

*На правах рукописи*



**Азаркин Кирилл Михайлович**

**Оптические методы в диагностике патологии крестообразных  
связок коленного сустава**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, доцент

**Калинский Евгений Борисович**

**Официальные оппоненты:**

**Лазко Фёдор Леонидович** – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Медицинский институт, кафедра травматологии и ортопедии, профессор кафедры

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


**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «22» июня 2026 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.26 в ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет) (119435, Москва, Большая Пироговская ул., д. 2 стр. 1)

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет) 119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д. 37/1 и на сайте организации [www.sechenov.ru](http://www.sechenov.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор медицинских наук, профессор



**Крупинов Герман Евгеньевич**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Травмы крестообразных связок коленного сустава являются одними из самых распространенных спортивных травм в мире. В национальных регистрах их частоту оценивают до 32-38 случаев на 100 000 человек, при этом доминируют повреждения передней крестообразной связки (ПКС), а средний возраст таких пациентов составляет 28-34 года (Е.А.Анастасиева, 2020; А.В.Королев, 2020; Д.Ю.Пупынин, 2024; D. R. Dewig, 2023).

Крестообразные связки имеют минимальную способность к заживлению из-за особенностей кровоснабжения, а их микроструктурные нарушения изменяют механические свойства связки. Недостаточность крестообразных связок приводит к формированию нестабильности в коленном суставе и развитию гонартроза. У пациентов появляются хронические боли, нарушения походки, мышечная гипотрофия и в итоге – выраженная дисфункция, препятствующая физической активности и снижающая качество жизни (А.В.Королев, 2020; В.В.Заяц, 2021; А.А.Ветошкин, 2025; V. Pandey, 2014; M. Giummarra, 2022).

### **Степень разработанности темы исследования**

Последствия повреждений крестообразных связок можно предотвратить, своевременно выполнив хирургическое вмешательство, заключающееся или в их протезировании (пластике), или в реинсерции. Однако, в застарелых случаях изменения в суставе уже плохо поддаются коррекции. В связи с этим важен вопрос своевременной диагностики повреждений крестообразных связок, особенно у лиц с высокой физической активностью (А.Pitsillides, 2021; J.S.Geller, 2024).

При полных разрывах крестообразных связок клинические симптомы очевидны и с высокой частотой подтверждаются методами инструментальных обследований (МРТ, ультразвуковая диагностика), а также в ходе артроскопии. Однако диагностика частичных разрывов, сопровождающихся микроструктурными изменениями, не столь проста. Клинические и рентгенологические признаки нестабильности коленного сустава могут отсутствовать, а УЗИ и даже МРТ обладают ограниченной чувствительностью к

таким повреждениям. Наибольшей точности диагностики из известных традиционных методик позволяет достичь артроскопия, но при частичных разрывах и она порой не дает однозначного ответа в отношении не только локализации и объема, но и даже самого наличия таких повреждений (R.F.LaPrade, 2021; В.А. Mohammad, 2024; С.Wasilczyk, 2024).

Сложности диагностики могут обусловить несвоевременное выявление или ошибочную оценку характера и степени повреждений крестообразных связок коленного сустава, неадекватную тактику и ухудшение результатов проводимого лечения (K.Shino, 2023; J. Zeb, 2024).

Задачу определения состояния тканей без взятия биопсии могут помочь решить методики оптической спектроскопии. Есть сообщения об их применении для оценки суставного хряща. Сообщения о применении оптической спектроскопии для верификации повреждений крестообразных связок коленного сустава в доступной литературе отсутствуют, однако, судя по опыту диагностики патологии тканей других локализаций, в этом отношении могут быть эффективными спектроскопия диффузного отражения, Рамановская спектроскопия и флуоресцентная спектроскопия (Е.А.Ширшин, 2022; Ю.Р.Гончарук, 2023; M.G.Ramírez-Elías, 2018; E.Ryzhikova, 2021; N.R.Rovnyagina, 2023; Y.Qi, 2024). Клиническое применение оптических методик до сих пор разработано недостаточно, в связи с чем изучение диагностических возможностей спектроскопии в отношении состояния крестообразных связок коленного сустава представляется весьма актуальным, так как могло бы повысить точность диагностики и скорректировать хирургическую тактику.

### **Цель и задачи исследования**

**Цель исследования:** повышение точности диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава с помощью методов оптической спектроскопии.

#### **Задачи исследования:**

1. Исследовать возможность использования методов оптической спектроскопии для оценки состояния крестообразных связок коленного сустава.

2. Разработать методику диагностики повреждений крестообразных связок коленного сустава с применением оптической спектроскопии и определить корреляцию этих данных с другими диагностическими методиками.

3. Создать с учетом результатов оптической спектроскопии рабочую классификацию повреждений крестообразных связок коленного сустава и разработать на ее основе алгоритм выбора оптимальной лечебной тактики.

4. Определить эффективность предложенной методики уточненной диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава, использующей оптические методы.

### **Научная новизна**

Впервые доказана эффективность метода оптической спектроскопии для интраоперационного определения состояния крестообразных связок коленного сустава и изучена корреляция полученных результатов с данными диагностики, проведенной по традиционному протоколу.

Впервые создана классификация состояния крестообразных связок коленного сустава, основанная на данных оптической спектроскопии, на основе чего разработан алгоритм персонализированного выбора лечебной тактики.

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

Применение методики оптической спектроскопии в отношении определения состояния крестообразных связок коленного сустава позволяет существенно повысить точность интраоперационной диагностики, особенно при отсутствии явных макроскопических признаков их повреждений.

Разработанная классификация состояния крестообразных связок коленного сустава, основанная на данных оптической спектроскопии, имеет большое значение для выбора оптимальной хирургической тактики, что, в свою очередь способствует улучшению результатов лечения пациентов.

### **Методология и методы исследования**

Исследование состояло из двух этапов. На первом этапе был проведен эксперимент. У пациентов, которым выполняли тотальное эндопротезирование коленного сустава, были взяты 30 эксплантов крестообразных связок (ПКС и ЗКС)

вместе с костными блоками в местах прикреплений, после чего подвергли эти экспланты дополнительному исследованию с применением методик спектроскопии диффузного отражения (СДО), Рамановской спектроскопии и флуоресцентной спектроскопии. По результатам эксперимента определили СДО как наиболее информативную методику в отношении определения состояния крестообразных связок, и, основываясь на показателях, полученных при данном исследовании, разработали собственную рабочую классификацию степени повреждения и алгоритм выбора оптимальной лечебной тактики.

На втором этапе (клиническом) применили разработанные классификацию и алгоритм у 15 пациентов, которым выполняли артроскопию коленного сустава, в результате чего была показана эффективность дополнительной диагностики состояния крестообразных связок с применением СДО, и применен разработанный алгоритм выбора тактики с хорошими результатами лечения.

#### **Личный вклад автора**

Автор лично определил тему данного исследования на основе проведенного им анализа зарубежной и отечественной научной литературы. Автор сформулировал цель и задачи исследования, разработал его дизайн; лично осуществил взятие и исследование эксплантов крестообразных связок в ходе экспериментального этапа, разработал рабочую классификацию повреждений крестообразных связок и лечебный алгоритм, а также провел интраоперационную оценку состояния крестообразных связок в ходе выполнения артроскопических вмешательств. Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке, после чего автор сформулировал выводы и практические рекомендации.

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

1. Применение метода оптической спектроскопии повышает точность диагностики повреждений крестообразных связок коленного сустава в тех случаях, когда традиционные методики оказываются малоинформативными.

2. Интраоперационное применение методик оптической спектроскопии крестообразных связок коленного сустава целесообразно использовать в сомнительных случаях и ориентироваться на полученные при этом исследования

данные для коррекции избранной хирургической тактики в ходе проведения артроскопии. Эта диагностическая методика безопасна для пациентов, существенно не увеличивает травматичность и продолжительность операции.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует Паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия, пунктам 1, 3, 4 направлений исследований: пункт 1 – Изучение этиологии, патогенеза и распространенности врожденных и приобретенных заболеваний опорно-двигательной системы (позвоночника, грудной клетки, таза и конечностей); пункт 3 – Разработка, усовершенствование и внедрение в клиническую практику методов диагностики, профилактики и диспансеризации при заболеваниях и повреждениях опорно-двигательной системы, а также их последствиях; пункт 4 – Экспериментальная и клиническая разработка и совершенствование методов лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы, их последствий, а также предупреждение, диагностика и лечение возможных осложнений.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов определяется достаточным количеством наблюдений, репрезентативной выборкой данных. Все данные, собранные в процессе исследования, обработаны при помощи современных методов статистического анализа с использованием соответствующих программ.

Основные положения работы доложены на конференциях: VII Сеченовский международный биомедицинский саммит: «Мегатренды в биомедицине» (SIBS-2023). 09.11.2023, Москва; IX национальный конгресс с международным участием: «Медицинская помощь при травмах: новое в организации и технологиях. Осложнения и неблагоприятные последствия травм. Инновационные подходы в организации медицинской помощи и лечении пострадавших». 02.03.2024, Санкт-Петербург; X юбилейный Национальный конгресс с международным участием: «Медицинская помощь при травмах: новое в организации и технологиях». 01.03.2025, Санкт-Петербург.

Апробация работы состоялась на совместном заседании коллектива кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины имени Н. В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол № 7/2026 от 16 февраля 2026 года).

### **Внедрение результатов работы**

Результаты диссертационной работы внедрены в клиническую практику Университетской клинической больницы №1 ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), а также в учебный процесс кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины им. Н. В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

### **Публикации по теме диссертации**

По результатам исследования автором опубликовано 9 работ, в том числе 3 научные статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета / Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; 4 иные публикации по результатам исследования, 1 патент, 1 публикация в сборнике материалов международной (зарубежной) научной конференции.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация написана на 127 страницах стандартного текста, состоит из введения, обзора литературы, 3 глав собственных исследований, заключения, выводов практических рекомендаций и списка литературы, содержащего 127 источников – 31 отечественных и 96 зарубежных авторов, а также 3 Приложений. Работа иллюстрирована 29 рисунками и 9 таблицами.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материалы и методы исследования**

В период 2023-2025 гг. на базе Клиники травматологии, ортопедии и патологии суставов Клинического центра и кафедры травматологии, ортопедии и

хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский университет) было проведено исследование, направленное на улучшение точности диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава. Исследование состояло из двух этапов – экспериментального и клинического (Рисунок 1)



Рисунок 1 – Дизайн исследования

Перед **экспериментальным этапом** была поставлена задача изучить возможность повышения точности определения состояния крестообразных связок коленного сустава за счет применения методов оптической спектроскопии, создать на этой основе рабочую классификацию и алгоритм выбора оптимальной тактики.

Для проведения эксперимента мы выбрали три методики спектроскопии – спектроскопию диффузного отражения (СДО), Рамановскую спектроскопию и флуоресцентную спектроскопию, которые по данным литературы в наибольшей степени могли по своим характеристикам и описанным авторами возможностям соответствовать решению поставленных нами задач.

Объектом исследования были экспланты крестообразных связок, полученные у пациентов в ходе плановых операций первичной артропластики коленных суставов, выполняемых в нашей клинике. Условием включения было выявление по данным МРТ повреждения хотя бы одной крестообразной связки 1 или 2 типа по классификации ACLOAS. Пациенты с очевидными полными разрывами крестообразных связок (3 тип) не были включены в этот эксперимент.

Состояние крестообразных связок оценивали визуально, после чего их изымали единым блоком с костными блоками в местах прикрепления к бедренной

и большеберцовой костям. Экспланты, поврежденные в результате взятия, в исследование не включали. Всего было исследовано 30 эксплантов, взятых у 24 пациентов. Перед выполнением спектроскопических исследований экспланты оценивали визуально и тактильно по классификации AAOS, определяя в соответствии с ней степень их повреждений (Рисунок 2).

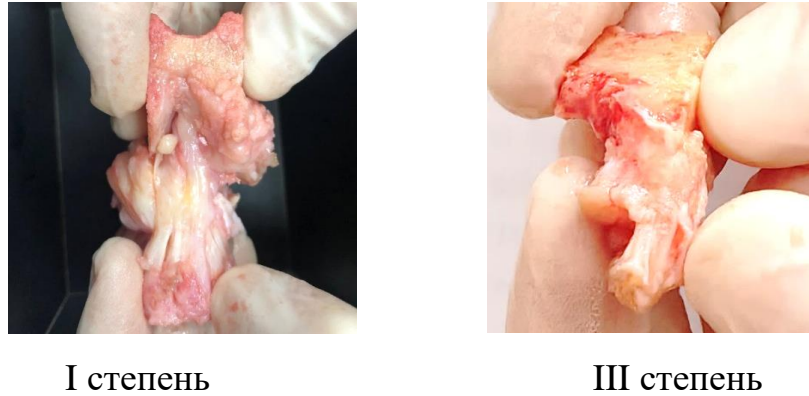


Рисунок 2 – Экспланты ПКС: повреждения по классификации AAOS

Полученные образцы отмывали в физрастворе и подвергали спектроскопическому исследованию в 9 точках: у бедренного места прикрепления, в середине и у большеберцового места прикрепления, а также в средней части связки (Рисунок 3). Эту часть исследования провели совместно с сотрудниками лаборатории клинической биофотоники Института регенеративной медицины Сеченовского Университета. Использовали все 3 вышеупомянутые методики спектроскопии, проводя каждое измерение по 2-3 раза. Всего было получено и проанализировано свыше 750 различных спектров.

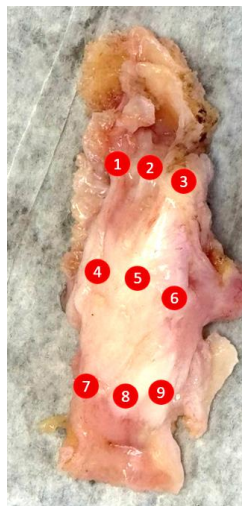


Рисунок 3 – Точки получения спектров на примере экспланта ПКС

Анализ результатов проведенного эксперимента показал, что флуоресцентная спектроскопия, выполненная на длинах волн от 325 до 450 нм, не позволяет однозначно дифференцировать степень повреждения эксплантов в соответствии с классификацией AAOS, так как полученные показатели даже в рамках одной степени поражения существенно отличаются. В связи с этим мы признали флуоресцентную спектроскопию непригодной для уточненной диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава.

Результаты Рамановской спектроскопии показали возможность дифференцировать состоятельную (неповрежденную или незначительно поврежденную) связку, состояние которой соответствовало I степени по AAOS, от повреждений II и III степени, однако статистически значимые отличия II от III степени повреждений с помощью этого метода получить не удалось, что существенно снижает пригодность данного метода для клинического применения (Рисунок 4).

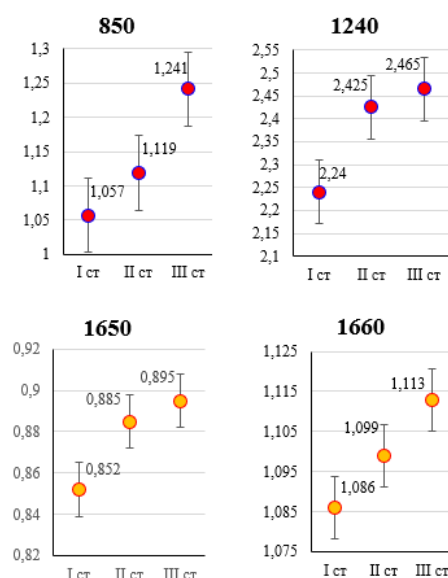


Рисунок 4 – Данные РС – диаграммы размаха с оценкой тяжести поражения связок по AAOS (нормирование на пики  $1270\text{ см}^{-1}$  и  $1450\text{ см}^{-1}$ )

Спектроскопию диффузного отражения (СДО) выполняли в ближнем ( $OD(\lambda)$  910 и 980 нм) и среднем ( $OD(\lambda)$  1200, 1400 и 1550 нм) инфракрасном диапазонах. При этом для регистрации спектров диффузного отражения применили специальный зонд собственной конструкции, включающий 3 оптоволоконных

проводника – один для подачи излучения на образец, и два – для приема отраженного света (Рисунок 5).

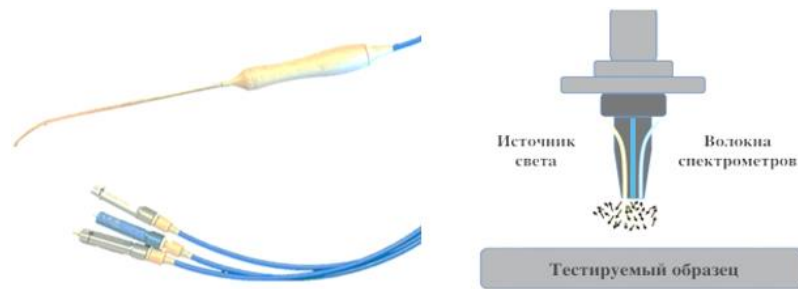


Рисунок 5 – Приёмно-передающий зонд и схема его применения

Анализ полученных результатов показал, что наиболее статистически значимые отличия, позволяющие уверенно дифференцировать все 3 степени тяжести поражения эксплантов, получены в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны 910 нм. Исследование с данными параметрами решено считать основным для уточненной диагностики. В качестве вспомогательного определено исследование в среднем инфракрасном диапазоне с длиной волны 1200 нм, которое позволяло статистически значимо отличать I степень поражения по AAOS от II и III степени, однако не позволяло уверенно отличить II и III степени, так как полученные данные частично перекрывались. Однако, исследование в данном диапазоне мы также включили в свой диагностический протокол, так как считали наиболее важным проводить различие именно между начальными степенями поражения связок (Рисунок 6).

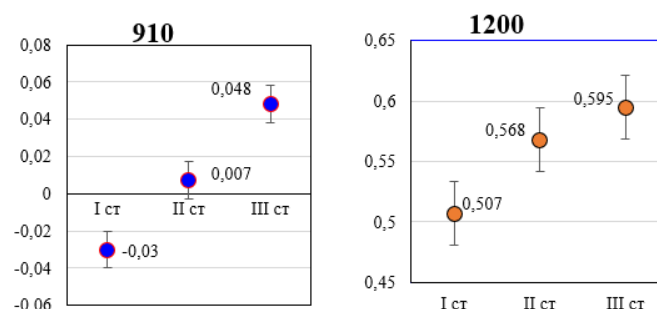


Рисунок 6 – Средние степени значений спектров эффективного поглощения эксплантов в ближнем (A910) и среднем (A1200) инфракрасных диапазонах

Таким образом, по результатам проведенного эксперимента мы определили, что для решения поставленных нами задач в наибольшей степени подходит

методика СДО. Исследование в ближнем инфракрасном диапазоне (А 910) считали основным, и если показания, полученные в среднем инфракрасном диапазоне (А 1200), подтверждали оценку состояния связки, полученную в ближнем диапазоне, диагноз считали высокоточным.

По результатам СДО мы разработали рабочую классификацию состояния крестообразных связок, которая была ориентирована на выбор лечебной тактики и коррелировала с известной артроскопической классификацией AAOS, однако была основана не на визуальном осмотре, а на объективных данных спектроскопии, позволяющих учесть внутренние структурные изменения. Наша классификация включала 0-1 степень (связка не повреждена или повреждена незначительно с сохранением ее состоятельности (диапазон спектров эффективного поглощения при А 910 нм < 0,02; при А 1200 нм < 0,54); 2 степень (диапазон спектров эффективного поглощения при А 910 нм 0,02-0,06; при А 1200 нм 0,54-0,60); и 3 степень (диапазон спектров эффективного поглощения при А 910 нм > 0,06; при А 1200 нм > 0,56). Из классификации видно, что параметры, определенные для II и III степеней поражения связки во вспомогательном, среднем инфракрасном диапазоне, частично «перекрываются» (Таблица 1).

Таблица 1 – Рабочая классификация повреждений крестообразных связок коленного сустава по данным СДО

Степень повреждения и ее характеристика		Диапазон спектров эффективного поглощения $OD(\lambda)$	
		Ближний инфракрасный диапазон, А 910	Средний инфракрасный диапазон А 1200
0-1 ст	Связка не повреждена или повреждения незначительны	< 0,02	< 0,54
2 ст	Структурные повреждения связки при визуальной сохранности и сниженной функции:	0,02 – 0,06	0,54 – 0,60
3 ст	Грубые структурные повреждения связки с ее полной несостоятельностью	> 0,06	> 0,56

В соответствии с классификацией, мы разработали **алгоритм выбора лечебной тактики**, согласно которому при 3 степени повреждения ПКС показана аутопластика связки, а при 1 и 2 степени – проведение реабилитационного лечения без ее реконструкции. В отношении ЗКС при сохранении состоятельности других

стабилизирующих структур считали возможным отказаться от ее пластики даже при 3 степени повреждения, верифицированной спектроскопически. Отличия в лечебной тактике заключались в применении разных реабилитационных протоколов. В случаях определения полного разрыва крестообразных связок с помощью клинического обследования, МРТ и диагностического этапа артроскопии, выполнение СДО считали излишним, так как и без этого дополнительного исследования диагноз был очевиден. Алгоритмом была предусмотрена возможность коррекции диагноза:

- при определении повреждения связки как I степени по AAOS в сторону отягощения степени патологии до 2 степени по нашей классификации;
- при определении повреждения связки как II степени по AAOS в сторону как отягощения степени патологии до 3 степени по нашей классификации;
- снижения тяжести до 0-1 степени (Рисунок 7).

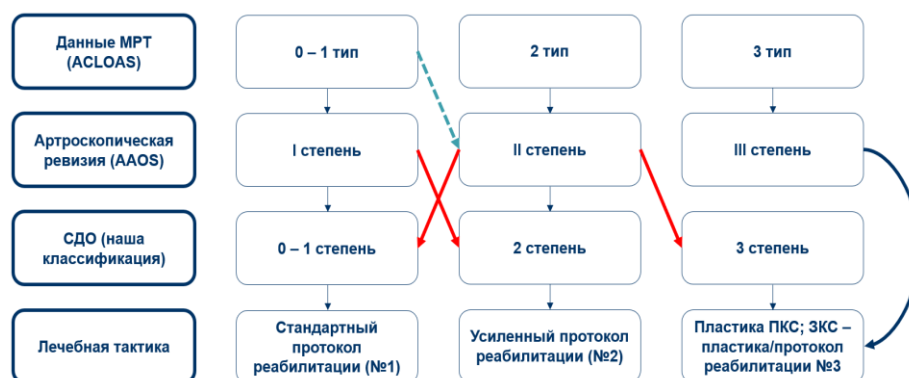


Рисунок 7 – Алгоритм определения лечебной тактики при повреждении крестообразных связок коленного сустава (красными стрелками показано возможное направление коррекции диагноза в зависимости от результатов СДО)

В зависимости от окончательного диагноза, верифицированного с помощью СДО, выделяли 3 варианта послеоперационного протокола реабилитации: при 1 степени – традиционный (вариант № 1): реконструкцию связки не выполняли, разгрузка оперированной конечности 1,5 недели; при 2 степени – усиленный (вариант № 2): реконструкцию связки не выполняли, разгрузка оперированной конечности до 6 недель; при 3 степени (вариант № 3): после пластики ПКС по стандартной схеме, регламентированной Клиническими рекомендациями РФ, с

ношением шарнирного ортеза; тот же протокол применяли и при изолированном полном разрыве ЗКС.

Перед **клиническим этапом** была поставлена задача определить эффективность дополнительного исследования состояния крестообразных связок коленного сустава с помощью СДО в отношении коррекции ранее установленного диагноза.

В исследование были включены 15 пациентов среднего возраста 35,5 лет со сроком давности после получения травмы не более 6 недель, которым при клиническом и лучевом обследовании были определены показания к выполнению артроскопии коленного сустава. Эти показания первоначально не были связаны с лечением повреждений крестообразных связок, так как по данным МРТ состояние крестообразных связок оценивали как 0-2 тип по классификации ACLOAS, а пациентов с 3 типом (полный разрыв) в исследование не включали. Все пациенты дали информированное согласие на возможное изменение плана операции по итогам дополнительного СДО-исследования, проведенного интраоперационно.

В ходе диагностического этапа артроскопии предоперационный диагноз наличия и степени поражения крестообразных связок был подтвержден или скорректирован, после чего выполняли СДО. Всего было у 15 человек обследовано 15 ПКС и 15 ЗКС. Отличие этого исследования от проведенного в эксперименте заключалось в том, что его выполняли в ходе реальной операции не на эксплантах, а на живых тканях в жидкостной среде. Выполнение СДО заняло в среднем 10,1 мин, что клинически значимо не отразилось на продолжительности операции (Рисунок 8).

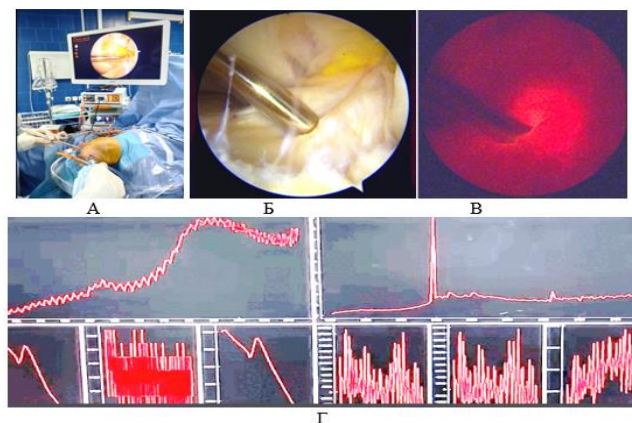


Рисунок 8 – Проведение СДО: А – вид операционной, Б – установка датчика, В, Г – выполнение исследования

В результате при обследовании ПКС с применением методики СДО первоначальный предварительный диагноз, установленный с помощью МРТ, был уточнен и скорректирован в 7 случаях из 15 (46,7%), причем в 3 случаях (20,0%) вместо частичного выявлен полный разрыв ПКС, что повлекло изменение плана операции с выполнением аутопластики поврежденной связки. Артроскопическая диагностика была более точна – установленная с ее помощью степень поражения ПКС была скорректирована при помощи СДО только в 3 наблюдениях (20,0%). При обследовании ЗКС первоначальный диагноз был скорректирован в 2 случаях в сторону более тяжелой патологии (13,3%).

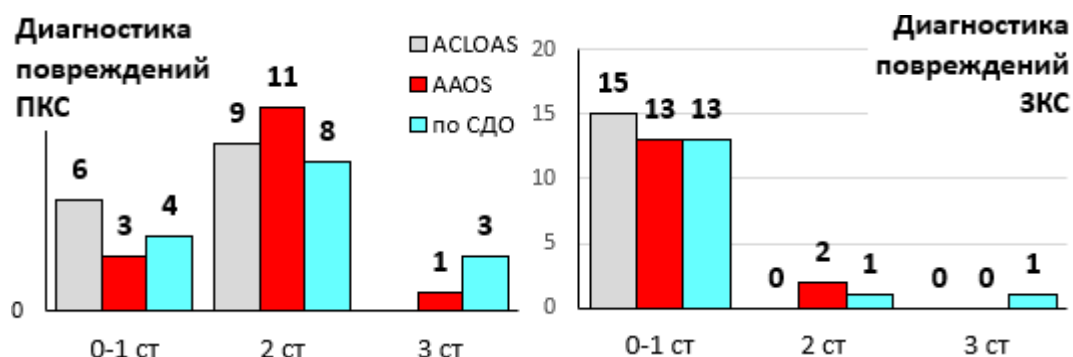


Рисунок 9 – Повреждения ПКС и ЗКС у пациентов (кол-во случаев)

Таким образом, применение СДО в ходе артроскопии позволило скорректировать первоначальный диагноз в 9 случаях (30,0%), при этом у трех пациентов перейдя к пластике поврежденной связки, а у остальных 6 человек изменив протокол послеоперационной реабилитации (Рисунок 10, Таблица 2).

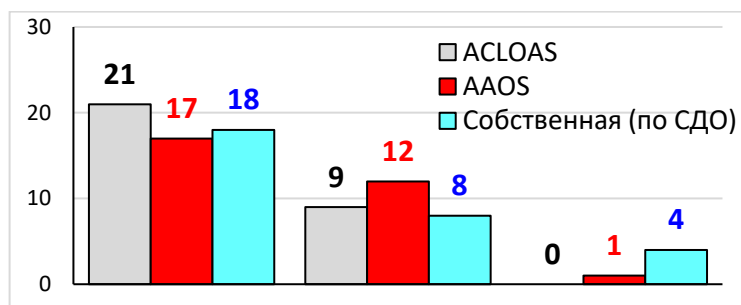


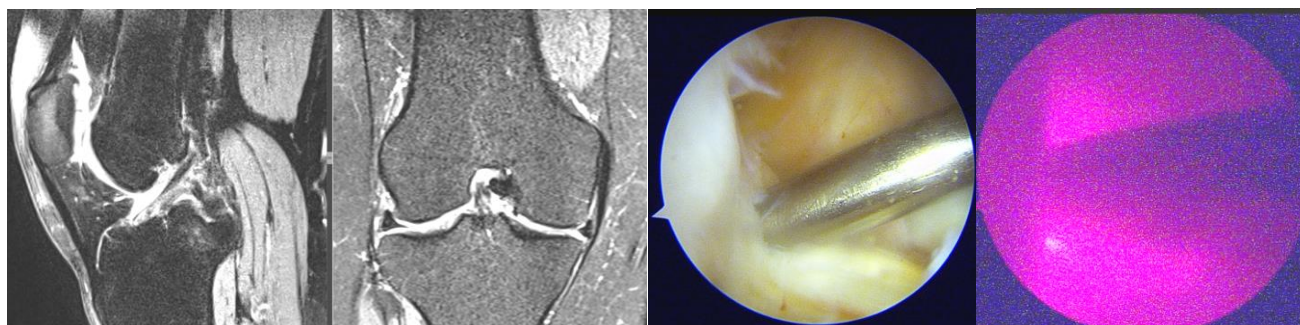
Рисунок 10 – Диагностика повреждений крестообразных связок коленного сустава – сравнение методик (кол-во случаев)

Таблица 2 – Результаты обследования пациентов

Пациент (№)	Степень тяжести						Тактика	Результаты анкетирования		
	ПКС			ЗКС				КООС (сред.)	IKDC 2000	Lysholm
	ACLOAS	AAOS	СДО	ACLOAS	AAOS	СДО				
1	0-1	I	0-1	0-1	I	0-1	Протокол 1	83 (отл.)	83 (хор.)	85 (хор.)
2	0-1	I	0-1	0-1	<b>II</b>	<b>2</b>	Протокол 2	75 (хор.)	76(удов.)	77(удов.)
3	0-1	I	0-1	0-1	<b>II</b>	<b>3</b>	Протокол 3	76 (хор.)	80 (хор.)	71(удов.)
4	0-1	<b>II</b>	0-1	0-1	I	0-1	Протокол 1	72 (хор.)	74(удов.)	75(удов.)
5	0-1	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	80 (отл.)	82 (хор.)	80 (хор.)
6	0-1	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	89 (отл.)	82 (хор.)	94 (отл.)
7	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	86 (отл.)	80 (хор.)	85 (хор.)
8	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	84 (отл.)	82 (хор.)	80 (хор.)
9	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	85 (отл.)	82 (хор.)	86 (хор.)
10	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	94 (отл.)	93 (отл.)	94 (отл.)
11	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	90 (отл.)	86 (хор.)	89 (хор.)
12	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>2</b>	0-1	I	0-1	Протокол 2	88 (отл.)	81 (хор.)	84 (хор.)
13	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>3</b>	0-1	I	0-1	Пластика + протокол 3	90 (отл.)	83 (хор.)	92 (отл.)
14	<b>2</b>	<b>II</b>	<b>3</b>	0-1	I	0-1	Пластика + протокол 3	94 (отл.)	92 (отл.)	94 (отл.)
15	<b>2</b>	<b>III</b>	<b>3</b>	0-1	I	0-1	Пластика + протокол 3	90 (отл.)	81 (хор.)	89 (хор.)

Результаты выполненных в соответствии с алгоритмом операций показали, что функция коленного сустава, оцениваемая как «отличная» или «хорошая», достигнута по шкале KOOS у 100% пациентов, по IKDS – у 86,6%, по Lysholm – у 80%, что, как минимум, не хуже результатов, приводимых в доступных литературных источниках в отношении лечения аналогичных контингентов пациентов. Более подробный анализ результатов лечения не входил в задачи данного исследования, которое было посвящено разработке и обоснованию эффективности методики уточненной диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава.

**Клинический пример № 1.** Пациентка Ю, 32 лет, травма 3 недели назад. Симптом Лахмана отрицательный, переднего выдвигающего ящика – слабо положительный (+). На МРТ – разрыв медиального мениска, повреждение ПКС 1 типа по ACLOAS (Рисунок 11-А).



А

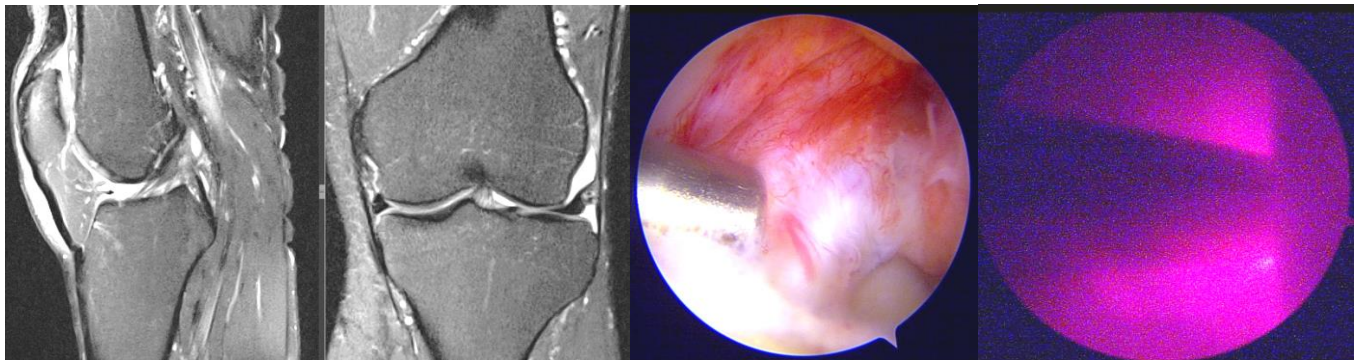
Б

Рисунок 11 – Пациентка Ю. А – МРТ коленного сустава до операции;  
Б – выполнение СДО

При артроскопической ревизии – повреждение ПКС II степени по AAOS. Выполнена СДО (Рисунок 11-Б): в диапазоне A910  $OD(\lambda)=0.068369371308179724$ , в диапазоне A1200  $OD(\lambda)=0.6272597563212676$ , что соответствует 3 степени повреждения по нашей классификации. Дополнительно к первоначальному плану выполнена пластика ПКС с использованием в качестве аутотрансплантата сухожилия длинной малоберцовой мышцы по стандартной методике. Детальное исследование эксплантированной в ходе операции ПКС подтвердило ее полный разрыв.

Данный пример демонстрирует выявление тяжелого поражения ПКС с помощью СДО, когда ни МРТ, ни артроскопическая ревизия не позволили это сделать, полагая повреждение лишь частичным. Можно предположить, что при отсутствии возможности выполнения СДО пластика ПКС не была бы произведена, что в последующем могло привести к нарастающей дисфункции, прогрессирующему остеоартрозу и нестабильности коленного сустава, снижению качества жизни и необходимости выполнения пластики ПКС уже в более отдаленные сроки.

**Клинический пример № 2.** Пациент А., 41 год. Травма 1 месяц назад. Симптом Лахмана отрицательный, переднего выдвигающего ящика – слабо положительный (+). На МРТ – разрыв медиального мениска, повреждение ПКС 2 типа по ACLOAS (Рисунок 12-А).



А

Б

Рисунок 12 – Пациент А. А – МРТ коленного сустава до операции;  
Б – выполнение СДО

При артроскопической ревизии – повреждение ПКС II степени по AAOS. Выполнена СДО (рисунок 12-Б): в диапазоне A910  $OD(\lambda) = -0.011229300668373775$ , в диапазоне A1200  $OD(\lambda) = 0.5123830085706702$ , что соответствует 1 степени повреждения по нашей классификации.

Поскольку 1 степень повреждения ПКС подтверждена данными СДО-исследования в обоих инфракрасных спектрах, именно этот диагноз признан достоверным, и после выполнения артроскопической парциальной резекции поврежденного мениска в послеоперационном периоде был применен реабилитационный протокол № 1. Осложнений нет. Функция коленного сустава

восстановлена полностью, жалоб нет, пациент вернулся к занятиям любительским спортом, доволен результатом и расценивает его как отличный.

Данный пример демонстрирует возможность уточнения диагноза в отношении состояния ПКС с помощью методики СДО – была определена более легкая степень патологии ПКС (1-я по нашей классификации вместо II по AAOS), что позволило в послеоперационном периоде вместо реабилитационного протокола № 2 (усиленного), рекомендованного при поражении ПКС II степени по AAOS, применить протокол № 1 (традиционный), тем самым существенно сократив период реабилитации, избежав при этом осложнений и получив результат, полностью удовлетворивший пациента.

Таким образом, спектроскопия диффузного отражения является эффективной методикой в отношении уточненной диагностики повреждений крестообразных связок коленного сустава. Интраоперационное выполнение СДО можно рекомендовать во всех случаях, когда их полный разрыв крестообразных связок не очевиден по данным МРТ и последующей артроскопической ревизии.

## **ВЫВОДЫ**

1. Спектроскопия диффузного отражения в ближнем (910 нм) и среднем (A1200) инфракрасном диапазонах позволяет определить структурные изменения крестообразных связок коленного сустава, отличая норму от частичного и полного разрывов со степенью статистической значимости в зависимости от степени поражения от  $p < 0,05$  до  $p < 0,0001$ .

2. Интраоперационная методика оценки состояния крестообразных связок коленного сустава, основанная на спектроскопии диффузного отражения, позволила для ПКС уточнить диагноз, установленный с помощью МРТ (по классификации ACLOAS), в 46,7% случаев, а при помощи артроскопической ревизии (по классификации AAOS) – в 20,0% случаев. Для ЗКС – частота коррекции предоперационного и артроскопического диагнозов составила 13,3%.

3. Созданная классификация поражений крестообразных связок коленного сустава, основанная на данных, полученных с помощью спектроскопии диффузного отражения, легла в основу разработанного лечебно-диагностического алгоритма, применение которого в ходе клинического этапа исследования позволило существенно скорректировать лечебную тактику, выполнив ранее не запланированную аутопластику повреждённых связок у 13,3% пациентов, и в 16,7 случаях изменив реабилитационный протокол.

4. Применение разработанной методики лечения пациентов с патологией коленного сустава, включающей выполнение уточненной интраоперационной диагностики с помощью спектроскопии диффузного отражения, существенно не увеличило время операции (в среднем на 10,1 мин), но позволило избежать осложнений и рецидивов, связанных с патологией крестообразных связок коленного сустава.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Для уточненной диагностики состояния крестообразных связок коленного сустава традиционные методы обследования целесообразно дополнить выполнением интраоперационной спектроскопии диффузного отражения, что позволит скорректировать хирургическую тактику в соответствии с полученными результатами. Такое исследование рекомендовано проводить с помощью спектрометров, регистрирующих отклик в ближнем (A910 нм) и в среднем (A1200 нм) инфракрасном диапазонах, позволяющих получить наиболее статистически значимые результаты для определения степени поражения связок. Как источник света целесообразно использовать вольфрам-галогеновую лампу со сплошным спектром излучения. Оптоволоконные проводники для спектрометров и источника света целесообразно подключать к приёмно-передающему зонду разработанной нами конструкции.

2. Разработанную на основе данных спектроскопии диффузного отражения классификацию степени поражения крестообразных связок коленного сустава

рекомендовано использовать для выбора оптимальной лечебной тактики в соответствии с созданным алгоритмом. Основными для установки диагноза являются данные, полученные в ближнем инфракрасном диапазоне (A910), а при совпадении этой оценки с результатами, полученными в среднем инфракрасном диапазоне (A1200), диагноз можно считать высокоточным и руководствоваться им для определения лечебной тактики – выполнению аутопластики связки или выбора реабилитационного протокола в послеоперационном периоде.

3. Интраоперационную спектроскопию диффузного отражения для уточнения степени поражения крестообразных связок коленного сустава целесообразно выполнять во всех случаях ее предварительной оценки 1 или 2 типа по данным МРТ (классификация ACLOAS), и I или II степени по данным артроскопической ревизии (классификация AAOS), так как наше исследование показало достаточно высокую частоту недооценки тяжести структурных изменений, что может потребовать коррекции лечебной тактики.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Гончарук, Ю. Р. Оптическая спектроскопия в диагностике раннего остеоартрита (обзор литературы) / Ю. Р. Гончарук, М. М. Липина, А. В. Лычагин, П. С. Тимашев, И. А. Вязанкин, **К. М. Азаркин** // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2022. – Т. 49. – № 3 (49). – С. 77–89. – DOI: 10.17238/2226-2016-2022-3-77-89.

2. Кудрачев, Т. Р. Современные возможности диагностики и лечения разрывов менисков коленного сустава / Т. Р. Кудрачев, **К. М. Азаркин**, Ю. Р. Гончарук, А. В. Лычагин, П. С. Тимашев, М. М. Липина, П. И. Петров, Г. М. Кавалерский // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2022. – № 4 (41). – С. 57–66. – DOI: 10.17238/2226-2016-2022-4-57-66.

3. Райков, Б. Д. Новый способ определения диагностических параметров суставного хряща : от теории к практике (клинический пример) / Б. Д. Райков, **К. М. Азаркин**, А. В. Лычагин, Ю. Р. Гончарук, М. М. Липина, А. В. Гаркави, И. А.

Вязанкин, Д. А. Погосян, Е. Б. Калинин, Б. М. Калинин, Т. Р. Кудрачев, Э. Э. Мурдалов, А. Р. Дрогин, Н. О. Белов, Н. Р. Ровнягина, Г. С. Будылин // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2023. – Т. 51. – № 1. – С. 73–81. – DOI: 10.17238/2226-2016-2023-1-73-81.

4. Budylin, G. S. Surgery guidance in orthopedics and dentistry [Electronic resource] / G. S. Budylin, N. R. Rovnyagina, E. E. Nikonova, P. V. Dyakonov, V. A. Petrov, D. A. Davydov, A. S. Kochmareva, A. Yu. Turkina, M. M. Lipina, E. B. Kalinsky, **K. M. Azarkin**, B. D. Raikov, A. V. Lychagin, P. S. Timashev, E. A. Shirshin // 2024 International Conference Laser Optics (ICLO). – Saint Petersburg : IEEE, 2024. – P. 489. – DOI: 10.1109 /ICLO59702.2024.10624286. – URL:<https://ieeexplore.ieee.org/document/10624286/> (accessed: 27.12.2025).

5. Raikov, B. Methods for determining the molecular composition of knee joint structures in osteoarthritis : collagen, proteoglycans and water content : a systematic review / B. Raikov, M. Lipina, **K. Azarkin**, Y. Goncharuk, I. Vyazankin, E. Kalinsky, T. Kudrachev, E. Murdalov, E. Nagornov, G. Budylin, E. Shirshin // Collagen and Leather. – 2024. – Vol. 6. – No. 1. – Article number 30. – DOI: 10.1186/s42825-024-00173

6. Калинин, Е. Б. Биомеханическая модель надколенника в норме и при повреждении медиальной пателлофemorальной связки / Е. Б. Калинин, А. С. Юрова, А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, Ю. В. Василевский, А. И. Тягунова, Ф. Б. Логинов, А. А. Грицюк, И. Н. Тарабарко, Р. И. Алиев, М. М. Богданов, М. М. Липина, **К. М. Азаркин**, А. А. Бабкова // **Кафедра травматологии и ортопедии**. – 2024. – № 2 (56). – С. 45–52. – DOI: 10.17238/2226-2016-2024-2-45-52.

7. Лычагин, А. В. Клинический опыт имплантации сфероидов аутологичных хондроцитов человека для лечения дефектов хряща коленного сустава / А. В. Лычагин, А. А. Свистунов, Е. Б. Калинин, А. В. Гаркави, Г. М. Кавалерский, Т. Р. Кудрачев, Ю. Р. Гончарук, **К. М. Азаркин**, Д. А. Погосян, Э. Э. Мурдалов // **Кафедра травматологии и ортопедии**. – 2025. – № 4 (62). – С. 53–61. – DOI: 10.17238/issn2226-2016.2025.4.53-61.

8. Патент на изобретение № RU 2 843 437 C1, Российская Федерация, МПК А61В 17/56, А61В 1/317. Способ диагностики повреждений суставного хряща и мениска коленного сустава / А. В. Лычагин, Ю. Р. Гончарук, М. М. Липина, Е. Б. Калинин, П. И. Петров, Д. А. Погосян, **К. М. Азаркин**, П. С. Тимашев, Ю. М. Ефремов, Н. Б. Сержникова, Е. А. Ширшин, Г. С. Будылин, Н. Р. Ровнягина, П. В. Дьяконов; патентообладатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2024127650, заявл. 08.11.2024, опубл. **14.07.2025**, Бюл. №20

9. Лычагин, А. В. Определение возможности применения метода Рамановской спектроскопии для выявления несостоятельности крестообразных связок коленного сустава [Электронный ресурс] / А. В. Лычагин, Е. Б. Калинин, **К. М. Азаркин**, А. В. Гаркави, Ю. Р. Гончарук // **Современные проблемы науки и образования**. – 2026. – № 3. – URL: <https://science-education.ru /ru/article /view?id=34489>.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЗКС – задняя крестообразная связка

МРТ – магнитно-резонансная томография

ПКС – передняя крестообразная связка

СДО – спектроскопия диффузного отражения

AAOS – American Academy of Orthopaedic Surgeons

ACLOAS (Anterior Cruciate Ligament OsteoArthritis Score) – «шкала оценки остеоартрита передней крестообразной связки»

IKDS (International Knee Documentation Committee) – шкала оценки функции коленного сустава «Международного комитета по документации колена»

KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) – шкала оценки результатов травмы и остеоартрита коленного сустава.