

## ОЦЕНКА ПРОПРИОЦЕПТИВНОЙ ФУНКЦИИ У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

**РОМАНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**, ORCID ID: 0000-0002-5366-3735; аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, e-mail: Dr.Romanov67@mail.ru

**ГАРКАВИ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**, ORCID ID: 0000-0003-4996-1657; докт. мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, e-mail: avgar22@yandex.ru

**ДРОГИН АНДРЕЙ РОАЛЬДОВИЧ**, ORCID ID: 0000-0003-4395-9425; канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, e-mail: a.drogin@yandex.ru

**ШИШОВА АНАСТАСИЯ АЛЕКСЕЕВНА**, ORCID ID: 0000-0001-8520-2346; канд. мед. наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, e-mail: n\_a\_s\_t\_y\_a\_@list.ru

**КНЕЛЛЕР ЛЕВ ОЛЕГОВИЧ**, ORCID ID: 0000-0003-4375-7495; канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения ГБУЗ г. Москвы ГКБ №67 им. Л.А. Ворохобова Департамента здравоохранения города Москвы, Россия, 123423, Москва, ул. Саляма Адила, д. 2/44, e-mail: Okneller90@gmail.com

**МОЛЧАНОВ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ**, ORCID ID: 0000-0002-8263-0617; врач ЛФК, заведующий отделением восстановительного лечения Клиники «К+31», Россия, 119415, Москва, ул. Лобачевского, д. 42, стр. 4, e-mail: Vanjamol@yahoo.com

**Реферат. Введение.** В последнее время возродился интерес к первичному восстановлению передней крестообразной связки, что во многом связано с потенциальной возможностью сохранения её проприоцептивной функции. **Цель исследования:** оценить проприоцептивную функцию коленного сустава у пациентов, перенесших реинсерцию передней крестообразной связки с дополнительной аугментацией, и сравнить полученные результаты с аналогичными параметрами у пациентов, перенесших аутопластику данной связки с использованием сухожилия полусухожильной мышцы. **Материалы и методы.** Проведено исследование 40 пациентов, которые были разделены на две группы: в 1 группе (n=20) в связи с повреждением передней крестообразной связки была выполнена её реинсерция с дополнительной аугментацией, во 2 группе (n=20) – аутотрансплантация с использованием сухожилия полусухожильной мышцы. Проприоцептивную функцию оценивали не ранее, чем через 12 месяцев с момента операции с помощью методов активного воспроизведения пассивного позиционирования и восприятия применения силы. Кроме того, сравнивали функциональное состояние оперированного коленного сустава с использованием шкал-опросников Knee and Osteoarthritis Outcome Score и International Knee Documentation Committee. Оценку достоверности различий между исследуемыми группами проводили с помощью U-критерия Манна-Уитни (различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ ). **Результаты и их обсуждение.** Несмотря на сопоставимые функциональные результаты по шкалам-опросникам ( $p > 0,05$ ), у пациентов 1 группы получены статистически значимые лучшие результаты коэффициента проприоцепции по всем использованным методам в сравнении со 2 группой ( $p < 0,05$ ). Помимо этого, сравнительная оценка оперированного и контрольного здорового сустава внутри групп показала сопоставимые данные у пациентов 1 группы ( $p > 0,05$ ) и статистически значимые различия у пациентов 2 группы ( $p < 0,05$ ) также по всем использованным методам. **Заключение.** Полученные результаты продемонстрировали, что проприоцепция коленного сустава после первичного восстановления передней крестообразной связки практически идентична таковой в контрольном здоровом суставе и статистически значимо лучше, чем после её аутопластического замещения сухожилием полусухожильной мышцы.

**Список ключевых слов:** проприоцепция, передняя крестообразная связка, реинсерция, коленный сустав.

**Для ссылки:** Романов Д.А., Гаркави А.В., Дрогин А.Р. и др. Оценка проприоцептивной функции у пациентов после восстановления передней крестообразной связки // Вестник современной клинической медицины. – 2022. – Т.15, вып.5. - С.58-65. DOI: 10.20969/VSKM.2022.15(5).58-65.

## ASSESSING OF PROPRIOCEPTIVE FUNCTION IN PATIENTS AFTER THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT REPAIR

**ROMANOV DMITRIY A.**, ORCID ID: 0000-0002-5366-3735; Postgraduate Student of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Trubeckaya st., 8, building 2, Moscow, 119991, Russia, e-mail: Dr.romanov67@mail.ru

**GARKAVI ANDREY V.**, ORCID ID: 0000-0003-4996-1657; Dr. Med. Sci., Prof. of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Trubeckaya st., 8, building 2, Moscow, 119991, Russia, e-mail: Avgar22@yandex.ru

**DROGIN ANDREY R.**, ORCID ID: 0000-0003-4395-9425; C. Med. Sci., Associate Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Trubeckaya st., 8, building 2, Moscow, 119991, Russia, e-mail: A.drogin@yandex.ru

**SHISHOVA ANASTASIYA A.**, ORCID ID: 0000-0001-8520-2346; C. Med. Sci., Assistant Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov,

**Abstract. Introduction.** Recently, interest has been revived in the primary repair of the anterior cruciate ligament, which is largely due to the potential possibility of preserving its proprioceptive function. **Aim.** The aim of the study was to evaluate the proprioceptive function of the knee joint in patients who underwent anterior cruciate ligament repair with additional augmentation and to compare the results with similar parameters in patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus muscle tendon. **Material and methods.** 40 patients were evaluated, who were divided into two groups: in group 1 (n=20), due to damage to the anterior cruciate ligament, its repair with additional augmentation was performed; in group 2 (n=20), anterior cruciate ligament reconstruction using tendon of the semitendinosus muscle was performed. Proprioceptive function was tested no earlier than 12 months after surgery using the method of active reproduction of passive positioning and the force sense reproduction method. In addition, the functional state of the treated knee joint was compared using the Knee and Osteoarthritis Outcome Score and International Knee Documentation Committee questionnaire scales. The significance of differences between the study groups was assessed using the Mann-Whitney U-test (differences were considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ ). Results and discussions. Despite the similar functional outcomes on the questionnaire scales ( $p > 0.05$ ), the patients of group 1 achieved statistically significant better results of the proprioception coefficient for all the methods used in comparison with group 2 ( $p < 0.05$ ). In addition, a comparative assessment of the treated and contralateral healthy joint within the groups showed similar data in group 1 patients ( $p > 0.05$ ) and statistically significant differences in group 2 ( $p < 0.05$ ) also for all methods used. **Conclusion.** The study demonstrated that the proprioception of the knee joint after anterior cruciate ligament repair is almost identical to that in the contralateral healthy joint and is significantly better than after anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus muscle tendon.

**Keywords:** proprioception, anterior cruciate ligament, repair, knee joint.

**For reference:** Romanov DA, Garkavi AV, Drogin AR, Shishova AA, Kneller LO, Molchanov IS. Assessing of proprioceptive function in patients after the anterior cruciate ligament repair // The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2022.15(5):58-65. DOI:10.20969/VSKM.2022.15(5).58-65.

**В**ведение. Передняя крестообразная связка (ПКС) играет важную роль в поддержании механической стабильности коленного сустава, препятствуя за счет своего анатомического расположения переднему и ротационному смещению большеберцовой кости относительно бедренной. Кроме того, в структуре ПКС содержится большое количество механорецепторов (тельца Руффини и Паччини, сухожильные органы Гольджи и свободные нервные окончания), стимуляция которых совместно со стимуляцией механорецепторов других капсульно-связочных структур при аномальных нагрузках инициирует различные типы рефлекторных ответов через нервную дугу, обеспечивая дополнительную динамическую стабильность сустава [1, 2]. Такая функция коленного сустава, осуществляющаяся за счет богатой сенсорной иннервации, называется проприоцепцией.

В последнее время именно функциональной, или динамической, нестабильностью, развивающейся в связи с выраженным снижением проприоцепции из-за уменьшения количества или полного отсутствия механорецепторов, объясняется высокий процент неудовлетворительных результатов хирургического замещения поврежденной ПКС различными трансплантатами, в особенности в тех случаях, когда достигается адекватная механическая стабильность сустава [1, 3, 4].

В качестве методов оценки проприоцепции предложено несколько тестов, среди которых выделяются методы на определение чувства положения сустава (активное воспроизведение пассивного позиционирования (АВПП) или определение

угла пассивного позиционирования), метод обнаружения порога пассивного движения (МОПД) и метод восприятия применения силы (ВПС). Использование данных методов в ряде исследований подтвердило, что проприоцептивная функция коленного сустава снижается как при несостоятельности ПКС, так и при её замещении различными трансплантатами [5–8].

На этом фоне всё больше проявляется интерес к первичному восстановлению ПКС при её проксимальных повреждениях, поскольку по мнению ряда авторов, сохранение нативной ткани связки при её адекватном натяжении будет способствовать восстановлению не только механической, но и проприоцептивной функции, что обеспечит лучшие функциональные результаты лечения [9–12]. Однако исследований, которые оценивали бы проприоцептивную функцию у пациентов, перенесших первичное восстановление ПКС, в доступной нам литературе обнаружено не было.

Таким образом **целью** данной работы явилась оценка проприоцептивной функции коленного сустава у пациентов, перенесших реинсерцию передней крестообразной связки с дополнительной аугментацией, и сравнение полученных результатов с аналогичными параметрами у пациентов, перенесших аутопластику ПКС с использованием в качестве ауто трансплантата сухожилия полусухожильной мышцы по методике all-inside.

**Материалы и методы.** В данное ретроспективное нерандомизированное клиническое исследование были включены 40 пациентов, которые в связи с нестабильностью коленного сустава на

фоне повреждения ПКС были оперированы в период с 2017 по 2020 гг. в травматолого-ортопедическом отделении Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница № 67 им. Л. А. Ворохобова Департамента здравоохранения города Москвы». В зависимости от перенесенной операции пациенты были разделены на 2 группы. В 1 (основную) группу вошли 20 пациентов, перенесших первичное восстановление ПКС с дополнительной аугментацией по методике Internal Brace Ligament Augmentation (IBLA), а во 2 группу (группу сравнения) – 20 пациентов, перенесших аутопластику ПКС с использованием сухожилия полусухожильной мышцы по методике all-inside. Все пациенты, включенные в исследование, были оперированы одной группой хирургов и прошли курс реабилитации по одинаковому протоколу. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Сеченовского университета. От всех участников исследования было получено письменное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ полученных данных выполняли на персональном компьютере с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 16.42 и IBM Statistica 12.0. Перед началом расчетов с помощью теста Колмогорова-Смирнова проводили проверку на нормальность распределения. В результате выборка не подчинялась законам нормального распределения, поэтому в статистической обработке использовали непараметрические методы статистической обработки. Оценку достоверности различий между исследуемыми группами проводили с помощью U-критерия Манна-Уитни. Количественные данные представлены в виде медианы (Me) и процентилей (25-го; 75-го), качественные - в виде абсолютных чисел и процентов. Различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ .

Критерии включения в исследование:

- выполнение операции по поводу разрыва ПКС не позже, чем через 4 недели после травмы;
- срок, с момента выполненной операции не менее 12 месяцев;

Критерии невключения в исследование:

- повреждения других связочных структур (кроме ПКС) оперированного коленного сустава;
- повреждения контралатерального коленного сустава;
- рентгенологические признаки остеоартроза 2-4 ст. по Kellgren-Lawrence;
- неспособность или неготовность пациента к конструктивному сотрудничеству и выполнению рекомендаций.

Исследование проприоцептивной функции коленного сустава проводили не ранее, чем через 12 месяцев с момента выполнения операции с использованием биомеханической лечебно-диагностической системы Humac Norm (США) (рисунок 1).



Рисунок 1. Положение пациента на биомеханической лечебно-диагностической системе Humac Norm при исследовании проприоцептивной функции коленного сустава  
Figure 1. The position of the patient on the Humac Norm biomechanical diagnostic and treatment system in the study of the proprioceptive function of the knee joint

Для оценки состояния проприоцепции использовали метод активного воспроизведения пассивного позиционирования (АВПП) и метод восприятия применения силы (ВПС).

Оценивали оба коленных сустава – как оперированный, так и контралатеральный. Первично внутри каждой группы сравнивали результаты между здоровым суставом и оперированным, а затем, поскольку показатель проприоцептивной функции индивидуален для каждого человека, в качестве окончательной оценки для сравнения результатов между двумя группами использовали коэффициент проприоцепции (разница полученных данных между здоровым и оперированным суставом), при этом значение коэффициента равно 0 (то есть отсутствие отличий) считали идеальным.

Исследование активного воспроизведения пассивного позиционирования проводили при целевых углах 60° и 45° градусов. Воспроизведение каждого из целевых углов проводилось трижды с интервалом 30 секунд. Определяли средний результат за три попытки, который сравнивали с исследуемым целевым углом: абсолютная ошибка, т.е. разница показателей без знаковой принадлежности, характеризовала проприоцепцию тестируемого сустава.

Исследование метода восприятия применения силы проводили при начальных углах в 45° и 60° в выставленном на Humac Norm режиме изометрического тестирования мышечной силы. При

каждом начальном угле пациент на первом этапе разгибал коленный сустав, воспроизводя максимально возможное изометрическое сокращение мышц, затем после отдыха в 300 секунд под визуальным контролем в течение 10 секунд запоминал силу в 50% от максимального, являющейся целевой, и в конце воспроизводил данное усилие уже без зрительного контроля. Между целевым и воспроизводимым без визуального контроля значениями силы рассчитывали разницу. Абсолютную ошибку двух значений использовали в качестве показателя проприоцепции.

Оценка функции коленного сустава. Для оценки функции оперированного коленного сустава в

сроки не менее 12 месяцев с момента операции применяли международные шкалы-опросники Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) и International Knee Documentation Committee (IKDC), по каждой из которой диапазон «отличного» результата был определен в интервале 89-100 баллов.

**Результаты и их обсуждение.** Возраст пациентов обеих групп, гендерное распределение, а также медиана времени, прошедшего от момента получения травмы до оперативного вмешательства и частота сопутствующих повреждений менисков и суставного хряща представлены в таблице 1.

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика пациентов обеих групп

Table 1

Clinical and demographic findings in patients of both groups

	1-я группа (n=20) – первичное восстановление ПКС	2-я группа (n=20) – аутопластика ПКС
Медиана возраста (лет)	30,0 (22,8; 35,0)	30,5 (23,0; 38,0)
Количество мужчин/женщин	12 (60 %) / 8 (40 %)	11 (55 %) / 9 (45 %)
Медиана время от получения травмы до операции (дни)	15,5 (11,5; 20,5)	18,0 (10,8; 25,0)
Сопутствующие повреждения менисков	7 (35 %)	8 (40 %)
Сопутствующие повреждения суставного хряща	7 (35 %)	6 (30 %)

Медиана времени, прошедшего от момента оперативного вмешательства до исследования проприоцепции составила 14,0 (12,0; 15,3) месяцев для пациентов 1 группы и 14,0 (12,0; 15,3) месяцев для пациентов 2 группы.

Для пациентов 1 группы результаты метода активного воспроизведения пассивного позиционирования в сравнении между здоровым и оперированным коленными суставами не показали статистически значимых различий как при целевом

угле в 60° ( $p>0,05$ ), так и при целевом угле в 45° ( $p>0,05$ ). Медиана коэффициента проприоцепции составила -0,8 (-1,0; 0,3) и -0,4 (-1,1; 0,1) соответственно. Аналогичные, статистически незначимые, различия в результатах получены и при оценке метода восприятия применения силы при целевых углах в 45° ( $p>0,05$ ) и 60° ( $p>0,05$ ). Медиана коэффициента проприоцепции при данном методе исследования составила -1,0 (-3,0; 0) и -1,5 (-3,0; 0,3) соответственно (таблица 2).

Таблица 2

Результаты обследования оперированного и здорового суставов методами активного воспроизведения пассивного позиционирования (АВПП) и восприятия применения силы (ВСП) и коэффициент проприоцепции пациентов основной группы

Table 2

The results of examination of operated and healthy joints using the method of active reproduction of passive positioning and the force sense reproduction method and proprioception coefficient in patients of the main group

		Результат (Ме и 25;75 процентиля)	p
АВПП при 60°	Оперированный сустав	2,8 (1,1; 4,3)	>0,05
	Здоровый сустав	2,2 (1,5; 3,4)	
	Коэффициент проприоцепции	-0,8 (-1,0; 0,3)	
АВПП при 45°	Оперированный сустав	2,5 (1,5; 3,9)	>0,05
	Здоровый сустав	1,9 (1,0; 3,1)	
	Коэффициент проприоцепции	-0,4 (-1,1; 0,1)	
ВПС при 45°	Оперированный сустав	8,0 (5,5; 10,3)	>0,05
	Здоровый сустав	7,0 (4,8; 7,3)	
	Коэффициент проприоцепции	-1,0 (-3,0; 0)	
ВПС при 60°	Оперированный сустав	7,5 (5,0; 11,3)	>0,05
	Здоровый сустав	7,5 (5,8; 8,0)	
	Коэффициент проприоцепции	-1,5 (-3,0; 0,3)	

Полученные данные свидетельствуют о том, что у пациентов, перенесших реинсерцию ПКС с дополнительной аугментацией, показатели проприоцептивной функции оперированного коленного сустава восстановились до сопоставимого со здоровым коленным суставом уровня.

Для пациентов 2 группы результаты метода активного воспроизведения пассивного позиционирования, напротив, показали статистически значимые различия в сравнении между здоровым и опериро-

ванным коленными суставами как при целевом угле в 60° ( $p < 0,05$ ), так и при целевом угле в 45° ( $p < 0,05$ ). Медиана коэффициента проприоцепции составила -2,5 (-3,6; -1,0) и -2,3 (-3,5; -1,4) соответственно. Аналогичные, статистически значимые результаты, получены и при оценке метода восприятия применения силы при целевых углах в 45° ( $p < 0,05$ ) и 60° ( $p < 0,05$ ). Коэффициент проприоцепции при данном методе исследования составил -4,0 (-6,0; -1,8) и -3,0 (-6,0; -1,8) соответственно (таблица 3).

Таблица 3

**Результаты обследования оперированного и здорового суставов методами активного воспроизведения пассивного позиционирования (АВПП) и восприятия применения силы (ВПС) и коэффициент проприоцепции пациентов группы сравнения**

Table 3

**The results of examination of operated and healthy joints using the method of active reproduction of passive positioning and the force sense reproduction method and proprioception coefficient in patients of the comparison group**

		Результат (Me и 25;75 процентиля)	p
АВПП при 60°	Оперированный сустав	4,1(3,6; 5,0)	<0,05
	Здоровый сустав	1,7(0,9; 2,6)	
	Коэффициент проприоцепции	-2,5(-3,6; -1,0)	
АВПП при 45°	Оперированный сустав	4,8(3,5; 5,8)	<0,05
	Здоровый сустав	1,7(0,9; 2,7)	
	Коэффициент проприоцепции	-2,3(-3,5; -1,4)	
ВПС при 45°	Оперированный сустав	9,5(8,0; 13,0)	<0,05
	Здоровый сустав	6,5(4,0; 8,3)	
	Коэффициент проприоцепции	-4,0(-6,0; -1,8)	
ВПС при 60°	Оперированный сустав	9,0(6,8; 11,3)	<0,05
	Здоровый сустав	5,0(4,8; 7,3)	
	Коэффициент проприоцепции	-3,0 (-6,0; -1,8)	

В отличие от пациентов 1 группы, у пациентов, которые перенесли аутопластику передней крестообразной связки с использованием сухожилия полусухозильной мышцы, отмечено статистически значимое снижение проприоцептивной функции в оперированном коленном суставе в сравнении со здоровым.

Сравнительная оценка коэффициентов проприоцепции между двумя группами показала статистически значимые лучшие результаты ( $p < 0,05$ ) у пациентов 1 группы по всем использованным показателям (таблица 4).

Таблица 4

**Сравнительный межгрупповой анализ показателей коэффициентов проприоцепции, полученных методами активного воспроизведения пассивного позиционирования и восприятия применения силы**

Table 4

**Comparative intergroup analysis of indicators of proprioception coefficients obtained using the method of active reproduction of passive positioning and the force sense reproduction method**

Метод исследования	Коэффициент проприоцепции				p
	1 группа		2 группа		
	Me	25;75 процентиля	Me	25;75 процентиля	
АВПП при 60°	-0,8	(-1,0; 0,3)	-2,5	(-3,6; -1,0)	$p < 0,05$
АВПП при 45°	-0,4	(-1,1; 0,1)	-2,3	(-3,5; -1,4)	$p < 0,05$
ВПС при 45°	-1,0	(-3,0; 0)	-4,0	(-6,0; -1,8)	$p < 0,05$
ВПС при 60°	-1,5	(-3,0; 0,3)	-3,0	(-6,0; -1,8)	$p < 0,05$

Полученные данные могут косвенно свидетельствовать о лучшем восстановлении проприоцептивной функции у пациентов, перенесших реинсерцию передней крестообразной связки, в сравнении с пациентами, которым была выполнена аутоотрансплантация передней крестообразной

связки с использованием сухожилия полусухожильной мышцы.

В свою очередь, оценка функции коленного сустава по шкалам-опросникам IKDC и KOOS не показала статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ) между двумя группами по каждой из шкал (таблица 5).

**Таблица 5**

**Сравнительный межгрупповой анализ функционального состояния коленного сустава по шкалам-опросникам IKDC и KOOS**

**Table 5**

**Comparative intergroup analysis of knee joint function according to IKDC and KOOS**

Шкала	Баллы				p
	1 группа		2 группа		
	Me	25;75 процентиля	Me	25;75 процентиля	
IKDC	91,0	(89,4; 95,4)	88,0	(87,4; 93,4)	>0,05
KOOS	92,5	(88,0; 95,0)	90,0	(86,5; 92,8)	>0,05

Таким образом, настоящее исследование показало, что проприоцепция коленного сустава после первичного восстановления ПКС практически идентична таковой в контралатеральном здоровом суставе и статистически значимо лучше, чем после аутопластического замещения ПКС сухожилием полусухожильной мышцы. В задачи проведенного нами исследования не входило получение исчерпывающего объяснения данного факта, однако можно предположить, что во многом это обусловлено сохранением кровоснабжения и иннервации восстановленной связки, содержащей в своей структуре большое количество механорецепторов, которые начинают адекватно функционировать, как только связка вновь начинает обеспечивать стабильность сустава за счет натяжения своих волокон [1, 13]. При трансплантации же ПКС её реиннервация хоть и происходит, но, по мнению ряда авторов, остается существенно сниженной, а специфические механорецепторы сохраняются лишь в остатках дистальной культы связки, и в полной мере не способны выполнять свои задачи [14–16].

Тем не менее, стоит отметить, что биомеханические тесты можно рассматривать как средство лишь косвенной оценки проприоцепции и общепризнанного стандартизированного метода её оценки не существует, однако используемые нами методы: активное воспроизведение пассивного позиционирования и метод восприятия силы считаются основными и описываются в ряде исследований.

Так, метод АВПП использовался для оценки проприоцепции коленного сустава как в условиях разрыва ПКС, так и после протезирования связки различными трансплантатами. При исследовании коленного сустава с разорванной ПКС авторы отмечают выраженное снижение проприоцептивной функции травмированного сустава [6–8], что позволило нам ориентироваться на данный метод. В свою очередь, исследования проприоцепции после аутоотрансплантации ПКС показывают неоднородные результаты. Выводы ряда авторов говорят о снижении данной функции, что наблюдается и в нашей работе [5, 17, 18]. Однако, имеются данные

и о полном восстановлении проприоцепции уже через 6 месяцев с момента перенесенной операции [19]. В тоже время исследований, оценивающих проприоцепцию после реинсерции ПКС, нами в доступной литературе обнаружено не было.

Метод ВПС описывали San Martín-Mohr C. et al. [20], а также Li L. et al. [21] в качестве одного из основных в исследовании проприоцепции, однако по данным доступной нам литературы для оценки проприоцепции коленного сустава в условиях перенесенного оперативного вмешательства его не применяли, что возможно связано с трудоемкостью и сложностью метода. Несмотря на это, в нашем исследовании метод продемонстрировал различия как внутри групп, так и между группами аналогично с методом активного воспроизведения пассивного позиционирования.

Ограничениями данного исследования являются сравнительно небольшая выборка и его нерандомизированный характер. Кроме того, наличие в исследовании пациентов с сопутствующим повреждением менисков может отразиться на результатах, поскольку по мнению Assimakopoulos A.P. et al. и Jerosch J. et al. мениски играют роль в проприоцептивной функции сустава [22, 23], однако сопоставимое количество таких пациентов в обеих группах снижает значимость данного фактора при проведении сравнительного анализа.

В наших исследованиях мы не отметили прямой корреляции между показателями косвенной оценки состояния проприоцепции в оперированных суставах (где констатировано существенное преимущество у пациентов 1-й группы) и шкал-опросников, по которым средние результаты существенно не отличались. В то же время, функциональные результаты у пациентов 1-й группы все же были несколько лучше.

Связь уровня сохраненной проприоцепции с функцией оперированного коленного сустава требует дальнейшего глубокого изучения, особенно в отношении спортсменов, у которых это может отразиться на спортивных результатах. Однако, такое исследование не входило в задачи данной работы.

## Заключение

1. Биомеханические методы «активного воспроизведения пассивного позиционирования» (АВПП) и «восприятия применения силы» (ВПС), выполненные в сравнении обеих нижних конечностей с применением лечебно-диагностической системы Нумас Норм, позволяют косвенно судить о состоянии проприоцепции в коленном суставе, оперированном по поводу повреждения ПКС.

2. Показатели биомеханических тестов в группе пациентов с восстановленной ПКС через 1 год после операции показали статистически значимое преимущество перед аналогичными данными в группе пациентов после аутопластики ПКС сухожилием полусухожильной мышцы по каждому из исследуемых показателей, однако в то же время, прямой корреляции с показателями функции коленного сустава, определенным по шкалам-опросникам, выявлено не было.

**Прозрачность исследования.** Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

**Декларация о финансовых и других взаимоотношениях.** Все авторы принимали участие в разработке концепции, дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

## Литература / References.

1. Banios K, Raoulis V, Fyllos A, et al. Anterior and Posterior Cruciate Ligaments Mechanoreceptors: A Review of Basic Science. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12 (2): 331. DOI: 10.3390/diagnostics12020331
2. Cabuk H, Kuşku Ç, Cabuk F. Mechanoreceptors of the ligaments and tendons around the knee. *Clinical Anatomy*. 2016; 29 (6): 789-795. DOI: 10.1002/ca.22743
3. Лисицын М.П. Артроскопическая реконструкция поврежденной передней крестообразной связки коленного сустава с использованием компьютерной навигации и перспективы ее морфо-функционального восстановления: специальность 14.01.15 «Травматология и ортопедия»: диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Лисицын Михаил Петрович; Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова. – Москва, 2012. – 238 с. [Lisitsyn MP. Artroskopicheskaya rekonstrukciya povrezhdenij perednej krestoobraznoj svyazki kolennogo sustava s ispol'zovaniem komp'yuternoj navigacii i perspektivy ee morfo-funkcional'nogo vosstanovleniya [Arthroscopic reconstruction of injuries of the anterior cruciate ligament of the knee joint using computer navigation and the prospects for its morpho-functional restoration] : special'nost' [speciality] 14.01.15 «Травматология и ортопедия» [Traumatology and Orthopedics]: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora medicinskih nauk [Dissertation for the degree of doctor of medical sciences] / Lisitsyn Mihail Petrovich; Moskovskij gosudarstvennyj mediko-stomatologicheskij universitet im. A. I. Evdokimova [Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov]. - Moskva [Moscow], 2012. - 239 p. (in Russ.)].
4. Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J Orthop*. 2011; 45 (4): 294-300. DOI: 10.4103/0019-5413.80320
5. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an Anterior Cruciate Ligament Rupture on Knee Proprioception Within 2 Years After Conservative and Operative Treatment: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2021: 1-12. DOI: 10.1007/s40279-021-01600-z
6. Kim HJ, Lee JH, Lee DH. Proprioception in patients with anterior cruciate ligament tears: a meta-analysis comparing injured and uninjured limbs. *The American journal of sports medicine*. 2017; 45 (12): 2916-2922. DOI: 10.1177/0363546516682231
7. Rahbari A, Rahimi A, Kalantari KK, Baghban AA. Changes of Knee Proprioception in Athletes With an Isolated Unilateral Complete Anterior Cruciate Ligament Rupture in a Six-Month Follow-up. *Crescent Journal of Medical and Biological Sciences*. 2021; 8 (4): 303-308. [https://www.cjmb.org/uploads/pdf/pdf\\_CJMB\\_539.pdf](https://www.cjmb.org/uploads/pdf/pdf_CJMB_539.pdf)
8. Relph N, Herrington L, Tyson S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy*. 2014; 100 (3): 187-95. DOI: 10.1016/j.physio.2013.11.002 (б. д.)
9. Gee MSM, Peterson CDR, Zhou ML, Bottoni CR. Anterior Cruciate Ligament Repair: Historical Perspective, Indications, Techniques, and Outcomes. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020; 28 (23): 963-971. DOI: 10.5435/JAAOS-D-20-00077
10. Houck DA, Kraeutler MJ, Belk JW, et al. Primary Arthroscopic Repair of the Anterior Cruciate Ligament: A Systematic Review of Clinical Outcomes. *Arthroscopy*. 2019; 35 (12): 3318-3327. DOI: 10.1016/j.arthro.2019.06.034
11. Mahapatra P, Horriat S, Anand BS. Anterior cruciate ligament repair - past, present and future. *J Exp Orthop*. 2018; 5 (1): 20. DOI: 10.1186/s40634-018-0136-6
12. van der List JP, DiFelice GS. Primary repair of the anterior cruciate ligament: A paradigm shift. *Surgeon*. 2017; 15 (3): 161-168. DOI: 10.1016/j.surge.2016.09.006
13. Li B, Wang YT, Bai LH, Wen Y. Changes of mechanoreceptors in different-state remnants of ruptured anterior cruciate ligament. *Int Orthop*. 2018; 42 (11): 2613-2618. DOI: 10.1007/s00264-018-3933-8
14. Kosy JD, Mandalia VI. Anterior Cruciate Ligament Mechanoreceptors and their Potential Importance in Remnant-Preserving Reconstruction: A Review of Basic Science and Clinical Findings. *J Knee Surg*. 2018; 31 (8): 736-746. DOI: 10.1055/s-0037-1608941
15. Rebmann D, Mayr HO, Schmal H, et al. Immunohistochemical analysis of sensory corpuscles in human transplants of the anterior cruciate ligament. *J Orthop Surg Res*. 2020; 15 (1): 270. DOI: 10.1186/s13018-020-01785-5
16. Sha L, Xie G, Zhao S, Zhao J. A morphologic and quantitative comparison of mechanoreceptors in the tibial remnants of the ruptured human anterior cruciate ligament. *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96 (5): e6081. DOI: 10.1097/MD.0000000000006081
17. Busch A, Blasimann A, Mayer F, Baur H. Alterations in sensorimotor function after ACL reconstruction during active joint position sense testing. A systematic review.

- PLoS One. 2021; 16(6): e0253503. DOI: 10.1371/journal.pone.0253503
18. Relph N, Herrington L. Knee joint position sense ability in elite athletes who have returned to international level play following ACL reconstruction: A cross-sectional study. *Knee*. 2016; 23 (6): 1029-1034. DOI: 10.1016/j.knee.2016.09.005
  19. Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, et al. Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. *Knee*. 2011; 18 (2): 76-82. DOI: 10.1016/j.knee.2010.01.009
  20. San Martín-Mohr C, Cristi-Sánchez I, Pincheira PA, et al. Knee sensorimotor control following anterior cruciate ligament reconstruction: A comparison between reconstruction techniques. *PLoS One*. 2018; 13 (11): e0205658. DOI: 10.1371/journal.pone.0205658
  21. Li L, Ji ZQ, Li YX, Liu WT. Correlation study of knee joint proprioception test results using common test methods. *J Phys Ther Sci*. 2016; 28 (2): 478-82. DOI: 10.1589/jpts.28.478
  22. Assimakopoulos AP, Katonis PG, Agapitos MV, Exarchou EI. The innervation of the human meniscus. *Clin Orthop Relat Res*. 1992; 275: 232-236.
  23. Jerosch J, Prymka M. Proprioception and joint stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1996; 4 (3): 171-179. DOI: 10.1007/BF01577413