свидетельствует о том, что изолированное восстановление ПКС не может рассматриваться как достаточное условие профилактики ОА, особенно при сопутствующем повреждении суставной поверхности (Лычагин А.В. с соавт., 2019; Diermeier T. et al., 2021; Culvenor A.G. et al., 2022). Медико-социальная актуальность проблемы определяется последствиями ОА КС. Выраженное ухудшение качества жизни отмечают у 67–80% пациентов, а в 17–23% случаев ОА становится причиной инвалидности (Бендюк В.В. с соавт., 2019; Deveza L.A. et al., 2017).

Таким образом, высокая частота сочетанных повреждений КС, поражение социально активной категории пациентов, морфологическая неоднородность разрывов ПКС и дефектов суставной поверхности, значительная частота неблагоприятных исходов и риск развития посттравматического ОА определяют необходимость дальнейшего совершенствования тактики хирургического лечения.

Степень разработанности темы исследования

В настоящее время накоплен значительный объем исследований, посвященных хирургическому лечению изолированных повреждений ПКС и суставных поверхностей КС. Разработаны различные способы реконструкции ПКС, восстановления суставного хряща и субхондральной кости, однако вопросы их сочетанного применения остаются малоизученными (Монастырев В.В., Леонова С.Н., 2020; Овчинников П.А. с соавт., 2022).

Общепринятым способом хирургического лечения пациентов с функционально несостоятельным повреждением ПКС является её артроскопическая реконструкция с использованием сухожильных или костно-сухожильных аутотрансплантатов (АТ). Анатомические методики позволяют получить положительные результаты в 75–97% случаев (Володин И.В. с соавт., 2022; Гончаров Е.Н. с соавт., 2022; Sun J. et al., 2020). Значительное внимание уделяют анатомическому позиционированию костных каналов, выбору и подготовке АТ, способу его фиксации и сохранению культи ПКС (Diermeier T. et al., 2021).

Частота повторных разрывов АТ после первичной реконструкции составляет до 10%, необходимость ревизионных вмешательств возникает у 1,5–5,7% пациентов. Причинами являются ошибки позиционирования костных каналов, повторная травма, нарушение фиксации, недостаточная интеграция и лигаментизация АТ, ошибки реабилитации пациентов. Сохраняются проблемы расширения костных каналов, повторной нестабильности, что обусловливает дальнейший поиск способов технической и биологической оптимизации реконструкции ПКС (Михайлов И.Н. с соавт.,2021; Grassi A. et al., 2021; Runer A. et al., 2023).

Одним из направлений совершенствования хирургии ПКС является сохранение жизнеспособных тканей связки посредством реинсерции, аугментации и ремнант-сберегающей реконструкции. Эти технологии направлены на сохранение кровоснабжения, проприоцептивных элементов и биологического потенциала

культи ПКС (Романов Д.А. с соавт.,2022; Robinson J.D. et al., 2023). Изучают влияние обогащенной тромбоцитами плазмы, иных ортобиологических продуктов на улучшение интеграции и ремоделирования аутотрансплантатов (Рофизода Ф.Н. с соавт., 2024; Rodríguez-Merchán E.C. et al., 2021; Runer A. et al., 2023).

В зависимости от площади, глубины и локализации дефекта суставной поверхности применяют артроскопический дебридмент, абразивную хондропластику, субхондральную туннелизацию, микрофрактурирование, матрикс-индуцированный хондрогенез, мозаичную остеохондральную ауто- и аллотрансплантацию, клеточные технологии. Остеоперфоративные методы позволяют уменьшить клинические проявления при ограниченных дефектах, однако регенерат уступает гиалиновому хрящу по механическим свойствам. Мозаичная остеохондральная аутопластика обеспечивает замещение дефекта нативными остеохондральными блоками, однако ограничена площадью поражения, доступностью донорского материала и риском повреждения донорской зоны (Гилев Я.Х. с соавт., 2018; Лазишвили Г.Д. с соавт., 2019; Ларцев Ю.В. с соавт., 2022).

Клеточные и матрикс-ассоциированные технологии расширяют возможности восстановления глубоких и полнослойных дефектов. Использование культивированных аутохондроцитов и матриксных технологий направлено на формирование организованного регенерата, однако ограничивается сложностью, стоимостью и в ряде случаев двухэтапностью лечения. Результаты вмешательств во многом зависят от стабильности КС, состояния субхондральной кости (Кудашев Д.С. с соавт., 2023; Du G. et al., 2016; Roy K.A. et al., 2017).

При сочетании повреждения суставной поверхности с разрывом ПКС проблема хирургического лечения существенно усложняется. В литературе представлены способы одномоментной реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности с использованием остеоперфоративных, мембранных и остеохондральных технологий. Вместе с тем результаты таких вмешательств неоднородны, а имеющиеся исследования различаются по характеристикам пациентов, площади и глубине дефектов, вариантам трансплантатов, способам хондропластики и срокам наблюдения. Однозначного мнения относительно комбинации способов восстановления суставной поверхности и реконструкции ПКС не сформировано (Hu W. et al., 2021; Costa G.G. et al., 2022; Todor A., 2024).

Перспективным направлением является разработка реконструктивно-восстановительной тактики, основанной на одновременном восстановлении стабильности КС, суставного хряща и субхондральной кости. Выбор вмешательства должен быть дифференцирован с учётом возраста, пола, уровня физической активности пациента, механизма и срока травмы, типа повреждения ПКС, площади и глубины дефекта, его локализации и состояния субхондральной кости.

Отсутствие общепринятого алгоритма такого выбора обосновывает актуальность разработки и клинического внедрения комплексной системы реконструктивно-восстановительной хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава.

Цель исследования

Разработать и внедрить в клиническую практику подход к реконструктивно-восстановительной хирургии сочетанных повреждений передней крестообразной связки и суставных поверхностей коленного сустава, основанный на клинико-анатомически обоснованном алгоритме выбора тактики хирургического лечения пациентов.

Задачи исследования

1. Изучить современное состояние проблем реконструктивно-восстановительно хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава, определить закономерности их взаимного отягощения.
2. Определить клинико-анатомический профиль пациента при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава с учётом типа повреждения связки, локализации, площади и глубины хрящевого дефекта, а также состояния субхондральной кости.
3. Провести ретроспективный сравнительный анализ клинических, инструментальных и функциональных результатов лечения пациентов с применением комбинации известных способов реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности.
4. Разработать и внедрить в клиническую практику новые способы при одномоментной реконструкции ПКС и восстановлении повреждённых суставных поверхностей коленного сустава.

5. Предложить и внедрить специализированные технические решения, включающие хирургический инструментарий, устройства для фиксации трансплантатов, обеспечивающие выполнение комбинированных реконструктивно-восстановительных вмешательств.

6. Оценить клинико-функциональную эффективность комбинации новых способов одномоментной реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности в ближайшем и отдалённом послеоперационных периодах.

7. Оценить результаты применения комбинации новых способов реконструктивно-восстановительной хирургии коленного сустава с определением степени интеграции аутотрансплантата ПКС, восстановления суставного хряща и состояния субхондральной кости.

8. Изучить клинические, инструментальные и функциональные результаты восстановления суставных поверхностей с применением сфероидов из аутологичных хондроцитов человека, связанных матриксом, и определить место клеточных технологий в лечении сочетанных повреждений коленного сустава.

9. Разработать и внедрить в клиническую практику клинико-анатомически обоснованный алгоритм выбора реконструктивно-восстановительной хирургической тактики при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава.

Научная новизна исследования

Проведён анализ проблемы взаимосвязи между повреждениями ПКС и суставных поверхностей коленного сустава, их взаимного отягощения.

Впервые разработаны и внедрены в клиническую практику новые способы ортобиологической пластики ПКС: способ пластики связок и сухожилий (патент РФ на изобретение № 2818725 от 22.05.2023), способ артроскопической аутопластики ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 10.12.2024), примененные в комбинации со способами пластики суставных поверхностей.

Впервые разработаны и внедрены в клиническую практику устройства, оптимизирующие выполнение аутопластических вмешательств при повреждениях ПКС и суставных поверхностей: инструмент для транспозиции мышц и сухожилий (патент РФ на полезную модель № 167160 от 27.12.2016); интерферентный винт для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале (патент РФ на полезную

модель № 169955 от 07.04.2017); устройство для фиксации сухожильного трансплантата (патент РФ на полезную модель №217394 от 30.03.2023).

Представлены результаты хондропластики суставных поверхностей с применением сфероидов из аутохондроцитов человека, связанных матриксом.

Разработан и применен алгоритм реконструктивно-восстановительный хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей КС с позиций доказательной медицины.

Впервые создана и внедрена в клиническую практику программа выбора реконструктивно-восстановительной хирургической тактики при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей КС (свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026688036 от 14.09.2026).

Теоретическая и практическая значимость работы

Выявленные взаимосвязи между повреждением ПКС и возникновением дефектов суставных поверхностей обосновывают важность и необходимость их одномоментного комплексного восстановления с учетом состояния субхондральной кости и процессов биологического ремоделирования.

Применение комбинации новых способов восстановления ПКС и суставных поверхностей КС, специализированных инструментов расширили возможности реконструктивно-восстановительной хирургии за счет совершенствования формирования и фиксации трансплантата, повышения точности выполнения остеохондральной пластики, возможности применения ортобиологических и клеточных технологий для стимуляции регенерации и интеграции реконструированных тканей, что позволило улучшить качество жизни пациентов.

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритма дифференцированного выбора и комбинированного применения предложенных способов, позволяющего персонализировать хирургическую тактику при разных вариантах сочетанных повреждений ПКС и суставных поверхностей КС и тем самым предотвратить развитие посттравматического остеоартроза у пациентов.

Методология и методы исследования

Методологическая основа работы построена на комплексном подходе к изучению и системном обобщении литературных данных по проблемам лечения пациентов с сочетанными повреждениями ПКС и суставных поверхностей КС;

использовании различных способов хирургического лечения и специализированного инструментария при выполнении операций. По дизайну исследование является моноцентровым, неослеплённым рандомизированным, ретроспективно-проспективным. В соответствии с целью и задачами был составлен план, определены дизайн, объекты, критерии включения, невключения и исключения пациентов из исследования; сроки наблюдения и комплекс современных методов диагностики для оценки результатов.

Объект исследования – пациенты с сочетанными повреждениями ПКС и суставных поверхностей КС (343 человека), требующие выполнения реконструктивно-восстановительного хирургического лечения. На ретроспективном этапе 187 пациентам операции выполняли путём комбинаций известных способов. На проспективном этапе 127 пациентам проводили одновременную хирургическую коррекцию повреждений ПКС и суставной поверхности КС с применением новых способов. У 29 пациентов при пластике повреждений суставной поверхности использовали сфероиды из аутохондроцитов человека, связанных матриксом.

Для комплексной и объективной оценки полученных результатов были применены клинические, лабораторные, инструментальные методы исследования, методы доказательной медицины. Статистический анализ всех данных был проведён в Центре доказательной медицины и биостатистики ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России с использованием программы IBM SPSS Statistics 25 PS.

Положения, выносимые на защиту

1. Сочетанное повреждение ПКС и суставных поверхностей коленного сустава представляет собой единый клинико-патогенетический и биомеханический комплекс, в котором связочная нестабильность, повреждение суставного хряща и изменения субхондральной кости взаимно влияют на течение патологического процесса и результаты хирургического лечения пациентов.
2. Комбинации известных способов реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности обеспечивают клинико-функциональное улучшение, однако их возможности различаются в зависимости от морфологии остеохондрального повреждения, что обосновывает необходимость дифференцированного выбора реконструктивно-восстановительной операции.

3. Разработанные способы одномоментной реконструктивно-восстановительной хирургии позволяют воздействовать на разные компоненты сочетанного повреждения: восстанавливать стабильность КС, суставную поверхность и субхондральную костную основу, одновременно создавая условия для биологической интеграции реконструированных тканей.

4. Применение новых способов ортобиологической аутопластики ПКС обеспечивает благоприятные условия для ремоделирования и остеоинтеграции сухожильного аутотрансплантата, а применение миопластического компонента при остеохондральной аутопластике расширяет возможности восстановления суставной поверхности и подлежащей костной ткани.

5. Специализированные устройства и хирургический инструментарий обеспечивают техническую реализацию разработанных способов реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности, оптимизируя подготовку, проведение и фиксацию трансплантатов.

6. Клеточная хондропластика сфероидами из аутологичных хондроцитов человека, связанных матриксом, обеспечивает прогресс восстановления суставной поверхности и может рассматриваться как перспективный компонент дифференцированной реконструктивно-восстановительной хирургии КС.

7. Клинико-анатомически обоснованный алгоритм, учитывающий срок после травмы, стабильность сустава, состояние ПКС, локализацию, площадь и глубину дефекта, состояние субхондральной кости, обеспечивает переход от унифицированного выбора операции к персонализированной комбинации реконструктивно-восстановительных вмешательств.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов исследования и его научных выводов обеспечена необходимым объёмом первичного клинического материала, применением современных способов клинической и инструментальной диагностики, единых критериев оценки, а также использованием адекватных методов статистического анализа в соответствии с базовыми принципами доказательной медицины.

Апробация результатов исследовательской работы

Основные положения и результаты работы представлены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Илизаровские чтения»

(Курган, 2021); V Международном конгрессе ассоциации ревмоортопедов (Москва, 2021); Евразийском ортопедическом форуме (Москва, Сколково, 2021); I Съезде травматологов-ортопедов Приволжского федерального округа (Нижний Новгород, 2022); 58-й Научно-практической медицинской конференции «Здоровье в 21 веке – ответственность каждого» (Ульяновск, 2023); XI Всероссийском Приоровском форуме, посвященном 100-летию профессора К.М. Сиваша (Москва, 2024); VI Конгрессе ОРТОБИОЛОГИЯ (Москва, 2025); Евразийском ортопедическом форуме (Москва, 2025); X Международном Пироговском Форуме травматологов-ортопедов (Самара, 2025); XII Всероссийском Приоровском форуме, посвященном 140-летию со дня рождения Н.Н. Приорова (Москва, 2025).

Внедрение результатов исследования

Разработанные способы хирургического лечения, специализированные устройства и инструменты, новый алгоритм реконструктивно-восстановительной хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей КС внедрены в клиническую практику травматолого-ортопедических отделений №1 и №2 Клиник ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, ортопедического отделения №1 ГБУЗ «Самарская областная клиническая больница им. В.Д. Середавина» и травматолого-ортопедического отделения №2 ГБУЗ СО «Тольяттинская городская клиническая больница №5» г.о. Тольятти.

Материалы и результаты исследования применяют в образовательном процессе на кафедре травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова и кафедре травматологии, ортопедии и поликлинической хирургии ИПО ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России.

Личный вклад автора

Диссертантом определена концепция исследования, проведён подробный обзор современных данных отечественных и зарубежных исследований и научной литературы, разработан дизайн исследования. Набран и проанализирован клинический материал у пациентов с сочетанными повреждениями ПКС и суставных поверхностей КС, разработаны новые способы оперативного лечения и специализированный инструментарий, оптимизирующий их выполнение. Автор самостоятельно оперировал, осуществлял послеоперационное ведение пациентов. Им проведена систематизация и анализ результатов, выполнена статистическая

обработка, сформирован алгоритм выбора тактики реконструктивно-восстановительный хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей КС, определяющий с позиций доказательной медицины применение комбинации разработанных способов операций в конкретном клиническом случае.

Связь темы диссертации с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ университета

Работа выполнена в рамках комплексной научно-исследовательской темы кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России: «Диагностика и лечение патологии опорно-двигательной системы, в том числе с использованием биофизических факторов и биотехнологий, а также персонифицированного подхода к пациенту» (регистрационный номер научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы АААА-А19-119122590099-8, дата регистрации 25.12.2019).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Работа соответствует паспорту научной специальности 3.1.8. «Травматология и ортопедия»: экспериментальная и клиническая разработка и совершенствование методов лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы, их последствий, а также предупреждение, диагностика и лечение возможных осложнений; изучение этиологии, патогенеза и распространённости врождённых и приобретённых заболеваний опорно-двигательной системы (позвоночника, грудной клетки, таза и конечностей).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликованы 34 печатных работы, из них 11 – в журналах, включённых ВАК Министерства науки и высшего образования РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук, из них 4 публикации индексированы в библиографической базе данных Scopus. Получены 2 патента РФ на изобретения, 3 патента РФ на полезные модели, 1 свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 297 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, шести глав собственных исследований, выводов,

практических рекомендаций, списка литературы, включающего в себя 433 источника, из них 170 отечественных и 263 зарубежных, и приложений. Работа иллюстрирована 76 рисунками и 38 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Дизайн исследования

В работу включены 343 пациента с сочетанными повреждениями ПКС и суставных поверхностей КС, находившихся на стационарном лечении в травматолого-ортопедическом отделении № 2 Клиник ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России с 2015 по 2023 гг. включительно. Работа выполнена в два этапа. На ретроспективном этапе был проведен анализ результатов обследования и хирургического лечения 187 пациентов с применением комбинации известных способов лечения. На проспективном этапе с учётом анализа причин неудовлетворительных результатов лечения пациентов ретроспективного этапа и с целью их улучшения была сформирована группа из 156 пациентов, у которых применяли комбинации новых способов хирургического лечения.

Дизайн исследования – клиническое моноцентровое неослепленное ретроспективно-проспективное когортное исследование (Рисунок 1). Дизайн и его блок-схема были разработаны на основании рекомендаций CONSORT 2010 (CONsolidated Standards Of Reporting Trials). Для всех пациентов было оформлено и подписано информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство, обработку персональных данных, а также использование результатов их обследования и лечения в научно-исследовательских целях.

Первый ретроспективный этап представлял собой моноцентровое неослепленное нерандомизированное клиническое исследование в двух параллельных подгруппах, соответствующих способам оперативного лечения. На втором проспективном этапе исследование было моноцентровым неослеплённым рандомизированным в четырёх параллельных подгруппах в зависимости от варианта комбинаций операций.

Распределение пациентов на подгруппы осуществляли посредством стратифицированной (послойной) рандомизации. В качестве стратификационных признаков учитывали: пол, возраст, длительность заболевания, характер травмы, область и площадь костно-хрящевого дефекта, степень повреждения хряща по ICRS.

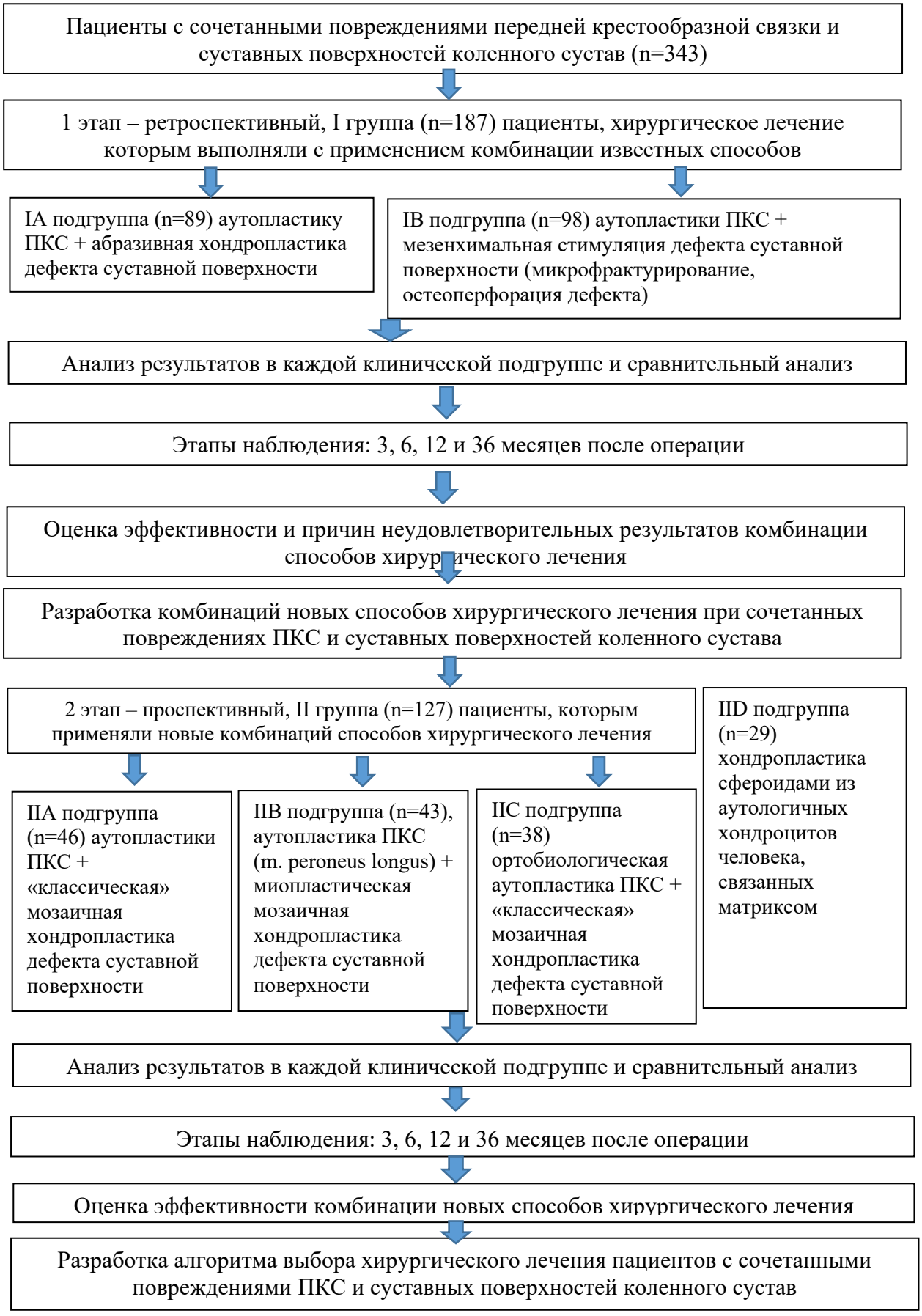


Рисунок 1 – Блок-схема дизайна исследования.

На первом ретроспективном этапе все пациенты были распределены на две клинические подгруппы (всего 187 человек):

- IA подгруппа (n=89) – выполняли комбинацию аутопластики ПКС известным способом с использованием свободного аутотрансплантата из сухожилий полусухожильной и нежной мышц, подготовленному по способу J.H. Lubowitz и абразивной хондропластики дефекта суставной поверхности;
- IB подгруппа (n=98) – выполняли комбинацию аутопластики ПКС аналогично IA подгруппе и мезенхимальной стимуляции области дефекта (микрофрактурирование, остеоперфорация).

На втором проспективном все пациенты были распределены на четыре клинические подгруппы (всего 156 человек):

- IIA подгруппа (n=46) – выполняли комбинацию аутопластики ПКС и «классической» мозаичной хондропластики дефекта суставной поверхности;
- IIB подгруппа (n=43) – выполняли комбинацию аутопластики ПКС (m. peroneus longus) и миопластической мозаичной хондропластики дефекта;
- IIC подгруппа (n=38) – выполняли комбинация новых способов ортобиологической аутопластики ПКС и «классической» мозаичной хондропластики дефекта хряща;
- IID подгруппа (n=29) – выполняли хондропластику сфероидами из аутохондроцитов человека, связанных матриксом (АО «ГЕНЕРИУМ», Россия).

Критерии включения пациентов в исследование были следующими: мужской и женский пол, возраст от 18 до 50 лет включительно; повреждение ПКС, установленное при клиническом осмотре и результатам МРТ; верифицированные по МРТ сухожилия полусухожильной и нежной мышц; отсутствие переломов или сопутствующих повреждений связочного аппарата КС, повреждений менисков с нестабильностью менискового полукольца; рентгенологические признаки ОА I или II стадии поврежденного КС по классификации Kellgren & Lawrence; наличие костно-хрящевого дефекта суставной поверхности мыщелков бедра II, III и IV степеней по ICRS; размер дефекта суставной поверхности: от 1 до 10 $см^2$ после хирургической обработки дефекта до 6 мм в глубину; отсутствие остеохондральных дефектов суставной поверхности большеберцовой кости; наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании.

Критериями невключения пациентов в исследование стали: площадь дефекта суставной поверхности более 10 $см^2$; повреждение контрлатерального КС; рентгенологически подтверждённый ОА III или IV стадии поврежденного КС по классификации Kellgren & Lawrence; двустороннее деструктивно-дистрофическое поражение суставов; вальгусная или варусная деформация повреждённого КС (отклонение более чем на 5° от механической оси); выраженная контрактура пораженного сустава; ревматоидный артрит, параинфекционный или инфекционный артрит и состояния после этих заболеваний; наличие внутри- и/или околосуставного воспалительного процесса в области КС, системной патологии соединительной ткани; алиментарно-конституциональное ожирение II степени и выше (ИМТ > 30 $кг/м^2$); беременность и запланированная беременность (невозможность проведения МРТ), период лактации.

Критерии исключения пациентов из исследования были следующими: отзыв пациентом информированного согласия на участие в исследовании; наступление беременности у пациентки-участницы исследования; необходимость проведения повторной операции на поврежденном КС; невыполнение программы послеоперационной реабилитации; отказ пациента от участия в исследовании; невозможность получения от него полного комплекса клинических, лучевых и функциональных данных. Пациентов, исключённых из исследования, не было.

Общая характеристика пациентов

Сравнение подгрупп пациентов ретроспективного этапа по стратификационным признакам представлено в Таблице 1.

По длительности заболевания в обеих подгруппах отметили асимметричное распределение со смещением к подострому периоду, при этом у большинства он составлял от 3 до 12 месяцев: 77,5% в IA подгруппе и 82,7% во IB подгруппе (χ^2=1,12; p=0,44). Доли пациентов с длительностью анамнеза более 12 месяцев также были сопоставимы – 21,3% и 17,3% соответственно. По механизму травмы в обеих подгруппах было отмечено равномерное распределение: спортивные повреждения встречали у 50,6% и 50,0% соответственно, бытовые – во всех оставшихся случаях (χ^2=0,003; p=1,000). У большинства пациентов было отмечено преобладание поражения медиального мыщелка бедренной кости: 58,4% (IA подгруппа) и 57,1% (IB подгруппа). Повреждения латерального мыщелка бедренной кости составляли

29,2% и 29,6% соответственно, двусторонние дефекты были зарегистрированы у 12,4% и 13,3% в подгруппах соответственно (χ^2=0,05; p=0,978).

Таблица 1 – Стратифицированное распределение пациентов по клиническим подгруппам на ретроспективном этапе исследования

Признак	Подгруппа IA (n=89)	Подгруппа IB (n=98)	p-значение
Пол			
Мужской	56 (62,9%)	64 (65,3%)	0,762
Женский	33 (37,1%)	34 (34,7%)	
Возраст			
18-30 лет	30 (33,7%)	41 (41,8%)	0,292
31-40 лет	59 (66,3%)	57 (58,2%)	
Длительность анамнеза			
<3 месяцев	1 (1,1%)	0 (0,0%)	0,440
3-12 месяцев	69 (77,5%)	81 (82,7%)	
>12 месяцев	19 (21,3%)	17 (17,3%)	
Характер травмы			
Спортивная	45 (50,6%)	49 (50,0%)	1,000
Бытовая	44 (49,4%)	49 (50,0%)	
Область дефекта			
Медиальный мыщелок бедра	52 (58,4%)	56 (57,1%)	0,978
Латеральный мыщелок бедра	26 (29,2%)	29 (29,6%)	
Оба мыщелка бедра	11 (12,4%)	13 (13,3%)	
Площадь дефекта			
2,0-3,9 см²	14 (15,7%)	15 (15,3%)	0,991
4,0-5,9 см²	37 (41,6%)	43 (43,9%)	
6,0-7,9 см²	26 (29,2%)	27 (27,6%)	
8,0-10,0 см²	12 (13,5%)	13 (13,3%)	
Степень по ICRS			
ICRS II степени	23 (25,8%)	26 (26,5%)	0,987
ICRS III степени	52 (58,4%)	57 (58,2%)	
ICRS IV степени	14 (15,7%)	15 (15,3%)	

Площадь дефектов суставной поверхности у пациентов была преимущественно в диапазоне 4,0-5,9 см² (41,6% IA подгруппа и 43,9% во IB подгруппе, χ^2=0,16; p=0,991). Повреждения III степени по ICRS составляли доминирующую категорию и встречались в 58,4% случаях в IA подгруппе и 58,2% в IB подгруппе (χ^2=0,02; p=0,987). Это подтверждало высокую исходную тяжесть поражения суставной поверхности в подгруппах ретроспективного этапа.

Сравнение подгрупп пациентов проспективного этапа по стратификационным признакам представлено в Таблице 2.

Таблица 2 – Стратифицированное распределение пациентов по клиническим подгруппам на проспективном этапе исследования

Признак	Подгруппа IIA (n=46)	Подгруппа IIB (n=43)	Подгруппа IIC (n=38)	p-значение
Пол				
Мужской	29 (63,0%)	28 (65,1%)	24 (63,2%)	0,975
Женский	17 (37,0%)	15 (34,9%)	14 (36,8%)	
Возраст				
18-30 лет	20 (43,5%)	20 (46,5%)	16 (42,1%)	0,943
31-40 лет	25 (54,3%)	21 (48,8%)	21 (55,3%)	
41-50 лет	1 (2,2%)	2 (4,7%)	1 (2,6%)	
Длительность анамнеза				
3-12 месяцев	35 (76,1%)	32 (74,4%)	29 (76,3%)	0,976
>12 месяцев	11 (23,9%)	11 (25,6%)	9 (23,7%)	
Характер травмы				
Спортивная	22 (47,8%)	22 (51,2%)	19 (50,0%)	0,950
Бытовая	24 (52,2%)	21 (48,8%)	19 (50,0%)	
Область дефекта				
Медиальный мыщелок бедра	27 (58,7%)	24 (55,8%)	22 (57,9%)	0,999
Латеральный мыщелок бедра	13 (28,3%)	13 (30,2%)	11 (28,9%)	
Оба мыщелка бедра	6 (13,0%)	6 (14,0%)	5 (13,2%)	
Площадь дефекта				
2,0-3,9 см²	7 (15,2%)	7 (16,3%)	6 (15,8%)	1,000
4,0-5,9 см²	19 (41,3%)	17 (39,5%)	16 (42,1%)	
6,0-7,9 см²	14 (30,4%)	13 (30,2%)	11 (28,9%)	
8,0-10,0 см²	6 (13,0%)	6 (14,0%)	5 (13,2%)	
Степень по ICRS				
ICRS II степени	12 (26,1%)	12 (27,9%)	10 (26,3%)	1,000
ICRS III степени	27 (58,7%)	25 (58,1%)	22 (57,9%)	
ICRS IV степени	7 (15,2%)	6 (14,0%)	6 (15,8%)	

У всех пациентов распределение по длительности заболевания было асимметричным со смещением к подострому периоду, составляя у большинства пациентов от 3 до 12 месяцев: 76,1% в IIA подгруппе, 74,4% во IIB подгруппе и 76,3% в IIC подгруппе. Длительность анамнеза более 12 месяцев во всех подгруппах фиксировали в 23,9%, 25,6% и 23,7% наблюдений соответственно (χ^2=0,08; p=0,96).

По локализации дефектов во всех трех подгруппах отмечали равномерное межгрупповое распределение с преобладанием поражения медиального мыщелка бедренной кости: 58,7% в IIA подгруппе, 55,8% во IIB подгруппе и 57,9% – IIC

подгруппа. Наличие дефектов латерального мыщелка варьировало от 28,3% до 30,2%; комбинированные дефекты встречали в среднем у 13% пациентов всех подгрупп (χ^2=0,03; p=0,98).

Средний возраст пациентов составил 31,2±6,4 года для всех подгрупп, основной межквартильный возрастной интервал находился между 28 и 35 годами. По половому составу во всех подгруппах была отмечена устойчивая однородность с преобладанием мужчин. Так, во IIA подгруппе мужчины составляли 63,0%, во IIB – 65,1%, в IIC – 63,2%; женщины – 37,0%, 34,9% и 36,8% соответственно. Доверительные интервалы пересекались полностью по среднему возрасту (χ^2=0,21; p=0,975) и полу (χ^2=0,13; p=0,94), что подтверждало однородность распределения.

Площадь дефектов суставной поверхности варьировала от 4,0 до 7,9 см² (71,7% в IIA, 69,7% в IIB и 71,0% в IIC подгруппе). Статистически значимых групповых отличий не было отмечено. Преобладала III степень поражения по ICRS, составляя в среднем 58–59% всех повреждений (χ^2=0,004; p=0,99), что подчеркивало корректность стратификации, стабильность морфологического и анатомического профиля между подгруппами проспективного этапа.

Особое место на проспективном этапе занимала IID подгруппа (n=29), результаты лечения пациентов которой анализировали отдельно. Основные половозрастные, анамнестические и клинико-морфологические характеристики пациентов указанной подгруппы отличались высокой степенью сходства со всеми подгруппами проспективного этапа.

На ретроспективном и проспективном этапах оценку результатов обследования пациентов осуществляли перед лечением, через 3, 6, 12 и 36 месяцев после оперативного вмешательства.

Методы исследования

Применяли клиническое обследование пациентов, инструментальные методы диагностики, такие как рентгенография (аппараты «General Electric Healthcare «OEC 9800 Plus, «General Electric Healthcare» DEFINIUM 8000 и «Philips BV25E», Германия), магнитно-резонансная томография (аппараты «Achiev 1,5T», Philips, Германия) и компьютерная томография (аппараты «MX 8000», Philips, Нидерланды).

Для клинико-функциональной оценки состояния коленного сустава применяли шкалы-опросники: 2000 IKDC Subjective Knee Evaluation Form (IKDC) –

форму регистрации субъективной оценки КС; Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) – шкалу оценки исхода травмы и остеоартроза КС; Lysholm Knee Scoring Scale – шкала функционирования КС Лисхольма; Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC) – оценка остеоартрита университетами Западного Онтарио и МакМастера; Lequesne's Algofunctional Index (LAFI) – альгофункциональный индекс Лекена.

Использовали методы функциональной диагностики («МБН-Биомеханика» научно-медицинской фирмы МБН, Россия), выполняя электромиографию четырёхглавой и двуглавой мышц бедра и подометрию (коэффициент асимметрии и период опоры). Для оценки стабильности аутотрансплантата ПКС по данным МРТ рассчитывали индекс SNQ (signal-to-noise quotient – отношение сигнал/шум), а для морфологической оценки области дефекта суставной поверхности использовали шкалу MOCART. По данным КТ проводили количественную оценку расширения большеберцового тоннеля (РКТ) в % относительно диаметра сверления.

В качестве первичной конечной точки исследования (primary end-point) ретроспективного и проспективного этапов рассматривали показатели по шкалам опросникам IKDC и WOMAC, оцениваемые через 12 и 36 месяцев после вмешательства. Вторичными конечными точками (second end-point) являлись изменения показателей шкал-опросников KOOS, Lysholm Knee Scoring Scale, Lequesne's Algofunctional Index (LAFI), индекс SNQ, шкала MOCART в эти же сроки.

Статистический анализ всех данных был проведён в Центре доказательной медицины и биостатистики ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России с использованием программы IBM SPSS Statistics 25 PS.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты лечения пациентов ретроспективного этапа исследования

На ретроспективном этапе пациентам обеих подгрупп аутопластику ПКС выполняли известным способом свободным аутотрансплантатом (АТ) из сухожилий полусухожильной и нежной мышц. Подготовку и прошивание АТ проводили по способу J.H. Lubowitz по типу GraftLink, последовательно сшивая каждый пучок с формированием четырехпучковой структуры. В IA подгруппе в комбинации с аутопластикой ПКС выполняли абразивную хондропластику с помощью шейвера, электрокоагуляции, кюретки. В IB подгруппе выполняли микрофрактурирование.

Формировали отверстия – остеоперфорации дна дефекта глубиной до 4 мм при помощи артроскопического шила с расстоянием между отверстиями до 3 мм.

После хирургического лечения была отмечена положительная динамика восстановления клинико-функциональных показателей в обеих подгруппах. Через 6 и 12 месяцев после операции медианы баллов неуклонно росли для позитивно направленных шкал (IKDC, Lysholm, KOOS) и были снижены для шкал боли/неудобства (WOMAC, Лекена) относительно предыдущих этапов. Достигнутые улучшения к 12 месяцам по сравнению с 3 месяцами были статистически значимы во всех случаях ($p<0,001$ внутри подгрупп). Через 36 месяцев пациенты подгруппы IB имели более высокие суммарные баллы по шкале IKDC (79 против 74; $p<0,001$) и опроснику Lysholm (83 против 78; $p<0,001$), а также более благоприятные показатели по шкале KOOS (79 против 74; $p<0,001$).

Данные биомеханического исследования дополняли результаты клинико-функциональных шкал. Так, показатель «период опоры» увеличивался по мере реабилитации в обеих подгруппах: от 43,5% до операции до 54,4% к 36 месяцам в подгруппе IA и от 45,3% до 56,8% в подгруппе IB.

По коэффициенту SNQ наблюдали отчетливую тенденцию к снижению его значений с течением времени в обеих подгруппах, что отражало созревание регенерата. Медиана SNQ в подгруппе IA снизилась с 9,4 единиц в 6 месяцев до 7,1 единиц через 36 месяцев; в подгруппе IB – с 8,5 до 6,1 единиц соответственно. К 6 месяцам после операции РКТ (%) составил в среднем 25% в подгруппе IA и 23% в подгруппе IB, к 12 месяцам – 21% и 19% соответственно, а к 36 месяцам был снижен до 20% в подгруппе IA и 18% в подгруппе IB.

К 12 месяцам показатели по MOCART существенно выросли в обеих подгруппах (медиана 55 и 60 баллов соответственно). Изменения показателя по MOCART с 6 до 12 месяцев был статистически значимы в обеих подгруппах ($p<0,001$), отражая улучшение структуры регенерата. В период с 12 до 36 месяцев отмечали умеренное, но статистически значимое повышение показателя по шкале MOCART в обеих подгруппах ($p<0,001$), однако медианы оставались на прежнем уровне — 55 баллов в подгруппе IA и 60 баллов в подгруппе IB.

Критерием эффективности лечения пациентов ретроспективного этапа служила интегральная клинико-функциональная оценка, основанная на динамике

показателей шкал IKDC, Lysholm, KOOS и морфологического показателя по шкале MOCART, на основании которой исход лечения классифицировали как благоприятный или неблагоприятный (Таблица 3).

Таблица 3 – Виды и частота исходов в подгруппах IA и IB ретроспективного этапа исследования через 12 месяцев после операции

Подгруппа	Благоприятный исход, n (%)	Неблагоприятный исход, n (%)
Подгруппа IA (n=89)	30 (33,7%)	59 (66,3%)
Подгруппа IB (n=98)	53 (54,1%)	45 (45,9%)

$\chi^2 = 7,84$; $p = 0,005$

Через 12 месяцев относительный риск достижения благоприятного результата для подгруппы IB составил RR = 1,60 (95% ДИ 1,14–2,26), что отражало абсолютное увеличение частоты благоприятных исходов на 20,4%. Отношение шансов (ОШ = 2,32; 95% ДИ 1,28–4,19) также подтверждало преимущество хирургического лечения, применённого у пациентов подгруппы IB. Через 36 месяцев благоприятный исход сохранялся у 44 пациентов подгруппы IA (49,1%) и 61 пациента подгруппы IB (62,3%). Различия между подгруппами достигали границы статистической значимости (Таблица 4).

Таблица 4 – Виды и частота исходов в подгруппах IA и IB ретроспективного этапа через 36 месяцев после операции в подгруппах IA и IB

Подгруппа	Благоприятный исход, n (%)	Неблагоприятный исход, n (%)
Подгруппа IA (n=89)	44 (49,1%)	45 (50,9%)
Подгруппа IB (n=98)	61 (62,3%)	38 (38,7%)

$\chi^2 = 3,11$; $p = 0,078$

Относительный риск благоприятного исхода для подгруппы IB составил RR = 1,26 (95% ДИ 0,97–1,63), а абсолютное увеличение частоты благоприятных исходов достигало 12,8%. Отношение шансов (ОШ = 1,69; 95% ДИ 0,94–3,02) указывало на тенденцию в пользу способов лечения, примененных у пациентов в подгруппе IB, хотя статистическая значимость была менее выраженной.

Таким образом, полученные результаты свидетельствовали о сохранении более высокой эффективности комбинации аутопластики ПКС с микрофрактурированием области дефекта у пациентов IB подгруппы в отдалённом послеоперационном периоде по сравнению с подгруппой IA.

Подготовка аутотрансплантата ПКС по J.H. Lubowitz и принципу GraftLink неизбежно приводила к травматизации волокон, снижая его качество и прочность. Формирование АТ на отдельном препаровочном столике увеличивало риск его контаминации бактериальной флорой. При удалении культи ПКС всегда иссекали ткани, обладающие проприоцептивными нервными окончаниями, что впоследствии приводило к нарушению восстановления координации движений в суставе. При формировании костных тоннелей без культи ПКС отмечали неплотное прилегание АТ к стенкам и, как следствие, попадание внутрисуставной жидкости и нарушение его фиксации по принципу press-fit. Это приводило к расширению костных тоннелей с риском повреждения АТ и рецидивом нестабильности коленного сустава.

Немаловажное значение имело отсутствие хирургического или биологического влияния на субхондральную кость области костных тоннелей для трансплантата и области дефектов суставной поверхности бедренной кости. Выявленные различия результатов лечения пациентов подгрупп ретроспективного этапа в отдалённом периоде подтвердили целесообразность комбинированного хирургического подхода при сочетанных повреждениях КС, но продемонстрировали ограниченные возможности и недостатки комбинации известных способов.

Техника выполнения комбинированных операций пациентам проспективного этапа исследования

Пациентам IIA подгруппы выполняли комбинированное оперативное вмешательство, включающее аутопластику ПКС и «классическую» мозаичную костно-хрящевую аутопластику, предложенную L.Hangody (1993).

В IIB подгруппе всем пациентам аутопластику ПКС осуществляли АТ из сухожилия m. peroneus longus. Свободный четырёхпучковый АТ формировали по J.H. Lubowitz и принципу GraftLink. Аутопластику суставных поверхностей КС осуществляли по ранее предложенному нами способу (патент РФ на изобретение № 2484784 от 20.06.2013). Выполняли «классическую» мозаичную хондропластику с формированием несвободного мышечного лоскута из брюшка m. gracilis, который проводили под основание имплантированных костно-хрящевых аутотрансплантатов в области дефекта через созданный поперечный канал в метафизарной области Миопластический компонент позволял улучшить микроциркуляцию и устранить венозный застой в глубоких слоях метаэпифизарной зоны, улучшить трофику

субхондральной кости. Все этапы способа можно выполнять как открыто, так и видеоартроскопически (Рисунки 2, 3).

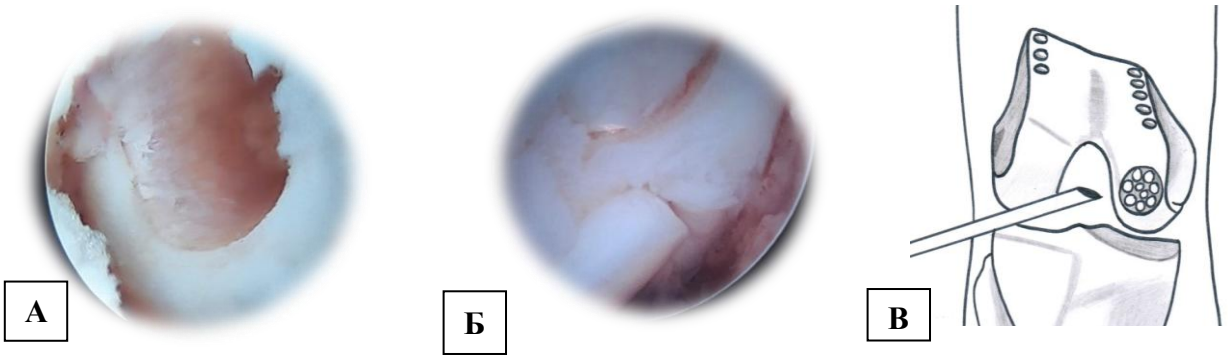


Рисунок 2 – Видеоартроскопическая картина этапов способа костно-хрящевой аутопластики в группе IIB: А – формирование тоннеля в области дефекта; Б – имплантация остеохондрального аутотрансплантата; В – схема операции

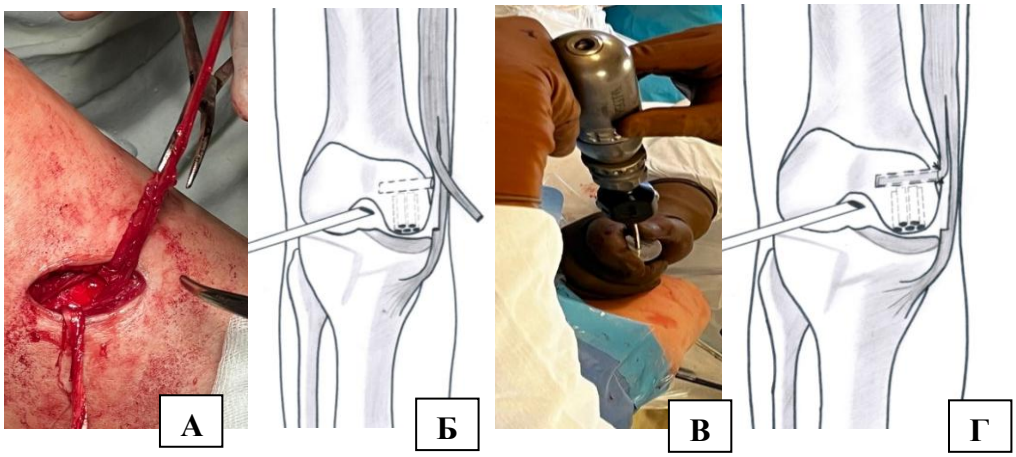


Рисунок 3 – Этапы выполнения аутопластики суставной поверхности в группе IIB: А – формирование мышечного лоскута; Б – схема формирования лоскута; В- создание поперечного канала в мыщелке бедренной кости; Г – схема расположения лоскута в канале

В IIC подгруппе пациентам выполняли комбинацию «классической» мозаичной хондропластики дефекта суставной поверхности по L.Hangody с двумя разработанными нами, патогенетически схожими новыми способами ортобиологической аутопластики ПКС: способом пластики связок и сухожилий (патент РФ на изобретение № 2818725 от 22.05.2023), который применяли у 20 пациентов, и способ артроскопической аутопластики ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 10.12.2024), который выполнили 18 пациентам.

Способ пластики связок и сухожилий (патент РФ на изобретение № 2818725 от 22.05.2023) предусматривает предварительную оценку размеров будущего АТ из сухожилий полусухожильной и нежной мышц по данным МРТ; атравматичный безыгольный захват АТ и его проведение с минимизацией повреждения сухожильных волокон; создание условий для биологической интеграции АТ посредством размещения на его поверхности мезенхимально-стромальной фракции костного мозга. Способ позволяет одновременно оптимизировать механические характеристики АТ и биологические условия формирования комплекса «трансплантат–кость» (Рисунок 4).

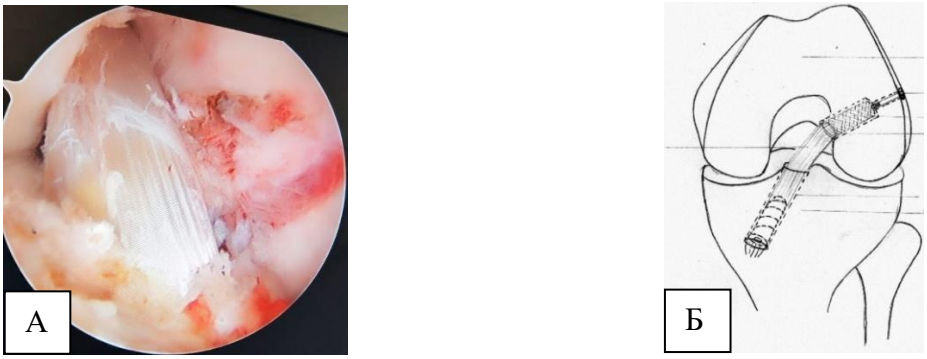


Рисунок 4 – Этап установки несвободного аутотрансплантата ПКС из сухожилий полусухожильной и нежной мышц в IIС подгруппе: А – видеоартроскопическая картина; Б – схема реконструкции ПКС

Для фиксации и проведения трансплантата у всех пациентов IIС подгруппы применяли новое устройство (патент РФ на полезную модель №217394 от 30.03.2023). Его конструкция представляет собой усечённый полый конус, образованный переплетёнными нитями, которые при натяжении способны к растяжению и сжатию.

Надёжная фиксация аутотрансплантата и предотвращение его соскальзывания и смещения обеспечивается якорной нитью. Устройство позволяет захватывать АТ без механического повреждения. При натяжении фиксирующей петли нагрузка на него распределяется равномерно. При затягивании устройства появляются ячейки, в которые и осуществляют нанесение ортобиологических субстанций на поверхность аутотрансплантата (Рисунок 5).

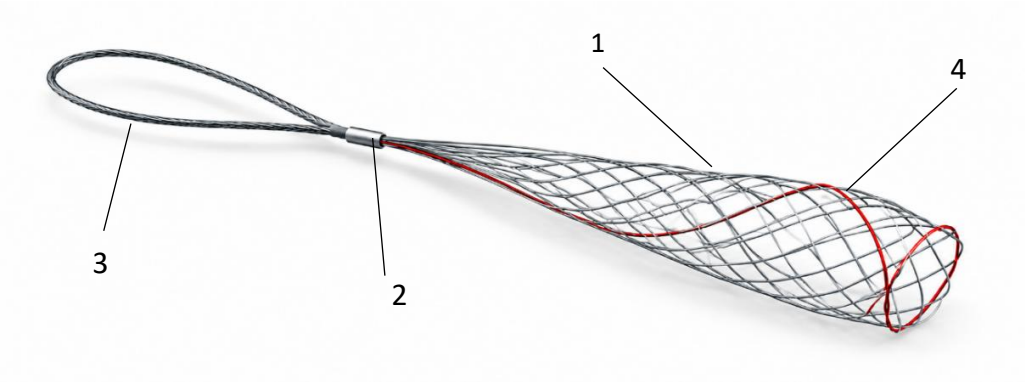


Рисунок 5 – Схема устройства для фиксации сухожильного трансплантата (патент РФ на полезную модель № 217394 от 30.03.2023): 1 – рабочая часть; 2 – переходная часть; 3 – фиксирующая петля; 4 – якорная нить (показана красным цветом)

В основе способа артроскопической аутопластики ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 10.12.2024) лежит сохранение культи переднемедиального пучка ПКС; забор и подготовка аутотрансплантата из тех же сухожилий группы harmstring с их спиралевидным закручиванием и аналогичной импрегнацией ортобиологическими факторами (Рисунки 6,7).

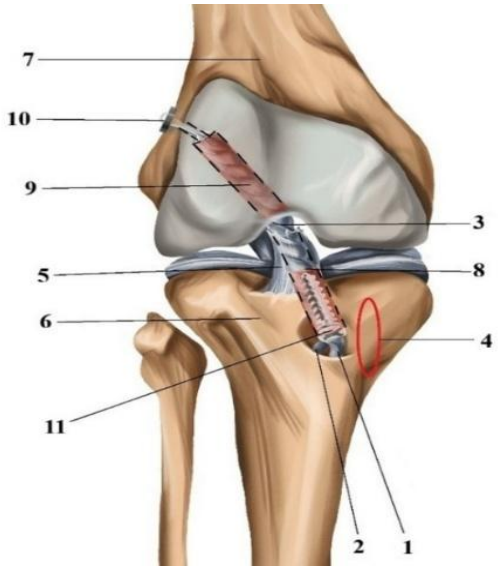


Рисунок 6 – Схема завершенной операции по новому способу артроскопической аутопластики ПКС: 1 - сухожилие полусухожильной мышцы; 2 - сухожилие нежной мышц; 3 – сформированный АТ; 4 – проекция доступа к сухожилиям; 5 – культя переднемедиального пучка ПКС; 6 – большеберцовая кость; 7 – бедренная кость; 8 – канал в большеберцовой кости и культе переднемедиального пучка ПКС; 9 – канал в бедренной кости; 10 – пуговица; 11 – интерферентный винт

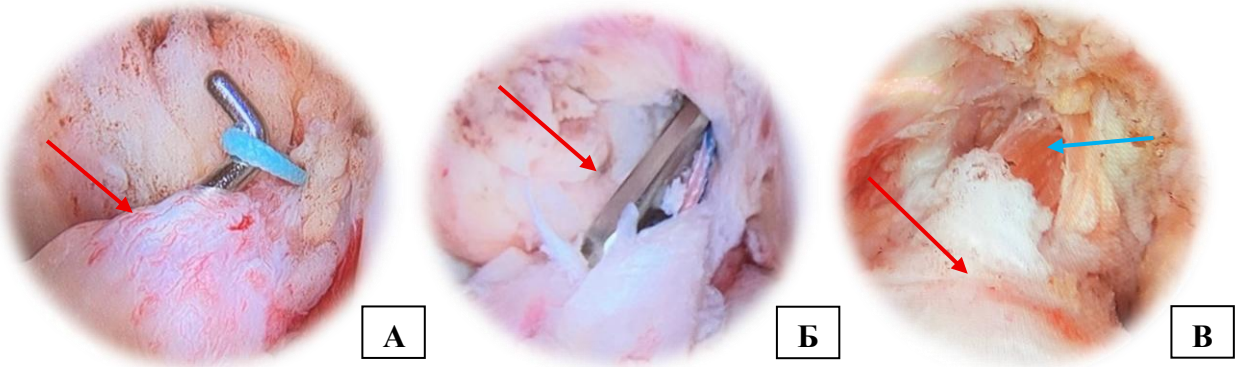
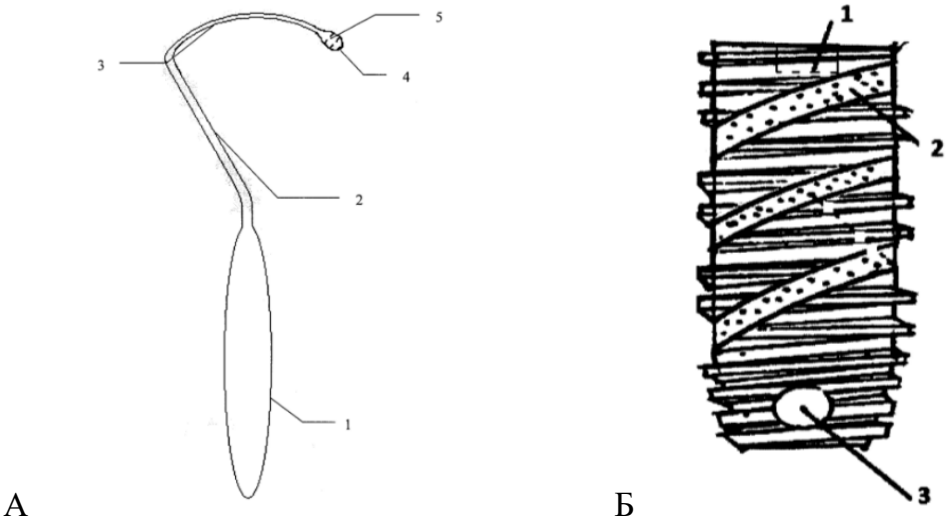


Рисунок 7 – Видеоартроскопическая картина этапов нового способа артроскопической аутопластики ПКС в IIС подгруппе: А – культя ПКС (указана красной стрелкой); Б – самозатягивающаяся кортикальная пуговица в культе ПКС ; В – фиксированный аутотрансплантат (показан синей стрелкой) с культей ПКС (показана красной стрелкой)

Помимо устройства для фиксации аутотрансплантата при выполнении комбинированных вмешательств применяли другие разработанные нами технические решения (Рисунок 8).



А Б

Рисунок 8 – Схемы новых инструментов: А - инструмент для транспозиции мышц и сухожилий: 1 – рукоятка; 2 – цилиндрическая рабочая часть; 3 – тупой крючок; 4 – расширение каплевидной формы; 5 – сквозное отверстие в каплевидном расширении; Б - интерферентный винт для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале: 1 -резьба; 2 – спиральный канал; 3 – сквозное отверстие.

Инструмент для транспозиции мышц и сухожилий (патент РФ на полезную модель №167160 от 27.12.2016) разработан для обеспечения атравматичности забора, перемещения сухожилий мышц (в частности, m. semitendinosus, m. gracilis, m. peroneus longus). Он представляет собой тупой крючок с хордой и окончанием каплевидной формы диаметром до 4 мм с овальным сквозным отверстием по оси рабочей части (Рисунок 8 А). Фиксацию аутотрансплантата ПКС в костных туннелях осуществляли, в том числе, с применением интерферентного винта для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале (патент РФ на полезную модель № 169955 от 07.04.2017 г.). Винт обеспечивал плотную посадку трансплантата в костном туннеле с минимизацией его повреждения (Рисунок 8Б).

Пациентам подгруппы II D (29 человек) для замещения дефектов суставной поверхности выполняли хондропластику сфероидами из аутохондроцитов человека, связанных матриксом (АО «ГЕНЕРИУМ», Россия) – Рисунок 9.

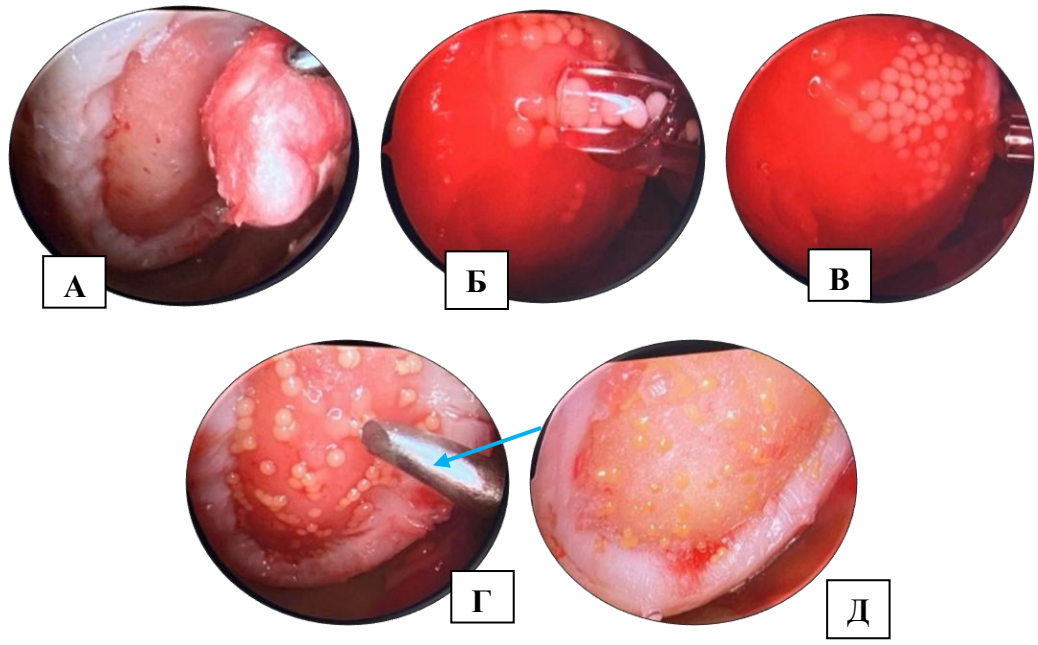


Рисунок 9 – Этапы имплантации сфероидов из аутологичных хондроцитов человека, связанных матриксом (АО «ГЕНЕРИУМ», Россия) в II D подгруппе: А – подготовка дна дефекта; Б – подведение катетера со сфероидами к дефекту; В – сфероиды сгруппированы на поверхности дефекта; Г – равномерное распределение сфероидов по поверхности с помощью шила для микрофрактуринга (синяя стрелка); Д – вид сфероидов на поверхности дефекта

Способ состоял из двух этапов. На первом этапе при видеоартроскопии наряду с необходимыми манипуляциями в КС выполняли биопсию гиалинового хряща. Пробирки с биоптатом, цельной кровью для культивирования аутохондроцитов и архивными образцами маркировали и отправляли в цех производства биомедицинских клеточных продуктов АО «ГЕНЕРИУМ» для изготовления сфероидов. Через 5-6 недель выполняли второй этап операции – имплантацию сфероидов на область обработанного дефекта суставной поверхности.

Результаты лечения пациентов проспективного этапа исследования

В отдаленные сроки (12 и 36 месяцев) значения по шкале IKDC у пациентов групп сравнения стабилизировались на высоком уровне (Таблица 5).

Таблица 5 – Динамика показателей по шкале IKDC у пациентов подгрупп проспективного этапа исследования (Me [Q1; Q3])

Сроки наблюдения	Подгруппа IIA	Подгруппа IIB	Подгруппа IIC	Межгрупповые различия (Mann-Whitney)
До операции	52 (50;55)	53 (51;55)	53 (51,2;54,8)	IIA–IIB: 0,237 IIA–IIC: 0,319 IIB–IIC: 0,886
Через 3 месяца	68 (64,2;69)	66 (64;68)	74 (72;76)	IIA–IIB: 0,044 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
Через 6 месяцев	78 (70;84)	74 (68,5;79)	91 (76,5;95,5)	IIA–IIB: 0,064 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
Через 12 месяцев	83 (80;85)	81 (79;82)	90 (88;92)	IIA–IIB: 0,016 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
Через 36 месяцев	84 (81;88)	83 (80,5;85)	92 (90;94,8)	IIA–IIB: 0,074 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
По Wilcoxon	3м–6м: <0,001 3м–12м: <0,001 3м–36м: <0,001 6м–12м: 0,002 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,033	3м–6м: <0,001 3м–12м: <0,001 3м–36м: <0,001 6м–12м: <0,001 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,022	3м–6м: <0,001 3м–12м: <0,001 3м–36м: <0,001 6м–12м: 0,335 6м–36м: 0,056 12м–36м: 0,002	

В подгруппе IIC к 12 месяцам медиана показателя составила 90 (88;92) баллов, что было статистически выше, чем в подгруппах IIA (83 (80;85) балла) и IIB (81 (79;82) балл, $p<0,001$). Через 36 месяцев была аналогичная картина: подгруппа IIC –

92 (90;94,8) балла, IIA (84 (81;88) балла) и IIB (83 (80,5;85) балла; p<0,001). Различия между группами IIA и IIB к 36 месяцам сглаживались (p=0,07).

На Рисунке 10 представлена диаграмма динамики показателя по IKDC: видно, что во всех подгруппах результаты достоверно возросли после выполнения комбинированного вмешательства. При этом наилучшие результаты как в ближайшем, так и в отдалённом периоде наблюдали у пациентов подгруппы IIC, которым выполняли ортобиологическую аутопластику ПКС.

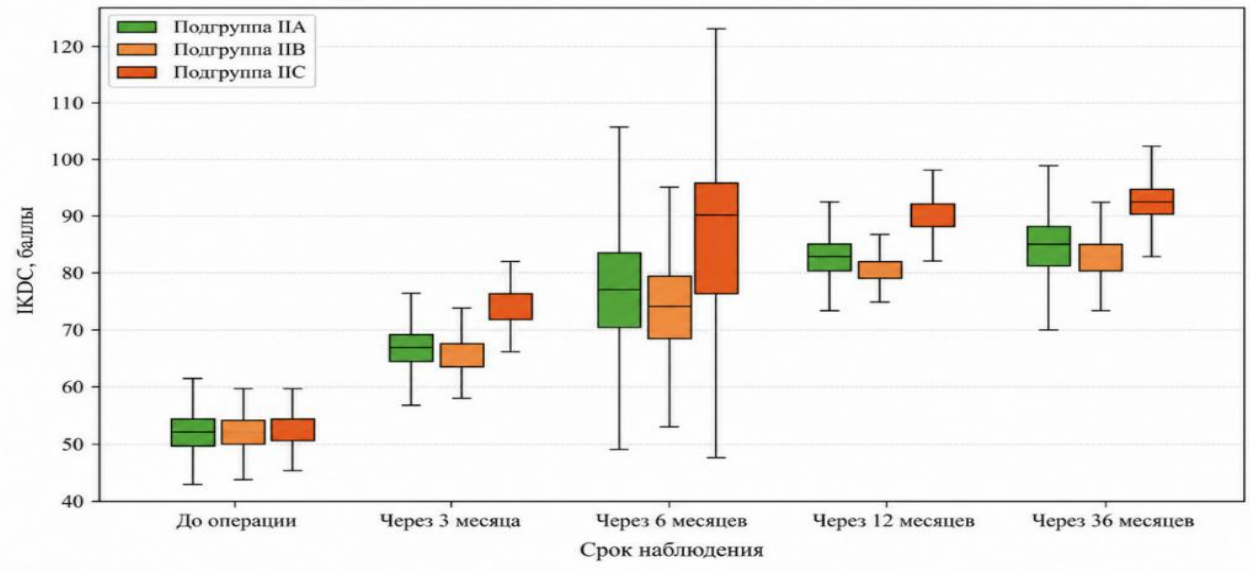


Рисунок 10 – Диаграмма динамики показателей шкалы IKDC (баллы) у пациентов подгрупп IIA, IIB и IIC проспективного этапа исследования

К 36 месяцам показатель по шкале Lysholm в подгруппе IIC сохранялся на уровне 94 (92;96) баллов – достоверно выше, чем в подгруппе IIA (88 (83;90); p<0,001) и подгруппе IIB (90 (84;92); p<0,001). Общая проверка динамики показателя по шкале Lysholm во времени: критерий Фридмана ($\chi^2 = 104,23$; $df = 4$; $p < 0,001$). Подгруппа IIC достоверно опережала обе другие (p<0,001), тогда как различия между подгруппой IIB и подгруппой IIA оставались статистически значимыми, но менее выраженными (p=0,047) – Таблица 6.

К 12 месяцам значения индекса KOOS во всех подгруппах достигли максимума: медиана составила 94 (92;96) балла в подгруппе IIB, что было выше, чем в подгруппе IIC (86 (82;90)) и IIA (85 (81;87); p<0,001. Через 36 месяцев индекс KOOS в подгруппе IIB сохранялся на уровне 96 (94;97) баллов — достоверно выше, чем в подгруппе IIC (87 (83;89)) и IIA (84 (82;89); p<0,001 – Таблица 7.

Таблица 6 – Динамика показателя шкалы Lysholm (баллы) у пациентов подгрупп проспективного исследования (Me [Q1; Q3])

Сроки	Подгруппа IIA	Подгруппа IIB	Подгруппа IIC	Межгрупповые различия (Mann–Whitney)
До операции	70 (66;72)	70 (66;72)	69 (66;72)	IIA–IIB: 0,783 IIA–IIC: 0,510 IIB–IIC: 0,669
Через 3 месяца	79 (77;82)	80 (77;82)	76 (74;79)	IIA–IIB: 0,424 IIA–IIC: 0,003 IIB–IIC: <0,001
Через 6 месяцев	84 (82;87)	87 (81;89)	90 (71;92)	IIA–IIB: 0,327 IIA–IIC: 0,088 IIB–IIC: 0,322
Через 12 месяцев	88 (83;90)	90 (84;92)	92 (89;94)	IIA–IIB: 0,074 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: 0,005
Через 36 месяцев	88 (83;90)	90 (84;92)	94 (92;96)	IIA–IIB: 0,056 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
По Wilcoxon	3м–6м, 3м–12м, 3м–36м, 6м–12м, 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,317	3м–6м, 3м–12м, 3м–36м, 6м–12м, 6м–36м:<0,001 12м–36м: 0,457	3м–6м:0,002 3м–12м, 3м–36м, 6м–12м, 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,003	

Таблица 7 – Динамика показателя шкалы KOOS (баллы) у пациентов подгрупп проспективного исследования (Me [Q1; Q3])

Сроки наблюдения	Подгруппа IIA	Подгруппа IIB	Подгруппа IIC	Межгрупповые различия (Mann–Whitney)
До операции	55 (52;57)	53 (51;56)	54 (52;56)	IIA–IIB: 0,147 IIA–IIC: 0,273 IIB–IIC: 0,812
Через 3 месяца	69 (69;71)	78 (76;81)	72 (70;74)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: 0,004 IIB–IIC: <0,001
Через 6 месяцев	77 (74;81)	91 (79;96)	80 (74;85)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: 0,065 IIB–IIC: <0,001
Через 12 месяцев	85 (81;87)	94 (92;96)	86 (82;90)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: 0,079 IIB–IIC: <0,001
Через 36 месяцев	84 (82;89)	96 (94;97)	87 (83;89)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: 0,099 IIB–IIC: <0,001
По Wilcoxon	<0,001 между всеми сроками наблюдения		<0,001 между сроками, кроме 12м–36м: 0,032	

Через 36 месяцев после вмешательства сохранялись межгрупповые отличия по показателю SNQ. Подгруппа IIB имела наибольший показатель SNQ – медиана 7,2 (6,6;7,9), что было заметно выше, чем в подгруппе IIA – 5,2 (4,6;5,9) и особенно в подгруппе IIC – 3,6 (2,8;4,4); p<0,001 для всех пар сравнений.

К 12 месяцам показатель РКТ (%) несколько снизился во всех группах, составив 19% (подгруппа IIB), 18% (подгруппа IIA) и 15% (подгруппа IIC). Подгруппа IIB все еще имела преимущество над подгруппой IIA (p<0,001) и подгруппой IIC (p<0,001), а у подгруппы IIC процент был наименьшим (p<0,001 при сравнении с подгруппой IIA).

В отдаленном периоде (36 месяцев) после операции тенденции сохранились: подгруппа IIB – 18%, подгруппа IIA – 17%, подгруппа IIC – 14%. Разница между подгруппами IIB и IIA к 3 году стала достоверной (p<0,001), так же как и между подгруппой IIB и IIC (p<0,001) и между подгруппами IIA и IIC (p<0,001).

К 12 месяцу после вмешательства наблюдали существенный прогресс в качестве регенерата во всех подгруппах. Показатель по шкале MOCART увеличился до 65 (65;70) в подгруппе IIA, до 90 (85;90) в подгруппе IIB и 80 (75;80) в подгруппе IIC (Таблица 8). Через 36 месяцев сохранялось преимущество применения комбинации способов у пациентов подгруппы IIB: показатель по шкале MOCART – 85 (80;90) баллов, в подгруппе IIC – 75 (70;80), в подгруппе IIA – 65 (65;70); между всеми группами были статистически значимые отличия (p<0,001) – Рисунок 11.

Таблица 8 – Динамика показателя по шкале MOCART (баллы) по МРТ коленного сустава у пациентов подгрупп проспективного исследования (Me [Q1; Q3])

Сроки наблюдения	Подгруппа IIA	Подгруппа IIB	Подгруппа IIC	Межгрупповые различия (Mann–Whitney)
Через 6 месяцев	40 (36,2;40)	50 (50;55)	45 (41,2;50)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
Через 12 месяцев	65 (65;70)	90 (85;90)	80 (75;80)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
Через 36 месяцев	65 (65;70)	85 (80;90)	75 (70;80)	IIA–IIB: <0,001 IIA–IIC: <0,001 IIB–IIC: <0,001
По Wilcoxon	6м–12м: <0,001 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,350	6м–12м: <0,001 6м–36м: <0,001 12м–36м: <0,001	6м–12м: <0,001 6м–36м: <0,001 12м–36м: 0,001	

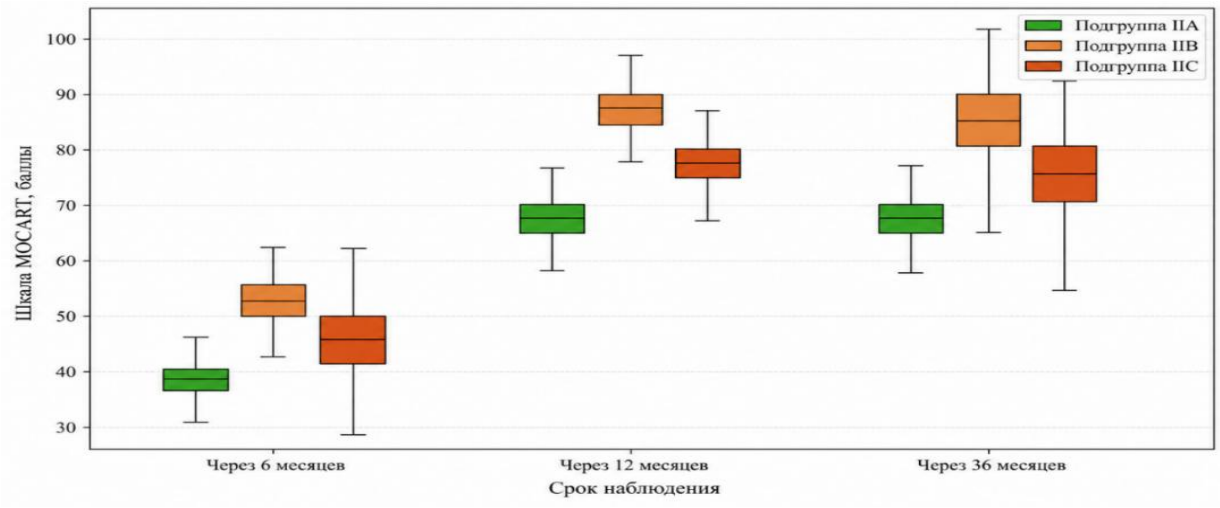


Рисунок 11 – Диаграмма динамики показателя по шкале MOCART по данным МРТ коленного сустава у пациентов подгрупп IIA, IIB и IIC проспективного этапа исследования

В подгруппе IID, в которой пациентам выполняли только хондропластику дефектов суставной поверхности сфероидами из аутологичных хондроцитов без пластики ПКС результаты оценивали изолировано. До операции средний балл по шкале IKDC в подгруппе IID составил 53 (40;61) балла. Уже через 3 месяца после операции был отмечен достоверный рост показателя до 71 (62; 77) балла, достигая к 12 месяцам значения 86 (77; 90) и 36 месяцам 88 (73;94) баллов.

До операции средний балл по шкале Lysholm в подгруппе IID составил 70 (62;76). Уже через 6 месяцев был отмечен достоверный рост показателя до 89 (84; 92), а к 36 месяцам до 92 (86;95). Качество регенерата суставной поверхности в этой подгруппе было очень высоким и превосходило результаты по шкале MOCART в основных подгруппах проспективного исследования. Так, через 6 месяцев показатель по шкале MOCART в подгруппе IID составил – 60 (55;65) баллов, достигая к 12 месяцам 90 (90; 95) и к 36 месяцам 95 (95;100) баллов.

Оценка эффективности лечения пациентов проспективного этапа исследования

Критерием эффективности хирургического лечения пациентов служила интегральная клинико-функциональная оценка, основанная на динамике шкал IKDC, Lysholm, KOOS и показателя по шкале MOCART, на основании чего исход лечения классифицировали как благоприятный или неблагоприятный. Виды и

частота исходов через 12 месяцев после комбинированных вмешательств в подгруппах проспективного исследования показаны в Таблице 9.

Таблица 9 – Виды и частота исходов через 12 месяцев после комбинированных вмешательств в подгруппах проспективного исследования

Подгруппа	Благоприятный исход, n (%)	Неблагоприятный исход, n (%)
Подгруппа IIA (n=46)	28 (60,9%)	18 (39,1%)
Подгруппа IIB (n=43)	28 (65,1%)	15 (34,9%)
Подгруппа IIC (n=38)	27 (71,1%)	11 (28,9%)

χ^2=0,95; p=0,62

Относительный риск (RR) благоприятного исхода при сравнении подгрупп IIC и IIA составил 1,17 (95% ДИ 0,86–1,59), что соответствовало повышению относительной пользы (ПОП) на 16,7% и повышению абсолютной пользы (ПАП) на 10,2%. Отношение шансов (ОШ) благоприятного исхода для подгруппы IIC и подгруппы IIA равнялось 1,58 (95% ДИ 0,63–3,95).

При сравнении подгруппы IIB с подгруппой IIA значения показателей эффективности были ниже: RR = 1,07 (95% ДИ 0,78–1,47), ПОП 6,98%, ПАП 4,3%, ЧБНЛ – 24, ОШ – 1,20 (95% ДИ 0,51–2,84). Аналогично, между подгруппой IIC и подгруппой IIB относительный риск составил 1,09 (95% ДИ 0,81–1,47), ПОП 9,1%, ПАП 5,9%, ЧБНЛ – 17, ОШ – 1,31 (95% ДИ 0,51–3,37).

Таким образом, на сроке 12 месяцев ни одна из комбинаций способов хирургической реконструкции не продемонстрировала статистически значимого преимущества по частоте благоприятных исходов, хотя результаты подгруппы IIC показывали некоторую тенденцию к лучшим результатам по сравнению с подгруппами IIA и IIB.

Виды и частота исходов через 36 месяцев после комбинированных вмешательств в подгруппах проспективного исследования показаны в Таблице 10.

Таблица 10 – Виды и частота исходов через 36 месяцев после комбинированных вмешательств в подгруппах проспективного исследования

Подгруппа	Благоприятный исход, n (%)	Неблагоприятный исход, n (%)
Подгруппа IIA (n=46)	35 (76,1%)	11 (23,9%)
Подгруппа IIB (n=43)	33 (76,7%)	10 (23,3%)
Подгруппа IIC (n=38)	30 (78,9%)	8 (21,1%)

χ^2 = 0,10; p = 0,95

Через 36 месяцев после операции доля благоприятных исходов увеличилась во всех подгруппах и составила 76,1% в подгруппе IIA, 76,7% в подгруппе IIB и 78,9% в подгруппе IIC. Различия между подгруппами по-прежнему были статистически незначимы (χ^2=0,10; *p*=0,95). Относительный риск благоприятного исхода в подгруппе IIC по сравнению с подгруппой IIA составил 1,04 (95% ДИ 0,82–1,31), ПОП – 3,8%, ПАП – 2,9%, ЧБНЛ – 35; ОШ – 1,18 (95% ДИ 0,42–3,31). Между подгруппами IIB и IIA показатели оказались практически одинаковыми (RR=1,01; 95% ДИ 0,80–1,27), что соответствовало ПОП 0,9% и ПАП 0,66% (ЧБНЛ – 152); отношению шансов – 1,04 (95% ДИ 0,39–2,76). Сходная картина была отмечена при сопоставлении результатов подгруппы IIC и IIB RR = 1,03 (95% ДИ 0,82–1,30), ПОП 2,9%, ПАП 2,2%, ЧБНЛ –45, ОШ – 1,14 (95% ДИ 0,40–3,26).

Показательным являлось то, что через 36 месяцев частота благоприятных исходов во всех трёх подгруппах проспективного этапа исследования достигла высокого уровня и составила 76,1% в IIA, 76,7% в IIB и 78,9% в IIC, при отсутствии статистически значимых межгрупповых различий (χ^2=0,10; p=0,95). Вместе с тем, детальный анализ клинико-функциональных и морфологических показателей выявил закономерные различия между использованными вариантами комбинации реконструктивных вмешательств.

Алгоритм выбора тактики реконструктивно-восстановительной хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава

Предложенный алгоритм выбора хирургической тактики основан на стратификационных признаках с учётом срока, прошедшего с момента травмы, площади и глубины костно-хрящевого дефекта по ICRS, его локализации, возможности использования сухожилий полусухожильной и тонкой мышц для реконструкции. Алгоритм базируется на результатах ретроспективного, проспективного и этиопатогенетического анализа, отражает клинически обоснованные варианты хирургических реконструктивно-восстановительных вмешательств. Графически алгоритм представлен в виде дерева принятия решений, отражающего последовательный выбор хирургической тактики у пациентов с сочетанными повреждениями ПКС и суставных поверхностей коленного сустава (Рисунок 12).

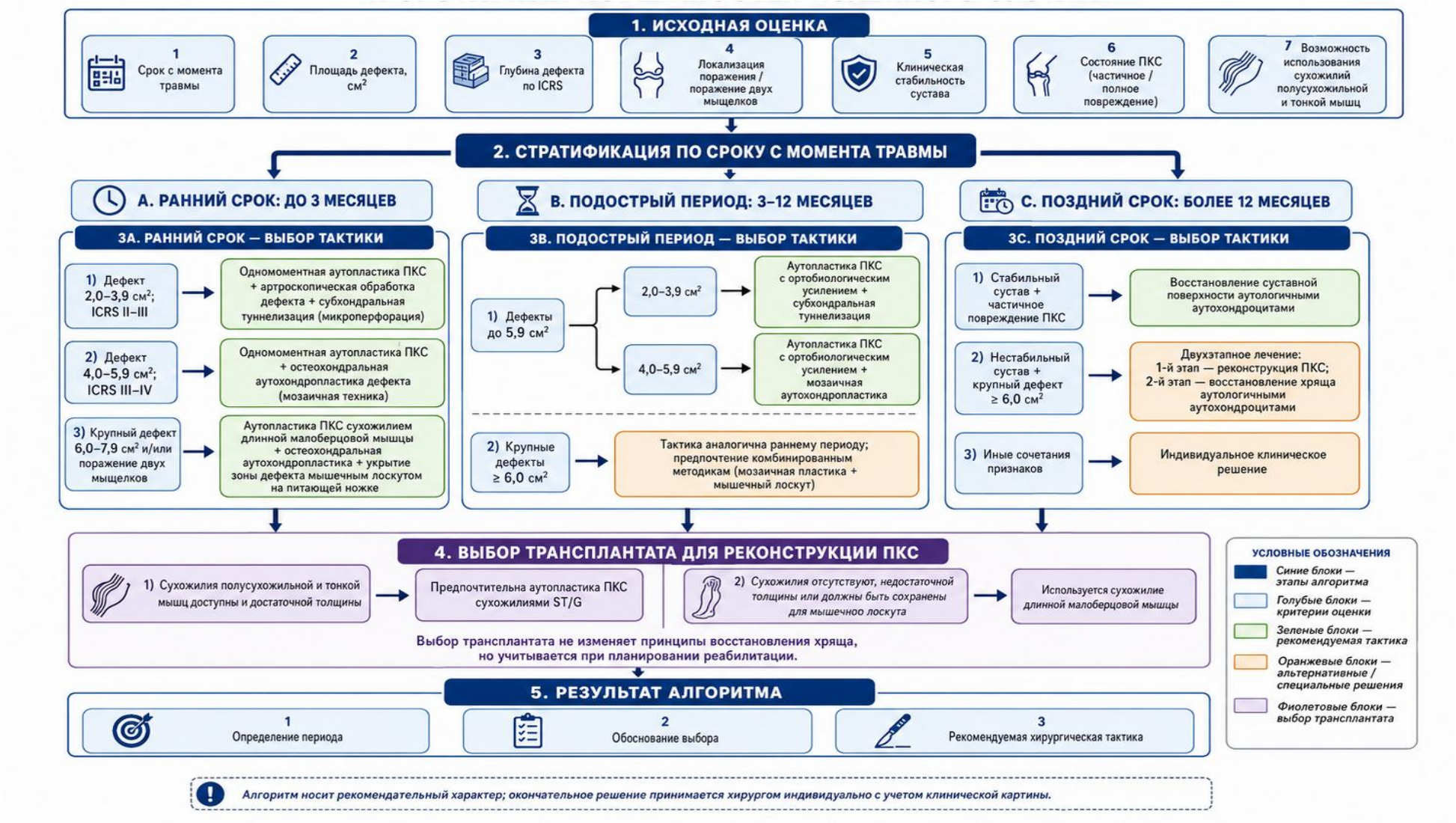


Рисунок 12 – Блок-схема алгоритма выбора тактики реконструктивно-пластической хирургии при сочетанных повреждениях передней крестообразной связки и суставных поверхностей коленного сустава

Первый уровень дерева принятия решений включает стратификацию пациентов по сроку с момента травмы: ранний срок – до 3 месяцев, подострый период – от 3 до 12 месяцев, поздний срок – более 12 месяцев. Для каждого временного периода выделены отдельные клинические варианты, определяющие дальнейший выбор хирургического вмешательства. При раннем сроке после травмы алгоритм дополнительно учитывает площадь и глубину дефекта хряща: малый дефект 2,0-3,9 см² при ICRS II-III, дефект средней площади 4,0-5,9 см² при ICRS III-IV, а также крупный дефект 6,0-7,9 см² и/или поражение двух мыщелков.

Каждому из этих вариантов соответствует тактика лечения: одномоментная аутопластика ПКС с артроскопической обработкой дефекта и субхондральной туннелизацией; одномоментная аутопластика ПКС с остеохондральной аутохондропластикой дефекта; либо аутопластика ПКС сухожилием длинной малоберцовой мышцы в сочетании с остеохондральной аутохондропластикой и укрытием зоны дефекта мышечным лоскутом на питающей ножке.

На основании дерева принятия решений был создан интерактивный программный инструмент – «Программа выбора реконструктивно-восстановительной хирургической тактики при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей коленного сустава» (свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026688036 от 14.09.2026). К основным стратификационным признакам, применяемым в данном программном инструменте относят давность травмы, возраст и уровень активности пациента, наличие предшествующей реабилитации, выраженность субъективной нестабильности, результаты тестов Lachman, переднего выдвижного ящика и pivot-shift, состояние культи ПКС, локализация и площадь хрящевого дефекта, глубина поражения, состояние субхондральной кости и менисков.

В основе предложенного алгоритма лежит единая **концепция.** Её практическая реализация представляется в виде пяти взаимосвязанных уровней. Первый включает восстановление анатомической и ротационной стабильности КС. Выбор трансплантата и техники его проведения должен обеспечивать анатомичность, первичную прочность и условия для интеграции. Сохранение жизнеспособной культи ПКС способствует поддержанию сосудистого и проприоцептивного потенциала.

Второй уровень – восстановление суставной поверхности. Выбор технологии определяется морфологией дефекта. При ограниченных поверхностных повреждениях возможны методы абразивной или стимулирующей хондропластики. При вовлечении субхондральной зоны необходимы способы, обеспечивающие формирование опорной костной основы. При локальных глубоких дефектах мозаичная остеохондропластика позволяет одномоментно восстановить хрящевой и костный компоненты.

Третий уровень – реконструкция субхондральной кости. Субхондральное туннелирование, импакционная аутопластика и трансплантация остеохондральных блоков должны применяться дифференцированно. Их задача состоит не только в заполнении дефекта, но и в нормализации механических свойств зоны нагрузки, улучшении микроциркуляции и создании условий для устойчивой интеграции суставной поверхности.

Четвертый уровень – биологическая реконструкция. В настоящем исследовании оценены варианты, сочетающие механическую реконструкцию с сохранением культи, ортобиологическим воздействием и использованием васкуляризированного мышечного компонента. Полученные данные свидетельствуют, что подобное сопровождение особенно значимо в условиях сниженного регенераторного потенциала, значительного объема остеохондрального повреждения и необходимости ускорения интеграционных процессов.

Пятый уровень — функциональная реконструкция. Ее содержание включает поэтапное восстановление объема движений, контроль отека и боли, активацию четырехглавой мышцы, коррекцию асимметрии опоры, тренировку координации и постепенное возвращение пациента к нагрузкам. Критериями перехода между этапами должны служить не только сроки после операции, но и объективные показатели состояния коленного сустава.

Указанные уровни не являются автономными. Восстановление стабильности создает механические условия для защиты регенерата; реконструкция субхондральной кости обеспечивает опору; биологическое сопровождение определяет качество интеграции; функциональная реабилитация переводит анатомический результат в устойчивый двигательный навык. Только

последовательная реализация всех необходимых уровней обеспечивает патогенетическую завершенность лечения.

Доказательная основа концепции сформирована результатами ретроспективного и проспективного этапов настоящего исследования. В ретроспективных группах применение стандартной реконструкции ПКС в сочетании с абразивной хондропластикой или субхондральной туннелизацией обеспечивало клиническое улучшение, однако выраженность и устойчивость эффекта зависели от характера поражения суставной поверхности. Это подтвердило необходимость дифференцированного выбора технологии и учета состояния субхондральной зоны. На основании проведенного исследования сформулированы основные положения концепции.

1. Сочетанное повреждение ПКС и суставной поверхности КС является самостоятельной клинико-патогенетической формой внутрисуставной травмы, а не случайным сочетанием независимых дефектов.

2. Объектом реконструктивного воздействия является единый остеохондрально-связочный комплекс, включающий ПКС, хрящ, субхондральную кость, мениски и нейромышечные механизмы стабилизации.

3. Целью хирургии является восстановление функциональной целостности коленного сустава, а не только анатомической формы отдельных структур.

4. Полноценное восстановление суставной поверхности невозможно без учета и, при необходимости, реконструкции субхондральной кости.

5. Биологическое сопровождение является самостоятельным компонентом современной реконструктивно-восстановительной хирургии, поскольку определяет качество интеграции и ремоделирования трансплантированных тканей.

6. Хирургическая тактика должна быть персонализирована на основании стратификации патологического процесса по клиническим, морфологическим, биомеханическим и биологическим критериям.

7. Реабилитация является продолжением реконструктивного вмешательства и должна управляться объективными критериями восстановления функции.

8. Результат лечения должен оцениваться интегрально, с использованием клинических шкал, методов лучевой диагностики, электромиографии и методов анализа опорной функции.

В окончательном виде концепция реконструктивно-восстановительной хирургии при сочетанных повреждениях ПКС и суставных поверхностей определяется как система научно обоснованных принципов, рассматривающих сочетанное повреждение как единый клинико-патогенетический процесс и устанавливающих персонализированную стратегию восстановления анатомической, биологической, биомеханической и функциональной целостности остеохондрально-связочного комплекса посредством интеграции реконструктивных, ортобиологических и реабилитационных технологий.

ВЫВОДЫ

1. Сочетанное повреждение ПКС и суставных поверхностей коленного сустава представляет собой единый клинико-патогенетический комплекс, при котором хроническая нестабильность способствует прогрессированию повреждения суставного хряща и субхондральной кости, а отсутствие пластики остеохондрального дефекта ухудшает функциональные результаты реконструкции связки, что обосновывает необходимость одномоментной или последовательно спланированной хирургической реконструкции этих повреждений.

2. Определён клинико-анатомический профиль пациентов с сочетанными повреждениями ПКС и суставной поверхности, характеризующийся преимущественным поражением мужчин (62,9–65,3%) трудоспособного возраста с сопоставимой частотой спортивного и бытового травматизма, с дефектами медиального мыщелка бедренной кости (55,8–58,7%), площадью дефекта суставной поверхности 4,0–5,9 см² (39,5–43,9%) III степени по ICRS (57,9–58,7% случаев).

3. Ретроспективный сравнительный анализ показал преимущество сочетания аутопластики ПКС с субхондральной туннелизацией перед её комбинацией с абразивной хондропластикой: через 12 месяцев благоприятный исход был достигнут у 54,1% против 33,7% пациентов (χ^2=7,84; p=0,005); относительный риск достижения благоприятного исхода составил 1,60, ПАП – 20,4%, ЧБНЛ – 5; через 36 месяцев благоприятные исходы были отмечены в 62,3% против 49,1% случаев (χ^2=3,11; p=0,078) соответственно, что подтверждает преимущество мезенхимальной стимуляции; при этом комбинации известных способов были малоэффективны при крупных и глубоких остеохондральных дефектах.

4. Впервые разработаны и внедрены в клиническую практику новые способы при одномоментной реконструктивно-восстановительной хирургии коленного сустава: способ пластики связок и сухожилий (патент РФ на изобретение № 2818725 от 22.05.2023), способ артроскопической аутопластики ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 10.12.2024) в комбинации со способами аутопластики суставных поверхностей, основанные на единых ортобиологических принципах интеграции сухожильного трансплантата, замещении остеохондрального дефекта и восстановлении опорной функции субхондральной кости.

5. Разработаны и внедрены новые специализированные инструменты: инструмент для транспозиции мышц и сухожилий (патент РФ на полезную модель № 167160 от 27.12.2016); интерферентный винт для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале (патент РФ на полезную модель № 169955 от 07.04.2017); устройство для фиксации сухожильного трансплантата (патент РФ на полезную модель № 217394 от 30.03.2023), обеспечивающие оптимизацию и воспроизводимое выполнение комбинированных реконструктивно-восстановительных операций.

6. Предложенные комбинации известных и новых способов одномоментной реконструкции обеспечивают статистически значимое улучшение функции коленного сустава в группах сравнения: через 36 месяцев благоприятные результаты достигнуты у 76,1%, 76,7% и 78,9% пациентов (χ^2=0,10; p=0,95) соответственно, при этом наиболее высокие показатели IKDC (92 [90;94,8]) и наиболее полное восстановление параметров походки (период опоры 59,7 [57,6;61,1]%, коэффициент асимметрии 4,8 [4,4;5,8]) были получены у пациентов после ортобиологической реконструкции ПКС, что подтверждает её преимущество в восстановлении функции сустава.

7. Ортобиологическая пластика ПКС через 36 месяцев обеспечила наиболее благоприятную лигаментизацию аутотрансплантата ПКС (SNQ 3,6 [2,8;4,4]), χ^2=91,38; p<0,001, и минимальное расширение костных тоннелей (14 [12;14]), χ^2=88,17; p<0,001, тогда как выполнение миопластической мозаичной хондропластики позволило достичь наиболее высокого качества регенерата суставной поверхности (MOCART 85 [85;90] баллов, χ^2=93,45; p<0,001), что

обосновывает необходимость дифференцированного выбора комбинации способов реконструктивно-восстановительных операций.

8. Хондропластика с применением сфероидов из аутологичных хондроцитов человека, связанных матриксом, обеспечивает формирование высокого качества регенерата суставной поверхности: показатель по шкале MOCART увеличился с 60 до 95 баллов к 36 месяцам после операции, а благоприятные результаты лечения были достигнуты у 69,0% пациентов через 12 месяцев и у 79,3% через 36 месяцев после вмешательства.

9. Разработан и внедрён клинико-анатомически обоснованный алгоритм выбора тактики реконструктивно-восстановительной хирургии коленного сустава, основанный на последовательной оценке срока с момента травмы, стабильности сустава, состояния ПКС, локализации, площади и глубины дефекта суставной поверхности по ICRS, поражения субхондральной кости и доступности сухожильных аутотрансплантатов, что обеспечивает переход от унифицированного способа лечения к дифференцированному выбору комбинации хирургических вмешательств с учётом индивидуального сочетания связочных и остеохондральных повреждений у пациентов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При обследовании пациентов с сочетанными повреждениями коленного сустава следует оценивать его как единый остеохондрально-связочный комплекс, дифференцируя характер повреждения ПКС; локализацию, площадь и глубину дефекта суставной поверхности, а также состояние субхондральной кости и менисков.

2. Хирургическую тактику при сочетанных повреждениях необходимо выбирать персонализировано с учетом возраста, уровня активности пациента, давности повреждения, выраженности нестабильности сустава, состояния культи ПКС, менисков и морфологии остеохондрального дефекта.

3. При клинически значимой нестабильности коленного сустава и наличии повреждения суставной поверхности предпочтительно выполнять одноэтапною реконструкцию ПКС и восстановление остеохондрального дефекта.

4. При реконструкции ПКС следует обеспечивать анатомическое расположение костных каналов; сохранять культю связки; применять

ортобиологические технологии, в том числе, разработанный способ пластики связок и сухожилий и способ артроскопической аутопластики ПКС.

5. При выполнении комбинированных вмешательств целесообразно использовать разработанные технические решения: инструмент для транспозиции мышц и сухожилий, интерферентный винт для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале; устройство для фиксации сухожильного трансплантата.

6. Способ восстановления суставной поверхности коленного сустава следует выбирать в зависимости от глубины дефекта и состояния субхондральной кости: при поверхностных повреждениях применять стимулирующие методики, при глубоких локальных дефектах — способы остеохондрального замещения и клеточные технологии.

7. Объем операции при сочетанном повреждении коленного сустава должен соответствовать принципу патогенетической достаточности, устранять все клинически значимые компоненты.

8. Для определения комбинации оперативных вмешательств при сочетанном повреждении целесообразно руководствоваться разработанным клинико-анатомически обоснованным алгоритмом выбора тактики реконструктивно-восстановительной хирургии коленного сустава.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ПРОБЛЕМЫ

Перспективы включают совершенствование персонализированного предоперационного планирования с учетом клинических, инструментальных и функциональных данных и разработку прогностических моделей результатов хирургического лечения пациентов. Необходимы дальнейшее изучение остеохондральной регенерации и разработка новых ортобиологических и биоинженерных технологий, направленных на повышение эффективности реконструкции ПКС и восстановления суставной поверхности.

Перспективным является совершенствование объективного функционального мониторинга и персонализированной реабилитации пациентов; проведение многоцентровых проспективных исследований для внешней валидации разработанных хирургических подходов и алгоритма выбора тактики лечения; создание единой классификации сочетанных повреждений ПКС и суставных

поверхностей, позволяющей стандартизировать выбор реконструктивно-восстановительной тактики и оценку результатов лечения пациентов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Наш опыт артроскопического лечения пациентов с сочетанными повреждениями коленного сустава / Г. П. Котельников, Ю. В. Ларцев, Д. С. Кудашев, Ю.Д. Ким, С.Д. Зуев-Ратников // XI конгресс российского артроскопического общества, посвященный 130-летию со дня рождения академика Н.Н. Приорова, Москва, 22–25 апреля 2015 года. – Москва: Межрегиональная общественная организация "Человек и его здоровье", 2015. – С. 19-22.
2. Результаты применения нового способа мозаичной хондропластики полнослойных деструктивно-дистрофических дефектов суставных поверхностей коленного сустава / Г. П. Котельников, Ю. В. Ларцев, Д. С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников // Илизаровские чтения: материалы конференции. – Курган, 2016. – С. 196-197.
3. Применение нового способа аутопластики суставных поверхностей при лечении больных с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава Г. П. Котельников, Ю. В. Ларцев, Д. С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // Илизаровские чтения: материалы конференции. – Курган, 2016. – С. 198-199.
4. **Мозаичная хондропластика полнослойных дефектов суставных поверхностей коленного сустава при его деструктивно-дистрофических поражениях / Г. П. Котельников, Ю. В. Ларцев, Д. С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // Новости хирургии. – 2016. – Т. 24, № 5. – С. 473-481. – DOI 10.18484/2305-0047.2016.5.473.**
5. Применение нового способа аутопластики суставных поверхностей при лечении больных с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава / С. Д. Зуев-Ратников, Э. Кастаньеда, Д. С. Кудашев, И. С. Шорин // Год здравоохранения: перспективы развития отрасли: Материалы 51-й межрегиональной научно-практической медицинской конференции, Ульяновск, 19–20 мая 2016 года. – Ульяновск: Издательство "Артишок", 2016. – С. 487-489.
6. Результаты аутопластики суставных поверхностей при лечении больных с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; А.К. Повелихин; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // Форум травматологов-ортопедов Северного Кавказа: материалы форума. – Владикавказ; Москва, 2017. – С. 200-203.
7. Внутрисуставная оксигенотерапия у пациентов с остеоартрозом коленного сустава в раннем послеоперационном периоде после артроскопических вмешательств (статья в сборнике) / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; А.К. Повелихин; Д.С. Кудашев; Г.Э. Кастаньеда; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // Форум травматологов-ортопедов Северного Кавказа: материалы форума. – Владикавказ; Москва, 2017. – С. 203-206.
8. Кудашев, Д. С. Новый способ аутопластики дефектов суставной поверхности коленного сустава у больных с деструктивно-дистрофическими заболеваниями / Д. С. Кудашев, С. Д. Зуев-Ратников // Наука и инновации в медицине. – 2017. – № 3(7). – С. 45-49.
9. Опыт артроскопического лечения пациентов с сочетанными повреждениями коленного сустава / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников // Актуальные вопросы травматологии-ортопедии: форум Сибири и Дальнего Востока. – Красноярск: Эко-Пресс, 2017. – С. 76-80.

10. Аутопластика суставных поверхностей при лечении больных с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; А.К. Повелихин; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // Материалы научно-практической конференции. – Омск, 2017. – С. 53-54.
11. Опыт применения внутрисуставной оксигенотерапии у пациентов с остеоартрозом коленного сустава после артроскопического лечения / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; А.К. Повелихин; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, Г.Э. Кастаньеда; И.С. Шорин // Материалы научно-практической конференции. – Омск, 2017. – С. 136-137.
12. Оценка эффективности лечения пациентов старших возрастных групп с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава / Зуев-Ратников С.Д. // Клинические и фундаментальные аспекты геронтологии / под ред. Г.П. Котельникова, С.В. Булгаковой. – 2017. – С. 187-190.
13. Лихолатов, Н. Э. Анализ результатов лечения пациентов с деструктивно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава / Н. Э. Лихолатов, С. Д. Зуев-Ратников, Д. С. Кудашев // Неделя науки - 2017: МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОГО МОЛОДЁЖНОГО ФОРУМА С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, Ставрополь, 23–24 ноября 2017 года. – Ставрополь: Ставропольский государственный медицинский университет, 2017. – С. 394-396.
14. Миопластическая аутопластика суставной поверхности при лечении больных с остеоартрозом коленного сустава / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин // XI Всероссийский съезд травматологов-ортопедов. – Санкт-Петербург, 2018. – Т. 2. – С. 878-880.
15. Возможности артроскопического лечения пациентов с сочетанными повреждениями коленного сустава / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников // XI Всероссийский съезд травматологов-ортопедов. – Санкт-Петербург, 2018. – Т. 2. – С. 303-306.
16. Применение внутрисуставной оксигенотерапии у пациентов с остеоартрозом коленного сустава после артроскопического лечения / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, Г.Э. Кастаньеда; И.С. Шорин // XI Всероссийский съезд травматологов-ортопедов. – Санкт-Петербург, 2018. – Т. 2. – С. 306-308.
17. Results of Surgical Treatment in Patients with Destructive and Dystrophic Defects of Knee Joint Articular Cartilage / G.P. Kotelnikov, Yu.V. Lartsev, D.S. Kudashev, S.D. Zuev-Ratnikov, D.A. Rasputin, V.V. Kobzarev // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. – 2019. – Vol. 10, Issue 2. – P. 312-320.
18. Боль в медиальном отделе коленного сустава — дифференциальная диагностика / Г.П. Котельников; Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин; В.Г. Асатрян; В.А. Никоноров // Илизаровские чтения: материалы Международной научно-практической конференции. – Курган, 2021. – С. 153-155.
19. Сравнительный анализ способов оперативного лечения пациентов с деструктивно-дистрофическими хондральными дефектами коленного сустава / Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, И.С. Шорин; В.Г. Асатрян // Илизаровские чтения: материалы Международной научно-практической конференции. – Курган, 2021. – С. 173-174
20. Анализ среднесрочных и отдалённых результатов лечения пациентов со спонтанным (идиопатическим) остеонекрозом коленного сустава / Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев; С.Д.

Зуев-Ратников, И.С. Шорин; А.Н. Шерешовец // Илизаровские чтения: материалы Международной научно-практической конференции. – Курган, 2021. – С. 174-176.
21. Мозаичная хондропластика при остеоартрозе коленного сустава: нецелесообразность или перспектива? / Ю.В. Ларцев; Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников // V Международный конгресс Ассоциации ревмоортопедов. – Воронеж: Научная книга, 2021. – С. 70-71.
22. Возможности мозаичной хондропластики хрящевых дефектов суставных поверхностей коленного сустава при остеоартрозе / Ю.В. Ларцев, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, Д.А. Распутин, А.В. Шмельков, Ф.А. Баранов // Политравма. – 2022. – № 4. – С. 25-35. – DOI: 10.24412/1819-1495-2022-4-25-35.
23. Патогенетические и клинические аспекты остеоартроза и остеоартроз-ассоциированных дефектов хряща коленного сустава с позиций представлений о роли субхондральной кости / Г.П. Котельников, Ю.В. Ларцев, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, В.Г. Асатрян, Н.Д. Щербатов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 219-231. – DOI: 10.17816/VTO346679.
24. Современные методы оперативного лечения пациентов с повреждениями менисков (обзор литературы) / Г.П. Котельников, К.Э. Газиев, Ю.Д. Ким, С.Д. Зуев-Ратников // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 64-71.
25. Наш опыт применения костно-хрящевой аутопластики в лечении пациентов с остеохондральными дефектами надколенника / Г.П. Котельников, Ю.В. Ларцев, Д.С. Кудашев, Д.А. Долгушкин, С.Д. Зуев-Ратников, Н.Д. Щербатов, В.Г. Асатрян // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2023. – Т. 25, № 9. – С. 26-32.
26. Наш опыт применения нового способа оперативного лечения пателлофеморального артроза / Г.П. Котельников, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, В.Г. Асатрян, Н.Д. Щербатов // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2023. – № 4 (54). – С. 62-69. – DOI: 10.17238/2226-2016-2023-4-62-69.
27. Сравнительный анализ результатов лечения остеохондральных дефектов суставной поверхности коленного сустава, ассоциированных с повреждением передней крестообразной связки / Г.П. Котельников, Ю.В. Ларцев, Д.С. Кудашев, Д.А. Долгушкин, С.Д. Зуев-Ратников, Н.Д. Щербатов, В.Г. Асатрян, А.А. Князев // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 75-84. – DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-5-75-84.
28. Оперативное лечение хондральных дефектов коленного сустава и новый взгляд на роль и место мозаичной аутохондропластики / Г.П. Котельников, Д.С. Кудашев, Ю.В. Ларцев, С.Д. Зуев-Ратников, Д.А. Долгушкин, В.Г. Асатрян, Н.Д. Щербатов // Наука и инновации в медицине. – 2024. – Т. 9, № 3. – С. 222-230. – DOI: 10.35693/SIM553365.
29. Варианты пластики передней крестообразной связки / С.Д. Зуев-Ратников, Н.Д. Щербатов // XI Всероссийский Приоровский форум, посвящённый 100-летию профессора К.М. Сиваша: материалы форума. – Москва, 2024. – С. 304-305.
30. Восстановление суставных поверхностей коленного сустава: возможности и перспективы / Д.С. Кудашев; С.Д. Зуев-Ратников, В.Г. Асатрян; Н.Д. Щербатов // XI Всероссийский Приоровский форум, посвящённый 100-летию профессора К.М. Сиваша: сборник работ. – Москва, 2024. – С. 108-110.

31. Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутотрансплантатов / Г.П. Котельников, Н.Д. Щербатов, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников // Травматология и ортопедия России. – 2025. – Т. 31, № 3. – С. 50-60. – DOI: 10.17816/2311-2905-17725.

32. Анализ поздних и отдалённых результатов оперативного лечения пациентов с сочетанным повреждением хряща и передней крестообразной связки коленного сустава / Г.П. Котельников, С.Н. Измалков, Ю.В. Ларцев, Д.С. Кудашев, Н.Д. Щербатов, Д.А. Долгушкин, С.Д. Зуев-Ратников // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2025. – Т. 27, № 9. – С. 25-32. – DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2025-27-9-25-32.

33. Наш вариант пластики передней крестообразной связки / И.Д. Гальцев; С.Д. Зуев-Ратников, Н.Д. Щербатов // XII Всероссийский Приоровский форум, посвящённый 140-летию Н.Н. Приорова: сборник работ. – Москва, 2025. – С. 48-49.

34. Одновременное получение гемопоэтических и мезенхимальных стромальных клеток из одной пробы костного мозга / В.В. Болтовская, Л.Н. Кулагина, В.В. Россинская, Т.В. Старикова, С.Д. Зуев-Ратников // Оренбургский медицинский вестник. – 2025. – Т. 13, № S2(50). – С. 86.

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

1. Инструмент для транспозиции мышц и сухожилий / Ю. В. Ларцев, В. В. Кобзарев, С.Д. Зуев-Ратников // Патент на полезную модель № 167160 U1 РФ, Заявка № 2016126925/14: заявл. 04.07.2016: опубл. 27.12.2016.

2. Интерферентный винт для фиксации сухожильного трансплантата в костном канале / П. В. Рыжов, С. Д. Зуев-Ратников, А. В. Шмельков // Патент на полезную модель № 169955 U1 РФ, Заявка № 2016139448: заявл. 07.10.2016: опубл. 07.04.2017.

3. Устройство для фиксации сухожильного трансплантата / Г. П. Котельников, С. Д. Зуев-Ратников, Н. Д. Щербатов, Д.А. Долгушкин, Д.С. Кудашев, Д.А. Распутин, А.А. Богданов, В.Г. Асатрян, Н.А. Двояшкина // Патент на полезную модель № 217394 U1 РФ, Заявка № 2023104850: заявл. 02.03.2023: опубл. 30.03.2023.

4. Способ пластики связок и сухожилий / Г. П. Котельников, С. Д. Зуев-Ратников, Н. Д. Щербатов Д.А. Долгушкин, Д.С. Кудашев, Д.А. Распутин, А.А. Богданов, В.Г. Асатрян, А.А. Князев // Патент № 2818725 C1 РФ, Заявка № 2023113199: заявл. 22.05.2023: опубл. 03.05.2024.

5. Способ артроскопической аутопластики передней крестообразной связки / Г. П. Котельников, Н. Д. Щербатов, С. Д. Зуев-Ратников, Д.А. Долгушкин, Д.С. Кудашев, Д.А. Распутин, А.А. Богданов, В.Г. Асатрян, А.А. Князев // Патент № 2845123 C1 РФ, Заявка № 2024136891 заявл. 10.12.2024: опубл. 13.08.2025.

6. «Программа выбора реконструктивно-восстановительной хирургической тактики при сочетанных повреждениях передней крестообразной связки и суставных поверхностей коленного сустава» / Г. П. Котельников, Д. С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников, Н.Д. Щербатов, Ю.В. Ларцев, Д.А. Долгушкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026688036 РФ: заявл. 09.09.2026: опубл. 14.09.2026.