

На правах рукописи

Щербатов Никита Дмитриевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С
ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ**

3.1.8. Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Самара 2025

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

Научный руководитель:

академик РАН,

доктор медицинских наук, профессор

Котельников Геннадий Петрович

Официальные оппоненты:

Ярыгин Николай Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и медицины катастроф

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 бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург.

Защита диссертация состоится «___» _____ 20__ года 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/2025/>) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ года.

Учёный секретарь диссертационного совета

кандидат медицинских наук, доцент

Д.А. Долгушкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Передняя крестообразная связка (ПКС) является одним из ключевых элементов, влияющих на биомеханику коленного сустава (Сапрыкин А.С. и соавт., 2022; Сучилин И.А. и соавт., 2021; Zhou P. et al., 2020). Повреждения ПКС составляют 3-5% всех травм коленного сустава среди спортсменов и физически активных людей (Котельников Г.П. и соавт., 2024; Kim S.H. et al., 2020). Несостоятельность ПКС приводит к развитию нестабильности сустава, вторичным повреждениям менисков, хряща и, в итоге, ускоренному развитию остеоартроза (Шорманов А.М. и соавт., 2018; Лычагин А.В. и соавт., 2020; Carter, H.M. et al., 2023; Lubowitz J. H. 2023).

ПКС характеризуется сложным анатомическим строением, включающим пучковую организацию волокон, особую васкуляризацию и иннервацию с проприоцептивной функцией. После реконструкции ПКС аутотрансплантат проходит интеграцию и лигаментизацию в условиях, отличающихся от исходных анатомо-функциональных и биологических параметров (Маланин Д.А. и соавт., 2020; Лазишвили Г.Д. и соавт., 2023; Kaaya, S. et al., 2024).

Всё это может снижать эффективность хирургического лечения, приводить к несостоятельности аутотрансплантата, расширению костных каналов и развитию нестабильности коленного сустава (Ярыгин Н.В. и соавт., 2020; Runer A. et al., 2023). Частота реруптур после первичной реконструкции ПКС варьирует от 0,7% до 10% случаев. Ревизионные операции выполняют у 1,5–5,7% пациентов (Корнилов Н.Н. и соавт., 2022; Гофер А.С. и соавт., 2023; Zhao D. et al., 2023).

Основными причинами развития нестабильности коленного сустава после пластики ПКС выступают технические ошибки позиционирования костных каналов (от 22 до 79%), повторные травмы (от 18 до 79%), биологическая недостаточность интеграции и лигаментизации аутотрансплантата (до 17%), ошибки в реабилитации и преждевременное возвращение пациентов к физической активности, не соответствующей стадиям ремоделирования связки до 15% случаев (Джамбинова В.А., 2019; Ahmad S. et al., 2019; Zhang K. et al., 2021).

Степень разработанности темы исследования

Общепринятой хирургической тактикой при повреждениях ПКС является её артроскопическая аутопластика, которая позволяет достичь успешных результатов

лечения в 75–97% случаев (Володин И.В. и соавт., 2022; Гончаров Е.Н. и соавт., 2022; Sun J. et al., 2020). При этом осуществляют формирование бедренного канала через антеромедиальный портал, проводя аутотрансплантат через точки, максимально приближенные к центру энтезиса ПКС, выполняя анатомическую пластику (Анастасиева Е.А. и соавт., 2020; Ahn G.Y et al., 2020).

Относительно выбора аутотрансплантата, его подготовки и типа фиксации среди специалистов до сих пор есть разные точки зрения (Михайлов И.Н. и соавт., 2021; Grassi A. et al., 2021; Min J.H. et al., 2024). При технике фиксации «all-inside» сохраняют наибольший объем костной ткани, но в отдаленные сроки в 15-35% случаях отмечают расширение костных каналов. Одной из причин этого считают фиксацию аутотрансплантата двумя накостными фиксаторами, когда вектор его смещения всегда стремится к прямой линии (Smith P.A. et al., 2020; Lin R. et al., 2022; Nukuto K. et al., 2023). Сластинин В.В. с соавторами (2021) показывают снижение частоты расширения костных каналов в два раза за счет выполнения гофрирующего шва для более плотного прилегания аутотрансплантата в кости и оригинальной методики определения изометричности его расположения.

Существуют исследования, связанные с органосохранными способами при восстановлении ПКС (Заяц В.В., 2020; Cavaignac E. et al., 2018; Vari N. et al., 2024). Романов Д.А. (2022) исследует возможность реинсерции культы ПКС, если срок от момента травмы составляет не более 6 недель. Известны способы применения ортобиологических субстанций с регенеративными, остеоиндуктивными и остеокондуктивными свойствами, влияющими на интеграцию и лигаментизацию трансплантата (Wang Z., et al., 2022, Cho E. at al., 2022).

Отсутствие физиологического энтезиса, дефицит васкуляризации и проприорецепции создают сложности для успешного восстановления функциональных свойств аутотрансплантата. Поэтому разработка и внедрение новых способов аутопластики ПКС в клиническую практику является актуальной и перспективной задачей травматологии и ортопедии.

Цель исследования

Улучшить результаты лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки за счет разработки и применения нового способа хирургического лечения и устройства для фиксации сухожильного аутотрансплантата.

Задачи исследования

1. Выявить частоту и виды осложнений при анализе литературных данных результатов хирургического лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки.
2. Разработать и внедрить в клиническую практику новое устройство для фиксации сухожильного аутотрансплантата
3. Предложить и применить новый способ хирургического лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки.
4. Сравнить функциональные результаты известного и нового способа хирургического лечения пациентов в послеоперационном периоде.
5. Оценить эффективность нового способа хирургического лечения пациентов с помощью критериев доказательной медицины.

Научная новизна исследования

Впервые разработано устройство для фиксации сухожильного трансплантата (патент РФ на полезную модель № 217394 от 30.03.2023).

Впервые разработан способ артроскопической аутопластики передней крестообразной связки (патент РФ на изобретение № 2845123 от 13.08.2025).

Доказана эффективность нового способа хирургического лечения пациентов с повреждением передней крестообразной связки как в раннем, так и в среднесрочном послеоперационном периодах.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанное устройство с захватным механизмом для аутотрансплантата ПКС сокращает время его подготовки и фиксации во время операции. Новый способ артроскопической аутопластики ПКС способствует снижению количества осложнений, связанных с расширением костных тоннелей, а также более быстрому функциональному восстановлению пациентов как в раннем через 6 месяцев, так и в среднесрочном периоде через 12 месяцев после операции по сравнению с применением известной методики.

Через 6 месяцев у пациентов, которым выполняли новый способ пластики ПКС, отмечали достоверное снижение индекса SNQ по данным MPT и показателя расширения костного тоннеля (PKT) по данным КТ, что косвенно отражает удовлетворительные результаты лигаментизации и интеграции аутотрансплантата.

Методология и методы исследования

Методология основана на поиске и анализе литературных источников по хирургическому лечению пациентов с повреждением ПКС. В соответствии с поставленной целью и задачами были разработаны план выполнения работы, ее дизайн. Выбраны объекты, разработаны критерии включения, невключения, исключения пациентов, метод рандомизации и стратификационные признаки. Выделены клинические группы, определены этапы наблюдения и комплекс методов исследования для оценки результатов, проведён сравнительный анализ клинических исходов с применением критериев доказательной медицины. Статистическую обработку полученного массива данных проводили с использованием программного обеспечения SPSS Statistics (IBM, США, лицензия №5725-A54) в Центре доказательной медицины и биostatистики ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России.

Положения, выносимые на защиту

1. Предложенное устройство позволяет повысить удобство фиксации и сократить время подготовки аутотрансплантата передней крестообразной связки.

2. Новый способ артроскопической аутопластики передней крестообразной связки при сравнении с известным способом позволяет достичь анатомически обоснованной, биомеханически стабильной фиксации аутотрансплантата с минимальным риском его миграции, снизить выраженность остаточных функциональных дефицитов.

3. Оптимизация хирургического лечения при повреждении передней крестообразной связки позволяет улучшить ранние и среднесрочные функциональные результаты, ускорив срок восстановления функции нижней конечности пациентов.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов исследования основана на достаточном объеме первичного клинического материала, современных методах диагностики и статистической обработке данных с учетом принципов доказательной медицины.

Апробация результатов работы

Результаты исследования были доложены автором на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аспирантские чтения – 2023: молодые ученые – медицине», г. Самара; межрегиональной конференции «Колокольцевские чтения. Ошибки и осложнения в травматологии и ортопедии», г.

Нижний Новгород, 2023г.; межрегиональной конференции «ЕОФ-Самара-2024», г. Самара, 2024 г.; II съезде травматологов-ортопедов Приволжского федерального округа; XV Межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эндопротезирования крупных суставов», г. Чебоксары, 2024 г.; XII Всероссийском Приоровском форуме, г. Москва, 2024 г.; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аспирантские чтения – 2025, г. Самара; V Евразийском ортопедическом форуме, г. Москва, 2025 г.

Внедрение результатов исследования

Новый способ оперативного лечения пациентов с повреждением ПКС и разработанное устройство внедрены в работу травматолого-ортопедических отделений № 1 и № 2 Клиник ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, ортопедического отделения № 1 ГБУЗ «Самарская областная клиническая больница им. В.Д. Середавина». Результаты исследования используют в учебном 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

Соискателем был обоснован и реализован новый способ артроскопической аутопластики ПКС, отработаны его клинические и организационные аспекты. Разработано устройство для фиксации сухожильного аутооттрансплантата, обеспечивающее оптимизацию вмешательства. Диссертант выполнил формирование гипотезы, определение целей и задач исследования, участвовал в непосредственном осуществлении клинических этапов – включении пациентов в исследование, комплексной предоперационной оценке, проведении и ассистировании при хирургических вмешательствах, наблюдении за пациентами в послеоперационном периоде. Занимался сбором, анализом и интерпретацией клинических данных, проводил статистическую обработку результатов, интеграцию полученных выводов в практическую деятельность и образовательные программы.

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 персонафицированного подхода к пациенту» (регистрационный номер научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы АААА-А19-111922590099-8, дата регистрации 25.12.2019).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту 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.

Список работ, опубликованных по теме диссертационного исследования

По материалам диссертационного исследования опубликовано 6 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования РФ, из них 1 статья в журнале, индексируемом в библиографической базе данных SCOPUS. Получены 1 патент РФ на полезную модель и 1 патент РФ на изобретение.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, трех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, содержащего 196 литературных источников: 75 отечественных и 121 зарубежный. Работа иллюстрирована 14 таблицами и 33 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Дизайн исследования – моноцентровое, неослепленное, проспективное рандомизированное клиническое исследование. Проведен анализ результатов обследования и оперативного лечения 76 пациентов с повреждением ПКС за период с января 2021 года по август 2024 года на базе травматолого-ортопедического отделения № 2 ФГБОУ ВО Клиники СамГМУ Минздрава России.

Критериями включения пациентов в исследование были: повреждение ПКС и сохранение её культи, наличие сухожилий полусухожильной и нежной мышц по данным МРТ; отсутствие переломов и иных повреждений связочного аппарата

коленного сустава (задней крестообразной связки, медиальной коллатеральной связки, структур задне-латерального угла); возраст ≥ 18 лет. Критериями невключения были: руптура аутотрансплантата ПКС; повреждение контрлатерального коленного сустава; остеоартроз III-IV стадии по классификации Kellgren & Lawrence; повреждения мениска с нестабильностью менискового полукольца (горизонтальное, рампы, корня); остеохондральный дефект суставной поверхности мыщелка/ов бедренной кости III-IV степени по ICRS; ИМТ ≥ 35 кг/м²; трофические нарушения и гнойно-воспалительные процессы в области сегмента; декомпенсация сопутствующих хронических заболеваний.

Разделение пациентов на клинические группы осуществляли путем послышной рандомизации посредством стратифицированных признаков: пола, возраста, длительности анамнеза заболевания, причины повреждения ПКС. Основную группу составили 38 пациентов, которым был применен новый способ пластики ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 13.08.2025). Суть способа заключалась в использовании несвободного аутотрансплантата из сухожилий полусухожильной и нежной мышц, его подготовке в области оперативного доступа с помощью устройства с захватным механизмом (патент РФ на полезную модель №217394 от 30.03.2023); помещении под поверхностную фасцию голени на время выполнения внутрисуставных вмешательств; проведении трансплантата через сохранённую культю ПКС и его фиксации интерферентным биodeградируемым винтом в большеберцовой кости и «пуговицей» на бедренной кости.

В контрольную группу были включены 38 пациентов, операцию которым выполняли известным способом, заключающимся в использовании свободного четырехпучкового аутотрансплантата из сухожилий полусухожильной и нежной мышц, его подготовке по методике GraftLink (Lubowitz), удалении остатка культи ПКС, аналогичной фиксации трансплантата.

Анализ результатов лечения проводили до операции, через 3, 6 и 12 месяцев, что соответствовало ближайшему (окончание комплексной реабилитации), раннему (срок заживления аутотрансплантата) и среднесрочному периоду наблюдения.

Характеристика пациентов Возраст больных колебался от 19 до 47 лет, при этом среднее значение составило 32,1 года со стандартным отклонением 6,8 - основная масса испытуемых относилась к трудоспособному контингенту. При

анализе полового распределения было установлено, что мужчины (49 человек, 64,5%) составили преобладающую часть совокупности, тогда как доля женщин (27 человек) была 35,5%. При оценке сроков от момента травмы до операции было установлено, что медиана и квартили Me (Q1;Q3) составили 9,0 (6,0;12,0) месяцев в основной группе и 8,0 (7,0; 13,0) месяцев в контрольной. Анализ характера полученной травмы показал, что среди пациентов основной группы спортивные травмы и травмы, полученные в быту, встречали в равных долях – по 19 человек (по 50%). В контрольной группе преобладали пациенты со спортивным механизмом травмы – 22 человека (57,9%) и 16 случаями бытового повреждения (42,1%).

Сопоставление пациентов двух групп по ключевым стратификационным признакам подтвердило их однородность, что исключило вероятность системных межгрупповых различий, способных повлиять на достоверность результатов. Статистический анализ не выявил значимых отличий по исходным клиническим характеристикам (Таблица 1).

Таблица 1 – Стратифицированная рандомизация пациентов по группам

Признак	Основная группа (n=38)	Контрольная группа (n=38)	p-значение
Пол			
Мужской	25 (65,8%)	24 (63,2%)	1,000
Женский	13 (34,2%)	14 (36,8%)	
Возраст			
18-30 лет	9 (23,7%)	10 (26,3%)	0,129
31-40 лет	14 (36,8%)	17 (44,7%)	
40-50 лет	15 (39,0%)	11 (28,9%)	
Характер травмы			
Спортивная	19 (50,0%)	22 (57,9%)	1,000
Бытовая	19 (50,0%)	16 (42,1%)	
Срок с момента травмы			
< 3 месяцев	7 (18,4%)	8 (21,1%)	0,280
3-12 месяцев	19 (50,0%)	20 (52,6%)	
> 12 месяцев	12 (31,6%)	10 (26,3%)	

Методы исследования Для оценки результатов лечения пациентов, сравнительного анализа, использовали: клиническое обследование с применением

функциональных методов (гониометрии, измерения окружности бедра), оценку функции коленного сустава по данным опросных шкал, инструментальные методы, интраоперационные измерения (время подготовки аутотрансплантата, его толщина) и статистический анализ.

При клиническом обследовании осуществляли сбор анамнеза, выясняя жалобы пациентов, причину и давность травмы. Помимо травматолого-ортопедического осмотра, выполняли специальные тесты для оценки состояния структур коленного сустава: Байкова, Ланда, Перельмана, Arley, «переднего выдвижного ящика», pivot-shift, Lachman's, варус/вальгус-стресс тесты и другие.

Для гониометрии использовали универсальный механический угломер, всегда выполняя повторное измерение. Вычисляли среднее значение для снижения вероятности влияния случайных погрешностей. Окружность бедра измеряли антропометрической лентой из нерастяжимого материала на уровне 10 см от верхнего полюса надколенника в положении пациента лёжа в одно и то же время суток. Повторяли измерение трижды, вычисляли среднее значение для снижения влияния случайных ошибок и повышения точности данных.

Для оценки функции коленного сустава до и в динамике после операции использовали опросные шкалы - IKDC, Lysholm и KOOS. В качестве инструментальных методов применяли рентгенографию, магнитно-резонансную и компьютерную томографию (МРТ и КТ). КТ выполняли на спиральном рентгеновском компьютерном томографе «MX 8000» (Philips, Нидерланды) через 6 месяцев после операции для оценки диаметра большеберцового тоннеля. Проводили количественную оценку расширения большеберцового костного тоннеля (РКТ) в процентах относительно первоначального диаметра сверления. Параметр позволял объективно судить о морфологических изменениях в зоне трансплантации и степени остеоинтеграции аутотрансплантата.

МРТ выполняли до операции с помощью аппарата «Achieva 1,5 T» (Philips, Германия), выявляя повреждение ПКС, сохранение её культы, наличие сухожилий полусухожильной и нежной мышц, иных повреждений анатомических структур коленного сустава. Через 6 месяцев после операции проводили оценку состояния

аутотрансплантата, по мере интеграции которого происходила его васкуляризация и ремоделирование, что сопровождалось изменением сигнальных характеристик.

Рассчитывали индекс SNQ (signal-to-noise quotient - отношение сигнал/шум) по формуле: $SNQ = (SI \text{ (mean) трансплантата} - SI \text{ (mean) задней крестообразной связки}) / SI \text{ (mean) фоновой области}$, где SI (mean) – интенсивность сигнала. Фоновой областью считали точку, расположенную на 1 см вниз и 1 см кпереди от нижнего полюса надколенника. Значение индекса SNQ <5.0 расценивали, как свидетельство зрелости трансплантата, 5.0–7.0, как промежуточную стадию ремоделирования, а значения >7.0, как проявление незрелости, отёка или потенциальной микронестабильности.

Интраоперационно измеряли время подготовки трансплантата с помощью механических часов " Seiko 5 SNK809" (Seiko, Япония), калибровка - в секундах. Началом измерения являлась устная команда хирурга, которую он давал после полного выделения сухожилий полусухожильной и нежной мышц. После подготовки трансплантата хирург давал команду «стоп», после чего данные фиксировали. Толщину готового трансплантата определяли при помощи специального блока Smith&Nephew (США) в миллиметрах.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения SPSS Statistics (IBM, США, лицензия №5725-A54) в Центре доказательной медицины и биостатистики ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России с опорой на современные принципы доказательной медицины в интерпретации отечественной школы (Г.П. Котельников, А.С. Шпигель и соавт., 2012).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В контрольной группе пациентов трансплантат ПКС формировали на препаровочном столе из сухожилий полусухожильной и нежной мышц по принципу GraftLink. Каждое сухожилие удваивали, формируя четырехпучковую структуру, после чего объединяли их между собой параллельно. Прошивали концы трансплантата по технике Lubowitz, проводя по два последовательных хлыстовых шва через все четыре пучка высокопрочной хирургической нитью, каждый конец трансплантата дополнительно укрепляли U-образными швами. После подготовки

ауто трансплантат оставляли на препаровочном столе, выполняя в это время необходимые внутрисуставные манипуляции, в том числе, удаление остатков ПКС. Формировали каналы, проводили через них и фиксировали ауто трансплантат.

Прошивание пучков трансплантата приводило к травматизации волокон и увеличивало риск травмы хирурга иглой. Процесс занимал длительное время, его выполняли на препаровочном столе - при переносе материала возникал риск его контаминации бактериальной флорой. При удалении культи ПКС, были удалены ткани, обладающие проприоцептивными нервными окончаниями, что могло влиять на восстановление координации движений в коленном суставе.

После фиксации ауто трансплантата выявляли отдельно проходящие пучки, свободно отделяющиеся друг от друга, в том числе, без натяжения, что потенциально снижало его функциональные качества. Вышеуказанные недостатки были устранены нами при разработке нового способа аутопластики ПКС и устройства для его осуществления.

Новый способ оперативного лечения пациентов с повреждением ПКС (патент РФ на изобретение № 2845123 от 13.08.2025) был применён у пациентов основной группы. Подготовку трансплантата осуществляли непосредственно в зоне оперативного доступа к сухожилиям полусухожильной и нежной мышц с сохранением их дистального крепления к большеберцовой кости. После выделения сухожилия закручивали друг относительно друга по спирали с контролем числа витков, что позволяло варьировать толщину и длину трансплантата, свободный конец которого фиксировали в разработанном устройстве (патент РФ на полезную модель № 217394 от 30.03.2023).

Устройство представляло собой конструкцию в виде усечённого полого конуса, образованного переплетёнными нитями, способными к растяжению и сжатию при их натяжении. Внутри устройства имелась якорная нить, надёжно фиксирующая трансплантат и предотвращающая его смещение или соскальзывание. При натяжении фиксирующей петли устройство захватывало трансплантат без механического повреждения, обеспечивая равномерное распределение нагрузки. Продевали петлю наkostной пуговицы через трансплантат, складывали его вдвое. На время выполнения

внутриаруставных манипуляций трансплантат помещали между фасцией и подкожно-жировой клетчаткой в операционном доступе, что обеспечивало его стерильность и дополнительную импрегнацию естественными биологическими факторами раневого кровяного сгустка.

Сохраняли культю ПКС. Формирование большеберцового канала осуществляли через центр культи ПКС, что способствовало оптимальному с биомеханической точки зрения, расположению трансплантата, улучшая его защиту от агрессивного воздействия внутриаруставной жидкости и уменьшая элюирование факторов, которыми он до этого был насыщен в ране. Схема операции (А) и схема устройства с захватным механизмом (Б) показаны на Рисунке 1.

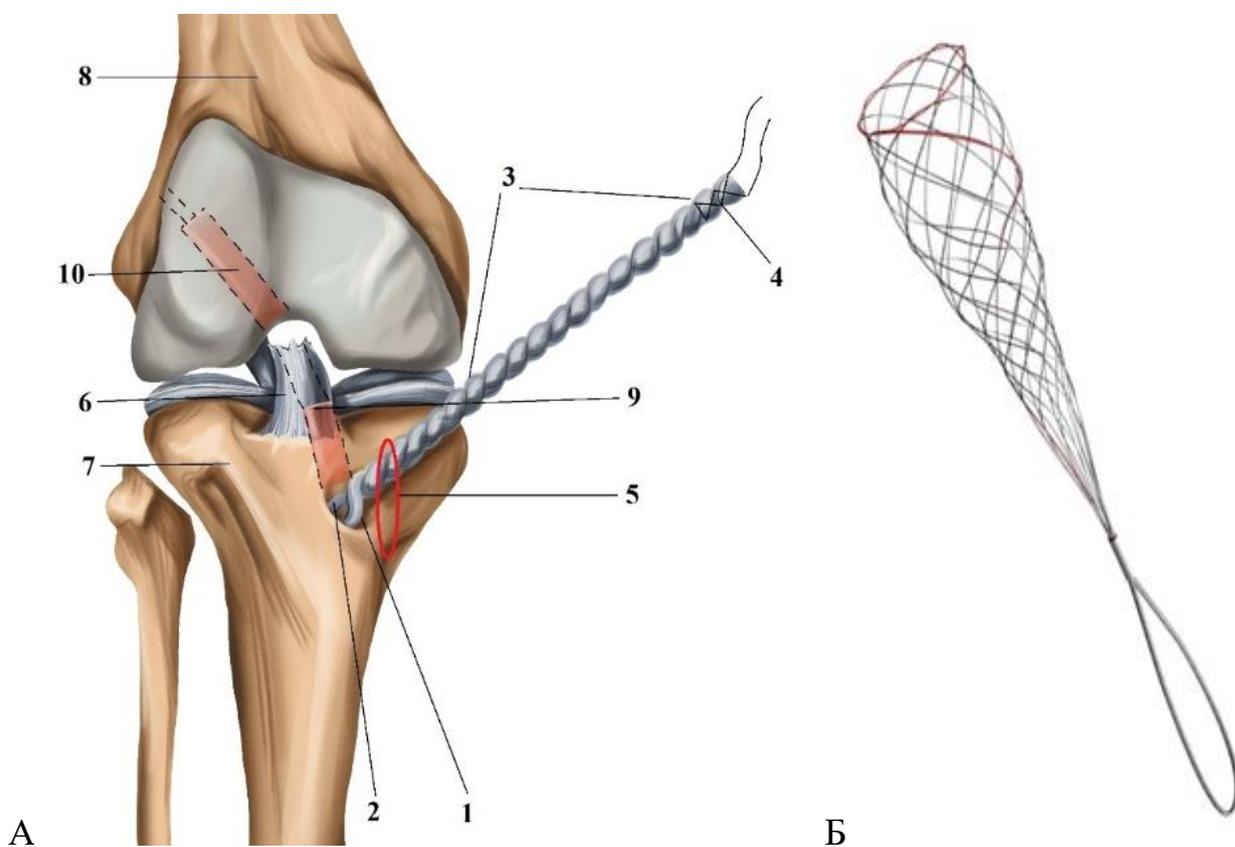


Рисунок 1 - Схема операции по новому способу (А): 1 - сухожилие полусухожильной мышцы; 2 - сухожилие нежной мышцы; 3 - сформированный трансплантат; 4 - место фиксации устройства; 5 - проекция доступа к сухожилиям; 6 - сохранённая культя передне-медиального пучка ПКС; 7 - большеберцовая кость; 8 - бедренная кость; 9 - проекция канала в большеберцовой кости и культе передне-медиального пучка ПКС; 10 - проекция канала в бедренной кости; Б - схема устройства с захватным механизмом (якорная нить показана красным цветом).

Сохранённая культя ПКС обеспечивала синовиальное покрытие трансплантата, сохраняя механорецепторы и нервные волокна для улучшения восстановления проприорецепции. Извлечённый из раны трансплантат проводили через костные каналы, осуществляли его фиксацию накостной «пуговицей» на бедренной и интерферентным биополимерным винтом на большеберцовой костях.

Реабилитация для пациентов обеих групп была идентичная и включала в себя четыре ключевых компонента: строго дозированный ортопедический режим, медикаментозную терапию, физиотерапевтические процедуры и комплекс занятий лечебной физкультурой. Начало реабилитации было в первые сутки после оперативного вмешательства.

Оценка времени подготовки и толщины трансплантатов в группах сравнения. В основной группе медианное время подготовки трансплантата составило 312,5 секунд (301,5–321,0), в то время как в контрольной группе показатель оказался втрое больше – 930,5 секунд (904,0–941,5), $p < 0,001$. Новый способ позволил подготовить трансплантат в более короткие сроки. Медианные значения толщины трансплантатов оказались идентичными в обеих группах – 8,5 мм, с межквартильным диапазоном от 7,5 до 9,0 мм ($p=0,161$), что указывало на сопоставимый результат, независимо от выбранной методики (Таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение продолжительности времени подготовки и толщины аутооттрансплантатов у пациентов в основной и контрольной группах

Группа	Основная группа (n=38)	Контрольная группа (n=38)	p – значение
Параметр	Me (Q1;Q3)	Me (Q1;Q3)	
Время подготовки, с	312.5 (301,5;321.0)	930.5 (904,0;941.5)	<0,001*
Толщина, мм	8,5 (7,5; 9,0)	8.5 (7,5; 9,0)	0,161

* – изменения статистически значимы ($p < 0,05$)

Оценка ремоделирования трансплантатов с помощью данных МРТ и КТ

Одним из объективных методов оценки морфологического состояния трансплантата ПКС являлся анализ сигналов от него по данным МРТ с вычислением относительного индекса SNQ (signal-to-noise quotient). Исследование проводили

через 6 месяцев после операции – среднее время, соответствующее перестройке трансплантата, по данным литературы. В основной группе медианное значение SNQ составило 4,6, тогда как в контрольной – 6,25, $p < 0,001$. Таким образом, сигнал от трансплантата в основной группе был достоверно ниже, что указывало на выраженное уменьшение отёка, снижение степени гидрофильности тканей, улучшение их васкуляризации. Разница между группами составила 26,4%, что отражало более интенсивные процессы созревания и интеграции трансплантата в основной группе. Разброс значений в обеих выборках был ограниченным, что подчёркивало воспроизводимость и стабильность результатов. В контрольной группе отмечали отдельные выбросы с более высокими значениями SNQ до 6,8, что указывало на неоднородность интеграции трансплантата и его возможную микроподвижность при использовании стандартной техники фиксации.

Одним из важных морфологических критериев, отражающих стабильность фиксации трансплантата и качество остеоинтеграции, являлась степень расширения костных тоннелей (РКТ). Изучали разницу между диаметром большеберцового костного тоннеля через 6 месяцев и диаметром сверла, которым формировали тоннель во время операции. В основной группе медианное значение РКТ составило 20,0%, в то время как в контрольной – 31,5%, $p < 0,001$ (Таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение индекса SNQ по данным МРТ и показателя РКТ по данным КТ у пациентов групп через 6 месяцев после операции

Группа	Основная группа (n=38)	Контрольная группа (n=38)	p – значение
Параметр	Me (Q1;Q3)	Me (Q1;Q3)	
Индекс SNQ	4,60 (3,73;5,48)	6,25 (5,75;7,28)	<0,001*
Расширение костного тоннеля (РКТ)	20,0 (18,3;22,0)	31,5 (30,0;33,0)	<0,001*

* – изменения статистически значимы ($p < 0,05$)

Степень дилатации тоннеля в основной группе оказалась достоверно ниже – на 36,5%, что указывало на более благоприятный морфофункциональный ответ со стороны костной ткани. Меньшая степень РКТ в основной группе свидетельствовала о высокой первичной стабильности трансплантата и снижении микродвижений в

зоне его фиксации. Это способствовало формированию плотного фиброзного интерфейса между трансплантатом и стенками костного канала, ускоряло процессы остеоинтеграции и снижало риск хронической нестабильности. У пациентов основной группы фиксировали низкие значения РКТ с узким интерквартильным диапазоном, что указывало на стабильную фиксацию трансплантата и высокую воспроизводимость полученных результатов. В контрольной группе, напротив, отмечали смещение медианы в сторону увеличения значений РКТ и их более широкий диапазон, что могло свидетельствовать о нестабильности интерфейса «трансплантат–кость» и затруднениях в формировании надёжной остеоинтеграции при использовании стандартного метода реконструкции.

Анализ результатов лечения пациентов в группах сравнения

Оценка амплитуды движений в коленном суставе по данным гониометрии.

При первичном обследовании статистически значимых различий между группами по показателям гониометрии выявлено не было ($p=0,54$). Через 3 месяца после операции значения в основной группе оказались достоверно выше по сравнению с контрольной на 2,3% ($p<0,001$). Через 6 месяцев на 9,5% ($p<0,001$), к 12 месяцам - на 3,6% ($p<0,001$), что подтверждало большую эффективность нового способа реконструкции ПКС.

Оценка наличия признаков гипотрофии мышц бедра по данным измерения окружности сегмента. На момент первичного обследования статистически значимых различий между группами по данному показателю не было ($p=0,723$). Через 3 месяца после операции в основной группе степень гипотрофии была достоверно меньше по сравнению с контрольной (разница 19,6%, $p<0,001$). Через 6 месяцев разница составила 30,4% ($p<0,001$), а через 12 месяцев уменьшилась до 24,3%, однако оставалась статистически значимой ($p<0,001$).

Функциональная оценка результатов лечения по данным шкалы IKDC. До операции показатели шкалы IKDC в обеих группах были сопоставимыми ($p=0,210$). Через 3 месяца в основной группе было зафиксировано достоверное повышение значений по сравнению с контрольной ($p=0,0015$), что указывало на более раннее восстановление функции коленного сустава. На сроке 6 месяцев преимущество основной группы сохранялось и достигало высокой статистической значимости ($p<0,001$). К 12 месяцам обе группы демонстрировали высокие показатели с сохранением

достоверного превосходства основной группы ($p=0,016$), что подтверждало устойчивый клинический эффект нового способа аутопластики ПКС (Рисунок 2).

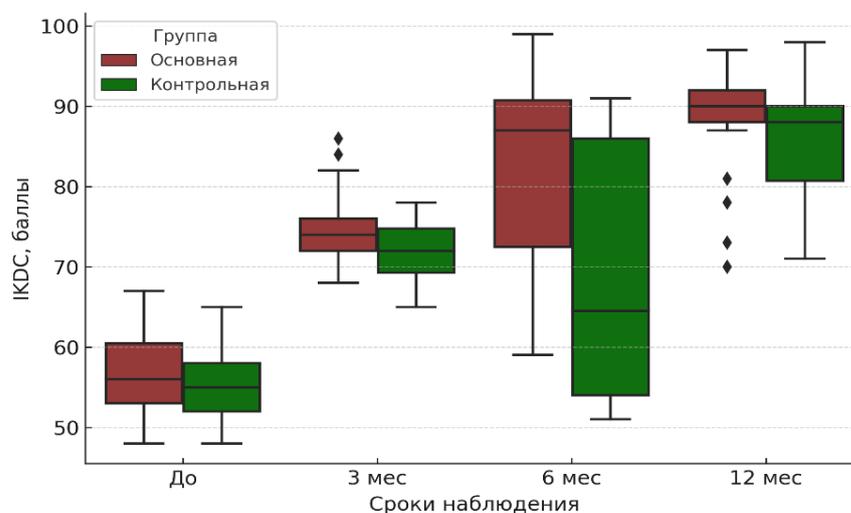


Рисунок 2 – Диаграмма Box Plot изменения данных шкалы IKDC у пациентов основной и контрольной групп в динамике наблюдения

Функциональная оценка результатов лечения по данным шкалы Lysholm

На момент госпитализации исходные данные по шкале Lysholm в обеих группах были сопоставимыми ($p=0,179$). Уже через 3 месяца после операции значения в основной группе оказались достоверно выше по сравнению с контрольной ($p<0,001$). На сроке 6 месяцев преимущество основной группы сохранялось и оставалось статистически значимым ($p=0,003$). (Рисунок 3).

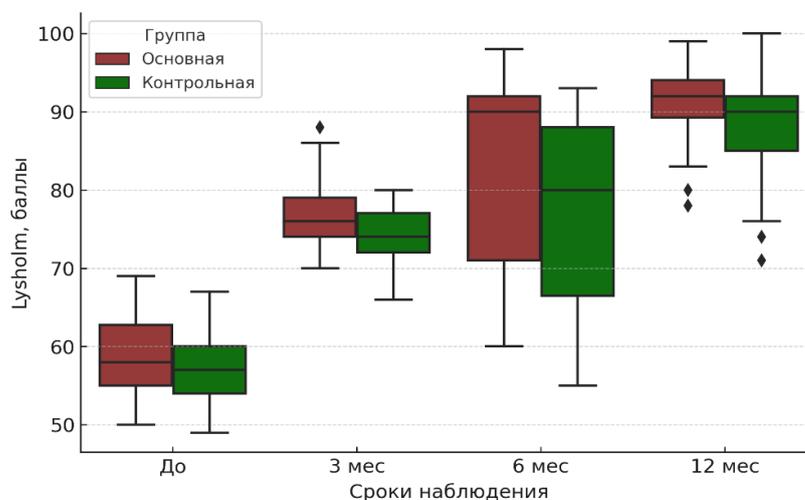


Рисунок 3 – Диаграмма Box Plot изменения данных шкалы Lysholm у пациентов основной и контрольной групп в динамике наблюдения

К 12 месяцам показатели в обеих группах достигали высоких значений, однако различия оставались статистически значимыми в пользу основной группы ($p = 0,015$), что подтверждало её преимущество и в среднесрочном периоде наблюдения.

Функциональная оценка результатов лечения по данным шкалы KOOS.

При поступлении в стационар показатели шкалы KOOS в обеих группах были сопоставимыми ($p = 0,200$). Уже через 3 месяца после операции у пациентов основной группы значения шкалы оказались достоверно выше по сравнению с контрольной ($p = 0,001$). На сроке 6 месяцев преимущество основной группы сохранялось и оставалось статистически значимым ($p = 0,0023$). К 12 месяцам показатели в обеих группах достигали высоких значений, при этом сохранялось достоверное превосходство основной группы ($p = 0,008$), что подтверждало эффективность нового способа и в среднесрочном периоде наблюдения (Рисунок 4).

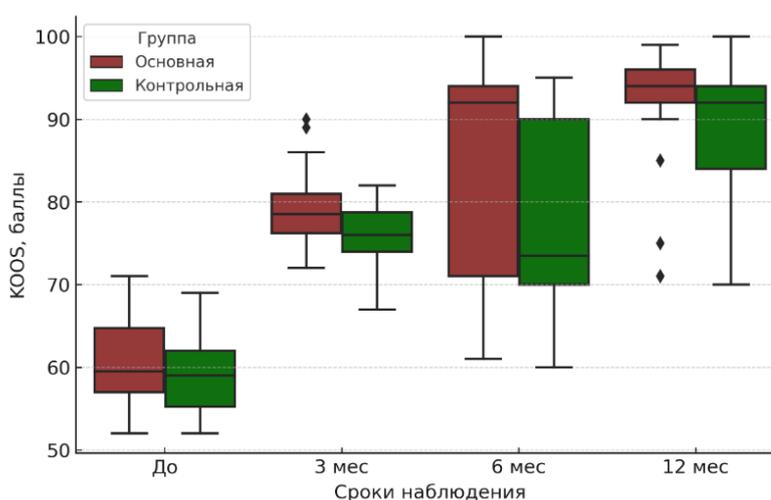


Рисунок 4 – Диаграмма Box Plot изменения данных шкалы KOOS у пациентов основной и контрольной групп в динамике наблюдения

В целом, динамика показателей шкал IKDC, Lysholm и KOOS демонстрировала рост в обеих группах к 12 месяцу наблюдения, однако в основной группе пациентов улучшение функции коленного сустава наступало в более ранние сроки, что позволяло им раньше вернуться к повседневной и профессиональной активности.

Оценка эффективности нового способа лечения пациентов

Для объективизации исходов была применена бинарная схема оценки: благоприятный результат фиксировали при одновременном выполнении пяти

критериев, неблагоприятный – при несоответствии хотя бы одному из них. Интегральный порог «5 из 5» обеспечивал сопоставимость методик и клиническую строгость интерпретации результатов, объединяя субъективные шкалы и объективные функциональные показатели в единую оценочную систему (Таблица 4). Результаты лечения пациентов в соответствии с приведёнными критериями были оценены через 6 и 12 месяцев после операции (Таблица 5).

Таблица 4 – Критерии оценки клинических исходов после реконструкции ПКС

Показатель	Исход	
	Благоприятный	Неблагоприятный
Шкала IKDC, баллы	≥ 80	< 80
Шкала Lysholm, баллы	≥ 85	< 85
Шкала KOOS, баллы	≥ 80	< 80
Гониометрия, градусы	≥ 130	< 130
Разница окружностей бедер, см	≤ 2	> 2

Таблица 5 – Сравнительная характеристика эффективности лечения пациентов групп сравнения по совокупности критериев через 6 и 12 месяцев после операции

Эффективность	Положительная динамика (% от общего числа пациентов в группе)		Отсутствие динамики (% от общего числа пациентов в группе)	
	6 месяцев	12 месяцев	6 месяцев	12 месяцев
Основная группа	23 (60,5%)	15 (39,5%)	35 (92,1%)	3 (7,9%)
Контрольная группа	13 (34,2%)	25 (65,8%)	29 (76,3%)	9 (23,7%)
	p-значение $< 0,05$		p-значение = 0,071	

Были рассчитаны показатели, свидетельствующие об эффективности нового способа пластики ПКС. Через 6 месяцев благоприятный исход был отмечен у 23 из 38 пациентов основной группы (60,5%) против 13 из 38 в контрольной (34,2%); различия

были статистически значимыми ($\chi^2 = 5,18$; $p = 0,023$). Расчётные меры эффекта подтвердили клиническую значимость преимущества нового способа: ПОП = 60,5% (95% ДИ 44,7–74,4%), ПАП = 34,2% (21,2–50,1%), ЧБНЛ = 3,8 (95% ДИ 2,1–21,5), отношение шансов = 2,95 (95% ДИ 1,16–7,50), относительный риск = 1,77 (95% ДИ 1,09–2,87). Сила связи была умеренной (V Крамера = 0,264). Тем самым, уже к 6 месяцу прослеживали преимущество выполнения нового способа операции в раннем восстановительном периоде (Таблица 6).

Таблица 6 – Оценка эффективности применения нового способа аутопластики ПКС через 6 и 12 месяцев после оперативного вмешательства

Срок	ПОП % (95% ДИ)	ПАП % (95% ДИ)	ЧБНЛ	ОШ (95% ДИ)	V Крамера	p-value
6 мес	60,5% (44,7–74,4%)	34,2% (21,2–50,1%)	3,80	2.95 (1,16–7,50)	0,264	0,023
12 мес	92,1% (79,2–97,3%)	76,3% (60,8–87,0%)	6,33	3.62 (0,90–14,63)	0,217	0,071

К 12 месяцам (среднесрочный период) доля благоприятных исходов в основной группе составила 92,1% (35/38) и 76,3% (29/38) — в контрольной, тогда как неблагоприятные исходы составляли 7,9% и 23,7% соответственно. Межгрупповое различие по интегральному критерию было статистически незначимым ($\chi^2 = 3,23$; $p = 0,071$). При этом показатели эффективности оставались согласованными с клинической картиной: ПОП = 92,1% (95% ДИ 79,2–97,3%), ПАП = 76,3% (60,8–87,0%), ЧБНЛ = 6,33 (95% ДИ 3,1–459,5), отношение шансов = 3,62 (95% ДИ 0,90–14,63), относительный риск = 1,81 (95% ДИ 0,99–3,32).

Новый способ реконструкции ПКС позволил достичь выраженного и устойчивого функционального восстановления коленного сустава у пациентов за счёт комплексной реализации технических и биомеханических решений, направленных на сохранение анатомических ориентиров, минимизацию травматизации тканей и обеспечение стабильной фиксации трансплантата. Это подтверждает клиническую состоятельность нового способа и целесообразность его применения у пациентов с повреждением ПКС.

ВЫВОДЫ

1. Распространёнными осложнениями после реконструкции передней крестообразной связки являются: повреждение аутотрансплантата (2-10%), рецидивирующая нестабильность коленного сустава (4-12%), артрофиброз (2-8%), циклоп-синдром (1-10%) и прогрессирование посттравматического остеоартроза (10-30%), частота которых определяется анатомической точностью установки аутотрансплантата, способом его фиксации, качеством лигаментизации и своевременностью начала реабилитации пациента.

2. Разработано и внедрено в клиническую практику устройство для фиксации сухожильного аутотрансплантата, сокращающее время его подготовки с 930,5 секунд (904,0-941,5) до 312,5 секунд (301,5-321,0), ($p < 0,001$) и уменьшающее его травматизацию при выполнении оперативного вмешательства.

3. Предложен и внедрён новый способ артроскопической аутопластики передней крестообразной связки, при котором сохраняют тиббиальное прикрепление аутотрансплантата, обеспечивают его функциональную подготовку, обогащение факторами остеointеграции, сохраняют культуру передней крестообразной связки.

4. Применение нового способа хирургической реконструкции ПКС обеспечило значимо лучшие функциональные результаты по сравнению с известным способом как через 6 месяцев (60,5% благоприятных исходов против 34,2% в контрольной группе, $p = 0,023$), так и через 12 месяцев после операции (92,1% против 76,3%). При этом у пациентов контрольной группы через 12 месяцев в 21% случаев отмечали признаки нестабильности и нарушения функции коленного сустава, тогда как в основной группе подобных осложнений не наблюдали ($p < 0,05$).

5. Эффективность нового способа артроскопической аутопластики передней крестообразной связки подтверждена критериями доказательной медицины, как на раннем сроке наблюдения через 6 месяцев (ПОП = 60,5%, ПАП = 34,2%, ОШ = 2,95 [95% ДИ 1,16-7,50], $p = 0,023$), так и на среднесрочном через 12 месяцев после операции (ПОП = 92,1%, ПАП = 76,3%, ОШ = 3,62 [95% ДИ 0,90-14,63], $p = 0,071$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При сохранённой культуре передней крестообразной связки рекомендуется применение разработанного способа её артроскопической реконструкции.

2. При выполнении нового способа необходимо сохранять тиббиальное место прикрепления подколенных сухожилий и формировать аутотрансплантат путем закручивания сухожилий друг относительно друга и последующим их сложением в два раза.

3. Для захвата и фиксации аутотрансплантата целесообразно использовать предложенное устройство из спирально переплетённых нитей с захватным механизмом.

4. Аутотрансплантат передней крестообразной связки на время выполнения внутрисуставных манипуляций следует помещать в место забора под фасцию.

5. Культю передней крестообразной связки следует сохранять, очищать от фиброзно-рубцовых тканей, использовать ее, как ориентир анатомически точного формирования тоннелей для аутотрансплантата, проводя его через нее.

6. Осуществлять контрольное выполнение МРТ и КТ через 6 месяцев после операции для оценки процессов остеоинтеграции и лигаментизации связки и корректировать программу реабилитации пациента в зависимости от полученных результатов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективами дальнейшей разработки темы исследования является создание программного обеспечения с использованием искусственного интеллекта для компьютерной навигации при робот-ассистированной реконструкции передней крестообразной связки; использование ортобиологических субстанций во время операции и контроль перестройки аутотрансплантата в послеоперационном периоде; составление индивидуальных программ реабилитации пациентов с учетом полученных данных инструментальных исследований.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Одноэтапная реконструкция связок и остеохондральных дефектов суставных поверхностей коленного сустава / Щербатов Н.Д., Асатрян В.Г., Князев А.А. // Аспирантские чтения – 2023: молодые ученые — медицине. Приоритетные направления науки в достижении технологического суверенитета: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Самара, 01 ноября 2023 года - Самара: ООО "Полиграфическое объединение "Стандарт", 2023. – С. 92-95.

2. Сравнительный анализ результатов лечения остеохондральных дефектов суставной поверхности коленного сустава, ассоциированных с повреждением передней крестообразной связки / Г.П. Котельников, Н.Д. Щербатов, С.Д. Зуев-Ратников, Ю.В. Ларцев, Д.А. Долгушкин, Д.С. Кудашев, Д.А. Распутин, А.А. Богданов, В.Г. Асатрян, А.А. Князев // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2024. – Vol. 26, № 5. – P. 75-84. – DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-5-75-84.

3. Варианты пластики передней крестообразной связки / Н.Д. Щербатов, С.Д. Зуев-Ратников // Материалы сборника работ XI Всероссийского Приоровского форума, посвященного 100-летию профессора К.М. Сиваша – Москва, 2024. – С. 304-305.

4. Оценка результатов лечения остеохондральных дефектов суставных поверхностей коленного сустава в сочетании с повреждением передней крестообразной связки / И.Д. Гальцев, Н.Д. Щербатов // Материалы сборника работ XI Всероссийского Приоровского форума, посвященного 100-летию профессора К.М. Сиваша – Москва, 2024. – С. 63-64.

5. 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;31(3):50-60. – DOI: 10.17816/2311-2905-17725.

6. 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;27(9):25-32. – DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2025-27-9-25-32.

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

1. 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 РФ на полезную модель № 217394 U1, 30.03.2023. Заявка № 2023104850 от 02.03.2023.

2. Способ артроскопической аутопластики передней крестообразной связки / Г.П. Котельников, Н.Д. Щербатов, С.Д. Зуев-Ратников, Ю.В. Ларцев, Д.А. Долгушкин, Д.С. Кудашев, Д.А. Распутин, А.А. Богданов, В.Г. Асатрян, А.А. Князев // Патент РФ на изобретение № 2845123 С1, 13.08.2025. Заявка № 2024136891 от 10.12.2024.