

УДК 617.3

© Лычагин А.В., Калинин Е.Б., Азаркин К.М., Гаркави А.В., Сметанин С.М., Целищева Е.Ю., Жарова Т.А., Бабкова А.А., Чабдарханова Е.Д., Гончарук Ю.Р., Кавалерский Г.М., 2026

Оригинальное исследование / Original research



ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИИ КРЕСТООБРАЗНЫХ СВЯЗОК КОЛЕННОГО СУСТАВА

А.В. ЛЫЧАГИН, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, К.М. АЗАРКИН, А.В. ГАРКАВИ, С.М. СМЕТАНИН, Е.Ю. ЦЕЛИЩЕВА, Т.А. ЖАРОВА, А.А. БАБКОВА, Е.Д. ЧАБДАРХАНОВА, Ю.Р. ГОНЧАРУК, Г.М. КАВАЛЕРСКИЙ

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование. Коленный сустав является самым крупным и сложным по строению и биомеханике суставом, в связи с этим наиболее уязвимым звеном опорно-двигательной системы. На долю травм коленного сустава приходится около 50 % всех травм суставов в теле человека. Наиболее часто встречаются повреждения капсульно-связочного аппарата коленного сустава, что определяет актуальность данной проблемы. Своевременное распознавание наличия и степени тяжести патологии крестообразных связок важно в определении выбора лечебной тактики, включая их хирургическую реконструкцию.

Цель исследования. Определение возможности диагностического применения метода спектроскопии диффузного отражения для выявления несостоятельности крестообразных связок коленного сустава.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись экспланты крестообразных связок коленного сустава, полученные у пациентов, которым выполнялось плановое первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава. Забор осуществляли вместе с костными блоками в местах прикреплений крестообразных связок. В предоперационном периоде всем пациентам выполняли магнитно-резонансную томографию с оценкой состояния крестообразных связок по шкале ACLOAS. Состоятельность связок оценивали до забора, используя классификацию AAOS. Впоследствии экспланты подвергали исследованию с помощью метода спектроскопии диффузного отражения в ближнем (800–1050 нм) и среднем (1050–1800 нм) инфракрасных диапазонах.

Результаты. В ближнем инфракрасном диапазоне при длине волны 910 нм обнаружены статистически значимые различия ($p < 0,05$) между полученными показателями по всем трем степеням тяжести поражений связок в соответствии с классификацией AAOS. В среднем инфракрасном диапазоне в диапазоне 1200–1050 нм зафиксирована статистически высокосignificant разница между средними показателями I и II степени поражений связки по AAOS ($p < 0,0001$).

Заключение. Анализ данных показал, что спектроскопия диффузного отражения света является перспективным диагностическим инструментом для дифференцировки стадий патологии крестообразных связок коленного сустава.

Ключевые слова: коленный сустав; передняя крестообразная связка; задняя крестообразная связка; спектроскопия диффузного отражения; биофотоника.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Лычагин А.В., Калинин Е.Б., Азаркин К.М., Гаркави А.В., Сметанин С.М., Целищева Е.Ю., Жарова Т.А., Бабкова А.А., Чабдарханова Е.Д., Гончарук Ю.Р., Кавалерский Г.М. Проспективное исследование возможности применения спектроскопии диффузного отражения для диагностики патологии крестообразных связок коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1: 22–29.

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

PROSPECTIVE STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY FOR THE DIAGNOSIS OF PATHOLOGY OF THE CRUCIATE LIGAMENTS OF THE KNEE JOINT

ALEXEY V. LYCHAGIN, EUGENE B. KALINSKY, KIRILL M. AZARKIN, ANDREY V. GARKAVI, SERGEY M. SMETANIN, EVGENIYA YU. TSELISCHEVA, TATIANA A. ZHAROVA, ANNA A. BABKOVA, ELIZAVETA D. CHABDARHANOVA, YULIYA R. GONCHARUK, GENNADY M. KAVALERSKY

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. The knee joint is the largest and most structurally and biomechanically complex joint, which makes it the most vulnerable component of the musculoskeletal system. Injuries to the knee joint account for approximately 50% of all joint injuries in the human body. Damage to the capsuloligamentous apparatus of the knee joint is the most common, which determines the relevance of this problem. Timely recognition of the presence and severity of cruciate ligament pathology is essential for determining the optimal treatment strategy, including surgical reconstruction.

Aim of the study. To assess the feasibility of using diffuse reflectance spectroscopy as a diagnostic method for detecting insufficiency of the knee joint cruciate ligaments.

Materials and methods. The study objects were explanted cruciate ligaments of the knee joint obtained from patients undergoing elective primary total knee arthroplasty. Tissue harvesting was performed together with bone blocks at the sites of cruciate ligament attachment. In the preoperative period, all patients underwent magnetic resonance imaging with assessment of cruciate ligament status using the ACLOAS scale. Ligament integrity was evaluated prior to harvesting using the AAOS classification. Subsequently, the explants were examined using diffuse reflectance spectroscopy in the near-infrared (800–1050 nm) and mid-infrared (1050–1800 nm) spectral ranges.

Results. In the near-infrared range at a wavelength of 910 nm, statistically significant differences ($p < 0.05$) were identified among the measured parameters for all three grades of ligament injury severity according to the AAOS classification. In the mid-infrared range, within 1050–1200 nm, a highly statistically significant difference was observed between the mean values of grade I and grade II ligament injuries according to AAOS ($p < 0.0001$).

Conclusion. Data analysis demonstrated that diffuse reflectance spectroscopy is a promising diagnostic tool for differentiating stages of cruciate ligament pathology of the knee joint.

Key words: knee joint; anterior cruciate ligament; posterior cruciate ligament; diffuse reflectance spectroscopy; biophotonics.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Lychagin A.V., Kalinsky E.B., Azarkin K.M., Garkavi A.V., Smetanin S.M., Tselischeva E.Yu., Zharova T.A., Babkova A.A., Chabdarhanova E.D., Goncharuk Yu.R., Kavalersky G.M. Prospective study of the feasibility of using diffuse reflectance spectroscopy for the diagnosis of pathology of the cruciate ligaments of the knee joint. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 22–29.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.22-29

Введение

Повреждения крестообразных связок коленного сустава являются одной из наиболее распространённых травм. В Соединённых Штатах ежегодно регистрируется около 250 000 случаев разрыва передней крестообразной связки (ПКС), при этом приблизительно в 50 % наблюдений требуется хирургическая реконструкция [1]. Несмотря на более низкую частоту встречаемости, повреждения задней крестообразной связки (ЗКС) выявляются у значительной доли пациентов с травмами коленного сустава и ассоциированы с неблагоприятными долгосрочными исходами, включая стойкое нарушение биомеханики сустава и прогрессирование дегенеративных изменений [2].

Ограниченный регенераторный потенциал крестообразных связок обусловлен их слабой васкуляризацией и особенностями тканевой организации. Травматическое воздействие

инициирует каскад микроструктурных изменений, включающих клеточные изменения и дезорганизацию внеклеточного матрикса, что приводит к ухудшению механических характеристик связки [3]. Эти изменения лежат в основе функциональной нестабильности коленного сустава и формируют предпосылки для развития гонартроза.

Эффективность хирургического лечения повреждений крестообразных связок в значительной степени зависит от времени вмешательства. На поздних стадиях формируются необратимые структурные изменения сустава, что снижает потенциал восстановления функции даже при технически корректно выполненной операции. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методов объективного и количественного выявления структурных нарушений крестообразных связок, предшествующих формированию клинически выраженной нестабильности.

Современные методы визуализации, включая магнитно-резонансную томографию и ультразвуковое исследование, обладают высокой диагностической ценностью при полных разрывах крестообразных связок и выраженных морфологических изменениях [4]. Однако их чувствительность существенно снижается при частичных субсиновиальных повреждениях, сопровождающихся преимущественно микроструктурными и биохимическими нарушениями ткани связки [5].

В этом контексте методы оптической спектроскопии представляют значительный интерес как инструмент количественной оценки структурно-функциональных характеристик биологических тканей. Данные методы успешно применяются в ряде медицинских дисциплин для анализа тканевого состава и метаболического состояния клеток [6–10]. Спектроскопический анализ основан на регистрации взаимодействия электромагнитного излучения с тканью, что позволяет получать спектральные параметры, отражающие компонентный состав и физико-химические свойства исследуемого объекта. Это делает методы оптической спектроскопии потенциально применимыми для выявления изменений крестообразных связок, недоступных для стандартных методов визуализации. Одной из наиболее подходящих методик для оценки состояния крестообразных связок является спектроскопия диффузного отражения (СДО) [9].

Основной принцип СДО заключается в изучении взаимодействия света с биологической тканью посредством явлений рассеяния и поглощения. Характеристики поглощения ткани указывают на ее биохимический состав, тогда как свойства рассеяния связаны с субклеточной морфологией. После взаимодействия с тканью спектр отраженного света изменяется относительно падающего света. Спектр диффузного отражения предоставляет информацию о композиционных и субклеточных свойствах исследуемой ткани [10].

Цель исследования

Определение возможности диагностического применения метода спектроскопии диффузного отражения для выявления несостоятельности крестообразных связок коленного сустава.

Материалы и методы

Проспективное нерандомизированное исследование проводили в Клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов Университетской клинической больницы № 1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М.Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) на базе кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины им. Н.В.Склифосовского в период с 2023 по 2025 гг.

В исследование были включены совершеннолетние пациенты с клиническими показаниями к тотальному эндопротезированию коленного сустава, у которых по результатам

предоперационной магнитно-резонансной томографии выявлялись повреждения передней и/или задней крестообразной связки, соответствующие 1–2 типам по классификации ACLOAS (Anterior Cruciate Ligament OsteoArthritis Score). Критериями не включения являлись полный разрыв крестообразных связок (3 тип по ACLOAS), отсутствие патологии крестообразных связок, технические погрешности при заборе эксплантов.

В ходе операции тотального эндопротезирования коленного сустава выполняли интраоперационную оценку состояния крестообразных связок в соответствии с классификацией AAOS (American Association of Orthopedic Surgeons), после чего осуществляли забор эксплантов передней и задней крестообразных связок вместе с костными участками их прикрепления (рисунок 1). После извлечения каждый эксплант подвергался визуальному контролю с целью выявления возможных ятрогенных повреждений. Далее образцы промывали физиологическим раствором хлорида натрия и помещали в фосфатный буфер для предотвращения дегидратации тканей. Всего исследовано 30 эксплантов, полученных от 24 пациентов.

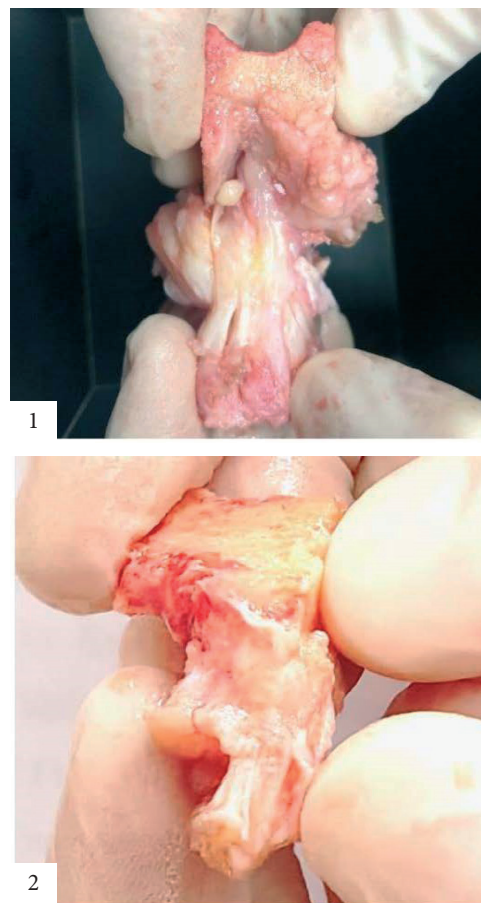


Рисунок 1. Экспланты пкс: 1 - 1 степень, 2 - 3 степень (по AAOS)
Fig. 1. ACL explants: 1 - grade 1, 2 - grade 3 (according to AAOS)

На каждом образце определяли девять репрезентативных зон для спектроскопического анализа: по три точки в области бедренного энтеза, в средней трети связки и в зоне большеберцового энтеза (рисунок 2).

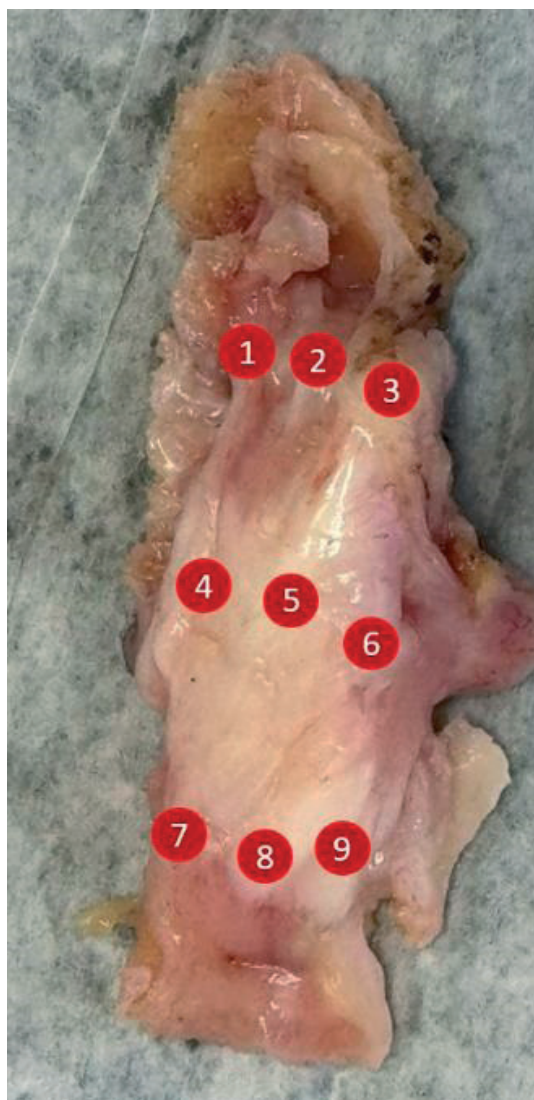


Рисунок 2. Точки получения спектров на примере экспланта пкс
Fig. 2. Points of obtaining spectra on the ACL explant

Регистрация спектров в каждой точке проводилась с повторением измерений два-три раза. Таким образом, совокупный массив данных включал 270 исследованных участков крестообразных связок, при этом проанализировано более 750 спектров. Спектроскопическое исследование выполняли непосредственно после эксцизии.

Для регистрации спектров СДО был применен зонд собственной разработки, включавший три оптоволоконных проводника. Один проводник служил для подачи широкополосного излучения на образец, два других проводника служили

приёмниками света, испытывавшего рассеяние и поглощение в толще исследуемого экспланта (рисунок 3).

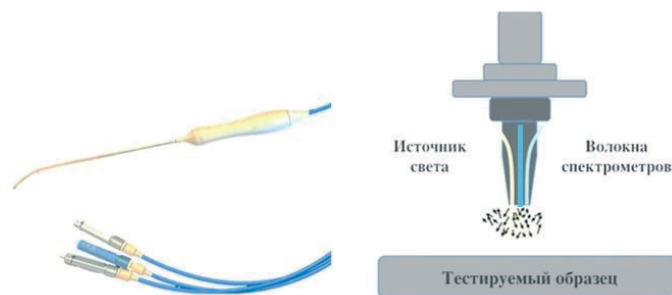


Рисунок 3. Приемо-передающий зонд и схема расположения оптических волокон
Fig. 3. Transmit-receive explorer and optical fiber layout

В качестве источника света использовали вольфрам-галогеновую лампу со сплошным спектром излучения (Thorlabs, Германия). Регистрацию отклика осуществляли в расширенном диапазоне 800–1800 нм с использованием двух спектрометров:

1. QE2000pro (OceanOptics, США) для диапазона 800–1050 нм (ближний инфракрасный диапазон)
2. AvaSpec-NIR256-2.5-HSC (Avantes BV, Нидерланды) для диапазона 1050–1800 нм (средний инфракрасный диапазон)

Для обеспечения достоверности измерений перед каждой серией экспериментов проводили калибровку – измеряли эталонный спектр лампы от стандарта диффузного отражения (белый эталон) и регистрировали фоновый спектр. После этого рассчитывали спектр отражения ($R(\lambda)$) по формуле:

$$R(\lambda) = \frac{I - I_{bg}}{I_{ref} - I_{bg}}$$

где I – спектр сигнала, I_{bg} – фоновый спектр, I_{ref} – эталонный спектр лампы.

По результатам измерения спектров отражения ($R(\lambda)$) рассчитывали спектр эффективного поглощения ($OD(\lambda)$) по формуле:

$$OD(\lambda) = -\log_{10} R(\lambda)$$

Из полученного спектра эффективного поглощения определяли оптические параметры.

Результаты

Статистически значимых различий между показателями, полученными для передней и задней крестообразных связок, выявлено не было ($p > 0,05$). В связи с этим дальнейший анализ выполнялся без дифференциации исследуемых связок на ПКС и ЗКС и проводился исключительно с учётом степени тяжести повреждений в соответствии с классификацией AAOS.

В ближнем инфракрасном диапазоне (800–1050 нм) зарегистрирован выраженный пик поглощения воды при длине волны 980 нм, тогда как максимум, ассоциированный с поглощением коллагена, наблюдался при 910 нм. В среднем инфракрасном диапазоне (1050–1800 нм) характерные пики поглощения воды и коллагена были зафиксированы при длинах волн 1200, 1400 и 1550 нм.

Таблица 1 / Tab. 1.

Средние значения спектров эффективного поглощения эксплантов ($OD(\lambda)$) на различных длинах волн /
Average values of the effective absorption spectra of explants ($OD(\lambda)$) at different wavelengths

	Длина волны (нм)	Тяжесть поражения по AAOS		
		I степень	II степень	III степень
Ближний инфракрасный диапазон	910	-0.029611287753006373	0.0076817117016659605	0.047724130817993836
	980	0.24865539463364925	0.2628257971401316	0.2978060975180321
Средний инфракрасный диапазон	1200	0.5067085783012302	0.5678271188087163	0.5951267697725632
	1400	2.8493098573147226	2.8485765284222726	2.810999330532399
	1550	2.732115993535909	2.6891843403627083	2.6175221368850914

Анализ данных, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне, показал, что при длине волны 910 нм, соответствующей поглощению коллагена, между всеми тремя степенями тяжести поражений связки по классификации AAOS выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$). В то же время при длине волны 980 нм достоверных различий между I и II степенью повреждения обнаружено не было ($p > 0,05$) (рисунок 4).

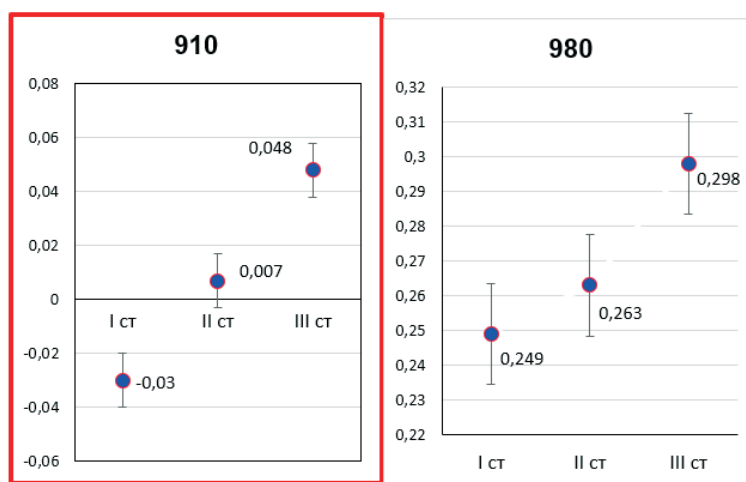


Рисунок 4. Диаграммы размаха средних значений спектров эффективного поглощения в зависимости от степени повреждения по ааос (ближний ик-диапазон)

Fig. 4. Plots of the average values of the effective absorption spectra depending on the stage of damage according to the aaos (near infrared range)

В среднем инфракрасном диапазоне проведен анализ разницы амплитуд между пиками и фоновым спектром 1050 нм, что является стандартным подходом для минимизации влияния фонового рассеяния. В диапазоне 1200–1050 нм выявлена статистически высокозначимая разница между средними значениями показателей для I и II степени повреждения связки по классификации AAOS ($p < 0,0001$) (рисунок 5).

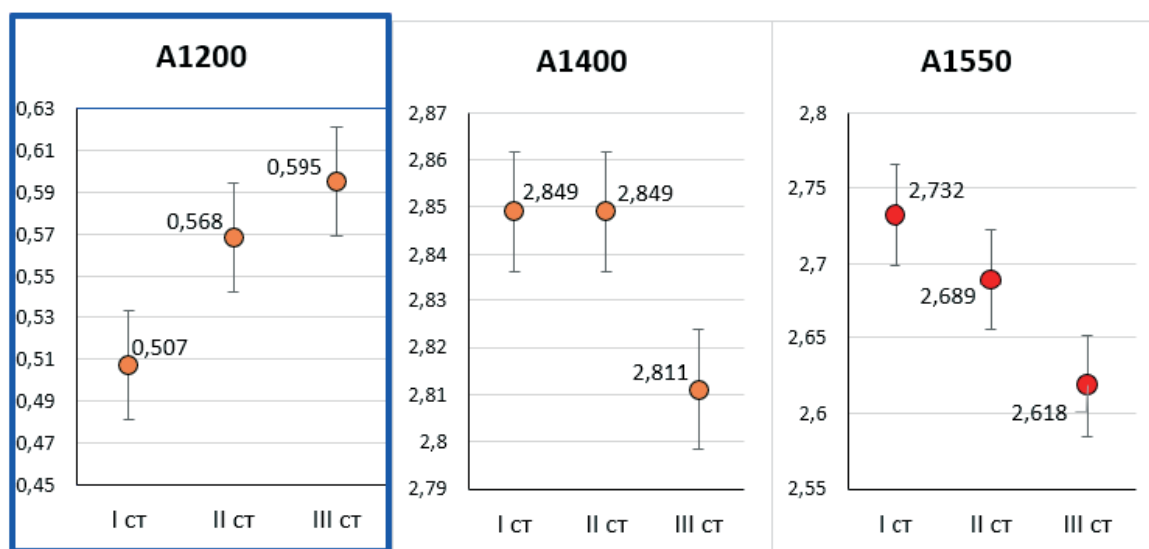


Рисунок 5. Диаграммы размаха средних значений спектров эффективного поглощения в зависимости от степени повреждения по aaos (средний ик-диапазон)
Fig. 5. Plots of the average values of the effective absorption spectra depending on the stage of damage according to the aaos (mid-infrared range)

Обсуждение

Отсутствие статистически значимых различий между спектральными показателями передней и задней крестообразных связок свидетельствует о сходстве их оптических характеристик в исследуемых диапазонах длин волн. Это позволило рассматривать полученные данные без разделения связок по анатомическому признаку и сосредоточить анализ на степени тяжести повреждений, что представляется методологически обоснованным.

Выявленные в ближнем инфракрасном диапазоне статистически значимые различия между всеми степенями повреждения связки при длине волны 910 нм указывают на высокую чувствительность коллаген-ассоциированного сигнала к структурным изменениям ткани. Это может быть обусловлено прогрессирующей дезорганизацией коллагеновых волокон по мере увеличения степени повреждения, что отражается в изменении оптических свойств крестообразных связок.

В то же время отсутствие достоверных различий между I и II степенью повреждения при длине волны 980 нм позволяет предположить, что содержание и распределение воды в ткани на ранних стадиях дегенеративных изменений изменяется менее выражено либо характеризуется высокой вариабельностью. Таким образом, водный компонент, по-видимому, является менее специфичным маркером для дифференциации начальных степеней повреждения по сравнению с коллагеновым компонентом.

Выявленная в интервале 1200–1050 нм статистически высокосignифицирующая разница между I и II степенью повреждения подтверждает информативность данного диапазона

для количественной оценки изменений структуры связки. Вероятно, наблюдаемые различия отражают совокупное влияние деградации коллагена и изменения гидратации ткани.

Заключение

Полученные результаты указывают на перспективность спектроскопического анализа в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах для объективной оценки степени повреждения крестообразных связок. Для целей диагностики представляется наиболее важным дифференцирование I и II степени поражения, так как дифференцировать эти степени по результатам клинического, инструментального и даже артроскопического исследования достаточно затруднительно. Особенно значимым представляется использование длин волн, ассоциированных с поглощением коллагена, как потенциальных диагностических маркеров тяжести поражения. Наиболее информативными при этом являются исследования в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны 910 нм и в среднем инфракрасном диапазоне с длиной волны 1200 нм.

Список литературы / References:

1. Beaulieu M. L., Ashton-Miller J. A., & Wojtys E. M. Loading mechanisms of the anterior cruciate ligament. *Sports Biomechanics*, 2023;22(1):1–29. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1916578>
2. Owesen C., Sandven-Thrane S., Lind M. et al. Epidemiology of surgically treated posterior cruciate ligament injuries in Scandinavia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:2384–2391. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3786-2>

3. Pitsillides A., Stasinopoulos D., & Giannakou K. Healing potential of the anterior cruciate ligament in terms of fiber continuity after a complete rupture: a systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2021;28:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.06.003>
4. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54:1423-1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
5. Al Mohammad B., & Gharaibeh M. A. Magnetic Resonance Imaging of Anterior Cruciate Ligament Injury. *Orthopedic Research and Reviews*, 2024;16:233–242. <https://doi.org/10.2147/ORR.S450336>
6. Han Y., Ling S., Qi Z., Shao Z., & Chen X. Application of far-infrared spectroscopy to the structural identification of protein materials. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2018;20(17):11643-11648. <https://doi.org/10.1039/C8CP00802G>
7. Qi Y., Chen E. X., Hu D., Yang Y., Wu Z., Zheng M., Sadi M. A., Jiang Y., Zhang K., Chen Z., & Chen Y. P. Applications of Raman spectroscopy in clinical medicine. *Food Frontiers*. 2024;5:392–419. <https://doi.org/10.1002/fft2.335>
8. Bydlon T.M., Nachabé R., Ramanujam N., Sterenborg H.J.C.M. and Hendriks B.H.W. Chromophore based analyses of steady-state diffuse reflectance spectroscopy: current status and perspectives for clinical adoption. *J. Biophoton*. 2015;8:9-24. <https://doi.org/10.1002/jbio.201300198>
9. N. R. Rovnyagina, G. S. Budylin, P. V. Dyakonov, Y. M. Efremov, M. M. Lipina, Y. R. Goncharuk, E. E. Murdalov, D. A. Pogosyan, D. A. Davydov, A. A. Korneev, N. B. Serejnikova, K. A. Mikaelyan, S. A. Evlashin, V. A. Lazarev, A. V. Lychagin, P. S. Timashev, E. A. Shirshin. *J. Biophotonics*. 2023;16(3):e202200149. <https://doi.org/10.1002/jbio.202200149>
10. de Boer L.L., Bydlon T.M., van Duijnhoven F. et al. Towards the use of diffuse reflectance spectroscopy for real-time in vivo detection of breast cancer during surgery. *J Transl Med*. 2018;16:367. <https://doi.org/10.1186/s12967-018-1747-5>

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: dr.lychagin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

Калинский Евгений Борисович – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: kalinsky_e_b@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-8103-5613

Азаркин Кирилл Михайлович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: wilopt@mail.ru; ORCID: 0009-0005-4882-3553

Гаркави Андрей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и

хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: avgar22@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-4996-1657

Сметанин Сергей Михайлович – доктор мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский университет), e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com, ORCID:0000-0002-8607-4347;

Целищева Евгения Юрьевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: tjanetrav-ort@bk.ru

Жарова Татьяна Альбертовна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: zharova-mma@yandex.ru

Бабкова Анна Анатольевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: babkova_a_a@staff.sechenov.ru

Чабдарханова Елизавета Дмитриевна – студент ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: elizab.chab@gmail.com

Гончарук Юлия Романовна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

Кавалерский Геннадий Михайлович – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: gkavalerskiy@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Азаркин Кирилл Михайлович

Information about authors:

Alexey V. Lychagin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: dr.lychagin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

Eugene B. Kalinsky – Doctor of Medical Sciences, Docent, Professor at Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: kalinsky_e_b@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-8103-5613

Kirill M. Azarkin – postgraduate student of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: wilopt@mail.ru; ORCID: 0009-0005-4882-3553

Andrey V. Garkavi – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russia, E-mail: avgar22@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-4996-1657

Sergey M. Smetanin – I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Dr. of Sci.(Med.), professor, e-mail: dr.smetaninsm@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8607-4347;

Evgeniya Yu. Tselischeva – MD, PhD, Associate Professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, Sechenov University, Trubetskaya str., 8/2, 119048, Moscow, Russia, e-mail tjanetravort@bk.ru

Tatiana A. Zharova – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: zharova-mma@yandex.ru

Anna A. Babkova – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Radiology and Radiation Therapy, I. M. Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia, ORCID: 0000-0003-4857-8621. E-mail: babkova_a_a@staff.sechenov.ru.

Elizaveta D. Chabdarhanova – student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: elizab.chab@gmail.com

Yuliya R. Goncharuk – Candidate of Medical Sciences, Associate professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

Gennady M. Kavalersky – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University e Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail gkavalerskiy@mail.ru

Corresponding author: Kirill M. Azarkin