



Сравнительный анализ использования баланс-платформ у пациентов после пластики передней крестообразной связки

Жаворонков Р.А.^{1,*}, Яковлев М.Ю.¹, Марченкова Л.А.¹, Стяжкина Е.М.¹,
 Вальнер М.Н.¹, Луценко А.М.^{2,3}, Субботин Н.А.⁴

¹ Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

³ Жуковская областная клиническая больница, Жуковск, Россия

⁴ Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Разрывы передней крестообразной связки (ПКС) относятся к наиболее распространенным повреждениям коленного сустава. Для восстановления нормальной функции коленного сустава и профилактики возможных осложнений ключевое значение имеет длительная, правильно подобранная программа медицинской реабилитации. В программах медицинской реабилитации пациентов с заболеваниями и травмами костно-мышечной системы ключевым компонентом является нейромышечная и проприоцептивная тренировка на равновесие. Применение специальных высокотехнологичных тренажеров с биологической обратной связью позволяет оценивать правильность выполнения упражнений и состояние опорно-двигательного аппарата в реальном времени.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние комплексной реабилитации с тренировками на нестабильной платформе с биологической обратной связью на восстановление функции нижних конечностей у пациентов после пластики ПКС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании приняли участие 58 пациентов через 1,5–2,5 месяца после пластики ПКС, разделенных на основную группу ($n = 29$) и группу сравнения ($n = 29$). На фоне стандартного комплекса реабилитации в основной группе проводились тренировки на нестабильной баланс-платформе с биологической обратной связью, в группе сравнения тренировались на стабильной стабилотренировке с биологической обратной связью. В стандартный курс реабилитации входили: лазеротерапия, электромиостимуляция, массаж оперированной нижней конечности, групповые занятия лечебной физкультурой, занятия в тренажерном зале на блоковых механоаппаратах и велотренажере. Длительность курса — 14 дней. Тестирование до курса реабилитации и после него проводилось с помощью изокинетического динамометра Con-Trex MJ, баланс-платформы с биологической обратной связью ProKin и оценки функционального состояния по опроснику Lysholm knee score.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В основной группе и группе сравнения улучшились силовые показатели нижних конечностей, показатели баланса и функциональное состояние коленного сустава, однако в основной группе данные показатели значимо выше. Отмечено снижение боли и повышение повседневной активности. Добавление в комплекс реабилитации тренировок на нестабильной платформе с биологической обратной связью позволяет повысить мотивацию пациента, а также улучшает нейромышечный контроль в нижних конечностях в большей степени, чем тренировки на стабильной платформе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, комплексная реабилитация у пациентов после пластики ПКС позволяет ускорить восстановление функции оперированного коленного сустава, снижает риск возникновения повторных травм и развития остеоартроза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медицинская реабилитация, стабилотренинг, пластика передней крестообразной связки, тренировка с биологической обратной связью, баланс-платформа

Для цитирования / For citation: Жаворонков Р.А., Яковлев М.Ю., Марченкова Л.А., Стяжкина Е.М., Вальнер М.Н., Луценко А.М., Субботин Н.А. Сравнительный анализ использования баланс-платформ у пациентов после пластики передней крестообразной связки. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(5):131–141. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-131-141> [Zhavoronkov R.A., Yakovlev M.Yu., Marchenkova L.A., Styazhkina E.M., Valner M.N., Lutsenko A.M., Subbotin N.A. Comparative Analysis of Balance Platform Use in Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(5):131–141. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-131-141> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Жаворонков Роман Антонович, E-mail: zhavoronkovra@nmcirk.ru

Статья получена: 03.09.2025

Статья принята к печати: 21.09.2025

Статья опубликована: 20.10.2025

Comparative Analysis of Balance Platform Use in Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

 Roman A. Zhavoronkov^{1,*},  Maxim Yu. Yakovlev¹,  Larisa A. Marchenkova¹,
 Elena M. Styazhkina¹,  Marina N. Valner¹,  Artyom M. Lutsenko^{2,3},
 Nikolai A. Subbotin⁴

¹ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

³ Zhukovsky Regional Clinical Hospital, Zhukovsky, Russia

⁴ N.E. Bauman City Clinical Hospital No. 29 of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Anterior cruciate ligament (ACL) tears are among the most common knee injuries. A long-term, properly tailored medical rehabilitation program is key to restoring normal knee function and preventing possible complications. A key component of medical rehabilitation programs for patients with diseases and injuries of the musculoskeletal system is neuromuscular and proprioceptive balance training. The use of special high-tech exercise machines with biological feedback allows for real-time assessment of the correctness of exercise performance and the condition of the musculoskeletal system.

AIM. To study the effect of comprehensive rehabilitation with training on an unstable platform with biological feedback on the restoration of lower limb function in patients after PCS plastic surgery.

MATERIALS AND METHODS. The study involved 58 patients 1.5–2.5 months after anterior cruciate ligament reconstruction. They were divided into a main group ($n = 29$) and a control group ($n = 29$). In addition to a standard rehabilitation program, the main group underwent training on an unstable balance platform with biological feedback, while the control group trained on a stable platform with biological feedback. The course lasted 14 days. Testing before and after the rehabilitation course was carried out using a Con-Trex MJ, a ProKin balance platform, and using the Lysholm knee score questionnaire.

RESULTS. The main group and the comparison group both showed improvements in lower limb strength, balance, and knee joint function, but the improvements were significantly greater in the main group. Adding training on an unstable platform with biofeedback to the rehabilitation program increases patient motivation and improves neuromuscular control in the lower limbs to a greater extent than training on a stable platform.

CONCLUSION. Rehabilitation in patients after PCL reconstruction accelerates the recovery of the operated knee joint function and reduces the risk of re-injury and the osteoarthritis.

KEYWORDS: medical rehabilitation, stability training, anterior cruciate ligament reconstruction, biofeedback training, balance platform

For citation: Zhavoronkov R.A., Yakovlev M.Yu., Marchenkova L.A., Styazhkina E.M., Valner M.N., Lutsenko A.M., Subbotin N.A. Comparative Analysis of Balance Platform Use in Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(5):131–141. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-131-141> (In Russ.).

* **For correspondence:** Roman A. Zhavoronkov, E-mail: zhavoronkovra@nmicrk.ru

Received: 03.09.2025

Accepted: 21.09.2025

Published: 20.10.2025

ВВЕДЕНИЕ

Разрывы передней крестообразной связки (ПКС) относятся к наиболее распространенным и клинически значимым повреждениям коленного сустава. Согласно опубликованным данным, ежегодная частота травм ПКС составляет 68,6 случая на 100 000 населения [1, 2]. Частота встречаемости этой травмы выше в контактных видах спорта [3]. При полном разрыве ПКС для людей, ведущих активный образ жизни, консервативная терапия в большинстве случаев не дает удовлетворительных результатов, и требуется выполнение операции по восстановлению поврежденной связки.

Согласно литературным данным, после перенесенной травмы 35 % спортсменов в течение 2 лет не смогли вернуться на свой спортивный уровень, половина из них считали основной причиной этого травму ПКС [4]. Для восстановления нормальной функции коленного сустава и профилактики возможных осложнений ключевое

значение имеет длительная, правильно подобранная реабилитация [5–8]. Основное внимание при этом необходимо уделить восстановлению амплитуды движений в суставе, мышечной силы, прежней функциональности коленного сустава и снижению риска повторной травмы. Так как границы периодов восстановления после операции вариабельны, важно обращать внимание не только на прошедший срок с момента операции, но и на результаты оценки функции сустава с помощью опросников, а также объективных методов исследования [9–12]. Несмотря на занятия лечебной физкультурой, со 2-го дня после операции, через 7 недель наблюдается ярко выраженная асимметрия при сравнении силы мышц бедра оперированной и здоровой конечностей. Длительный период ограниченной двигательной активности и отсутствие осевой нагрузки в первое время после операции приводят к выраженной атрофии мышц. При этом перераспределение основной нагрузки в сторону здоровой

ноги способствует сохранению ее силовых показателей, но может спровоцировать болевой синдром в области здорового коленного сустава. Только через 3 месяца после операции силовые и функциональные показатели конечностей постепенно выравниваются [13, 14]. Нарушение нормальной биомеханики может спровоцировать развитие остеоартроза в коленных суставах. Предполагается, что реконструкция ПКС предотвращает остеоартроз путем восстановления стабильности коленного сустава [15]. Пателлофеморальный болевой синдром развивается у всех пациентов после реконструкции ПКС, но именно эффективность программы реабилитации имеет ключевое влияние на вероятность развития гонартроза [16]. Исследования также показали, что физические упражнения оказывают противоразвивающее и иммуномодулирующее действие [17].

В программах медицинской реабилитации последствий травм опорно-двигательного аппарата ключевым компонентом являются нейромышечная и проприоцептивная тренировки на равновесие, которые включают специальные упражнения, направленные на улучшение нервно-мышечного контроля нижних конечностей во время динамических задач (ходьбы, бега, прыжков и т. д.). В результате улучшается распределение механической нагрузки в суставах нижних конечностей во время приземления, что чрезвычайно важно для защиты трансплантата и повышения динамической стабильности коленного сустава [18–21]. Применение специальных высокотехнологичных тренажеров с биологической обратной связью позволяет оценивать правильность выполнения упражнений и состояние опорно-двигательного аппарата в реальном времени, сделать занятие более персонализированным [4, 19, 22–26].

ЦЕЛЬ

Изучить влияние комплексной реабилитации с тренировками на нестабильной платформе с биологической обратной связью на восстановление функции нижних конечностей у пациентов после пластики ПКС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе отделения медицинской реабилитации взрослых с нарушением функции периферической нервной системы и костно-мышечной системы ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России. В исследование было включено 58 пациентов (28 женщин и 30 мужчин) в возрасте от 18 до 46 лет (средний возраст составил 32 ± 13 лет) через 1,5–2,5 месяца после пластики ПКС, которые ранее не проходили стационарную реабилитацию в реабилитационных центрах. Пациенты методом случайной выборки были разделены на две группы по 29 человек (14 женщин и 15 мужчин). Пациенты в группе сравнения кроме стандартного комплекса реабилитации также тренировались на статичной стабилотренировке с биологической обратной связью Tumo (Tyromotion GmbH, Австрия). В основной группе на фоне стандартного комплекса реабилитации проводились тренировки на нестабильной баланс-платформе с биологической обратной связью ProKin (Tecnobody S.p.A., Италия). Длительность курса составила 14 дней.

В стандартный курс реабилитации входили: лазеротерапия инфракрасным низкоинтенсивным лазерным

излучением с длиной волны 0,89 мкм, частотой 80 Гц, импульсной мощностью 4–5 Вт с наложением двух матричных излучателей в области коленного сустава на латеральной и медиальной поверхностях сустава, длительность процедуры — 8 мин; электромиостимуляция импульсными токами (СМТ-стимуляция) с частотой 20–30 Гц на область четырехглавой мышцы бедра пораженной нижней конечности, длительность процедуры — 10 мин; магнитотерапия (плоские пластинчатые индукторы) магнитной индукцией 35–50 мТл на область пораженного коленного сустава, длительность процедуры — 15 мин; массаж нижней конечности с использованием приемов поглаживания, растирания, разминания, длительность процедуры — 20 мин; групповые занятия лечебной физкультурой с использованием общеразвивающих, дыхательных и специальных упражнений, длительность процедуры — 30 мин; занятия в тренажерном зале на блоковых механоаппаратах, длительность процедуры — 15 мин; занятия на вертикальном велотренажере с длительностью процедуры 15 мин.

На стабильной платформе с биологической обратной связью Tumo пациент находился в положении стоя на платформе. В программе (игра) с помощью системы биологической обратной связи регистрировалось смещение проекции центра тяжести, выполняемое пациентом при неподвижной платформе. Длительность процедуры — 30 мин.

На нестабильной платформе с биологической обратной связью ProKin пациент находился в положении стоя на платформе. В программе (игра) с помощью системы биологической обратной связи регистрировались движения, выполняемые пациентом. С помощью движущейся рабочей поверхности платформы выполнялись проприоцептивные упражнения с постепенным усложнением, адаптированные под текущее состояние пациента. Нестабильность платформы подбиралась в пределах 40 уровней сложности (0 — максимальная нестабильность, 40 — минимальная), наклон платформы был от 0° до 15°. Игровые программы «лыжи», «полет», «стрельба» чередовались с упражнениями «динамическое отслеживание», «навык», «нестабильность», «позиция». Длительность процедуры — 30 мин.

Тестирование до курса реабилитации и после него проводилось с помощью изокINETического динамометра Con-Trex MJ (PHYSIOMED ELEKTROMEDIZIN AG, Германия), баланс-платформы с биологической обратной связью ProKin и оценки функционального состояния по опроснику Lysholm knee score.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0. Сравнительный анализ динамики показателей (до и после) произведен по критерию Вилкоксона, межгрупповое сравнение — по критерию Манна — Уитни. Данные представлены в виде медианы и квартилей [Q1, Q3]. Критический уровень значимости $p = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В начале исследования был проведен анализ Lysholm knee score. Пациенты сообщали о боли в передней части колена, усиливающейся при разгибании с сопротивлением, снижении амплитуды движения в коленном суставе, затруднении при передвижении по лестнице. Боль была постоянная (6,6 %), могла возникать

после прогулки (13 %) или только во время активной деятельности (54,4 %). По шкале боли оперированного сустава медиана составила 3 [1; 5] балла ($p < 0,05$ по критерию χ^2) (табл. 1).

Таблица 1. Общие результаты тестирования по опроснику Lysholm knee score на начало реабилитации ($n = 58$)
Table 1. Overall results of the Lysholm knee score questionnaire at the start of rehabilitation ($n = 58$)

Вопрос / Question		Вариант ответа / Answer option				
1. Хромота / Limping	Нет / No	Слегка / Slight			Сильная / Severe	
	3 (5,2 %)	30 (51,7 %)			25 (43,1 %)	
2. Использование трости или костылей / Using a cane or crutches	Нет / No	С нагрузкой на ногу / With weight-bearing			Нагрузка на ногу невозможна / No weight-bearing	
	38 (65,5 %)	20 (34,5 %)			—	
3. Ощущение блокировки в коленном суставе / Feeling of locking in the knee joint	Нет / No	Ощущение защемления, но не блокировки / Feeling of pinching, but not locking	Иногда / Sometimes	Часто / Often	Блокировано сейчас / Locked now	
	3 (5,2 %)	6 (10,3 %)	21 (36,2 %)*	11 (19 %)	17 (29,3 %)	
4. Ощущение смещения в коленном суставе / Feeling of displacement in the knee joint	Нет / No	Иногда, только при интенсивной активности / Sometimes only during intense activity	Часто, только при интенсивной активности / Often only during intense activity	Иногда при повседневной активности / Sometimes during everyday activity	Часто при повседневной активности / Often during everyday activity	При каждом шаге / At every step
	41 (69 %)*	11 (19 %)	3 (5,2 %)	—	2 (3,5 %)	1 (1,7 %)
5. Боль / Pain	Нет / No	Небольшая, только при интенсивной активности / Mild only during vigorous activity	Выраженная, только при интенсивной активности / Severe only during vigorous activity	Выраженная после 1,6 км / Severe after 1.6 km	Выраженная до 1,6 км / Severe up to 1.6 km	Постоянная / Constant
	8 (13,8 %)	22 (37,9 %)*	13 (22,4 %)	3 (5,2 %)	6 (10,3 %)	6 (10,3 %)
6. Отек / Swelling	Нет / No	Только при интенсивной активности / Only during vigorous activity	После повседневной активности / After everyday activity		Постоянный / Constant	
	17 (29,3 %)	18 (31 %)	13 (22,4 %)		10 (17,2 %)	
7. Подъем по лестнице / Climbing stairs	Нет ограничений / No restrictions	Небольшие затруднения / Mild difficulty	На 1 ступеньку за раз / 1 step at a time		Невозможно / Impossible	
	7 (12,1 %)	32 (55,2 %)*	13 (22,4 %)		6 (10,3 %)	
8. Приседания / Squats	Нет ограничений / No restrictions	Небольшие затруднения / Minor difficulties	Не более 90° / Not more than 90°		Невозможно / Impossible	
	2 (3,5 %)	20 (34,5 %)	20 (34,5 %)		16 (27,6 %)	

Примечание: данные представлены в виде частот, * — анализ различий произведен по критерию χ^2 , $p < 0,05$.
Note: data are presented as frequencies, * — differences were analyzed using the χ^2 test, $p < 0.05$.

Результаты общей оценки по опроснику Lysholm knee score в баллах и уровень боли в оперированном коленном суставе представлены в таблице 2.

По результатам оценки на момент поступления в основную группу общий балл составил 60 [52; 72], в группе сравнения — 63 [52; 74,5]. При этом 69,6 % пациентов могли обходиться без средств дополнительной опоры, однако нормальный паттерн ходьбы не был восстановлен. Так, 43,5 % пациентов отметили наличие постоянной выраженной хромоты, 56,5 % — периодической или легкой хромоты. Только 4,4 % пациентов не испытывали затруднений в движении коленного сустава, 8,7 % ощущали медлительность и 17,4 % — скованность постоянно, остальные замечали затруднение в движении сустава часто или время от времени. Чувство нестабильности в коленном суставе у 4,4 % опрошенных ощущалось при каждом шаге или при бытовой нагрузке, 21,8 % отмечали его только при занятии активными видами деятельности. Отек разной степени интенсивности присутствовал постоянно у 13 % пациентов, возникал только после обычной повседневной деятельности у 19,6 %, после активной — у 28,3 %. Затруднение при пользовании лестницей испытывали 87 % пациентов. Наличие болевого синдрома отметили 17,4 % опрошенных также и в не оперированной ноге.

После курса реабилитации в основной группе по опроснику Lysholm knee score балл составил 88 [66; 95], в группе сравнения — 73,5 [66,75; 93]. О полном отсутствии болезненности в оперированном коленном суставе в основной группе сообщили 10 (35 %) пациентов и 4 (14 %) пациента в группе сравнения. Балл за ответ на вопрос о наличии скованности в коленном суставе в основной группе был ниже (10 [6; 15]), чем в группе сравнения (6 [6; 10]).

В начале реабилитации 20 человек использовали средства дополнительной опоры, из них к концу реабилитации 10 (50 %) человек полностью отказались от использования средств дополнительной опоры, остальные 10 пациентов стали увереннее опираться на оперированную конечность, однако из-за сохраняющегося чувства нестабильности и/или ограничения амплитуды движения были вынуждены продолжать их использование.

Анализ данных, полученных перед началом реабилитации на изокинетическом динамометре Con-Trex MJ в тесте «Изокинетический классический кон/кон», показал статистически достоверное снижение показателей мышечной силы, выносливости и производительности оперированной нижней конечности по сравнению со здоровой ($p < 0,005$) (табл. 3, 4).

В ходе реабилитации изучение показателей силы, выносливости и мышечной производительности разгибателей коленного сустава (*m. quadriceps femoris*) оперированной конечности показало достоверное снижение по сравнению со здоровой конечностью в максимальном крутящем моменте в 2,4 раза, в среднем максимальном крутящем моменте — в 3,45 раза, в среднем крутящем моменте/кг — в 3,43 раза, в среднем крутящем моменте — в 2,98 раза, средней мощности — в 3,93 раза и в средней работе — в 4,33 раза ($p < 0,001$). Данные, характеризующие функции сгибателей коленного сустава (*m. biceps*, *m. femoris*, *m. semitendinosus*, *m. semimembranosus*, *m. popliteus*, *m. gastrocnemius*) оперированной конечности, были достоверно снижены по сравнению со здоровой конечностью в максимальном крутящем моменте в 1,72 раза, в среднем максимальном крутящем моменте — в 2,01 раза, в среднем крутящем моменте/кг — в 2 раза, в среднем крутящем моменте — в 1,86 раза, средней мощности — в 2,15 раза и в средней работе — в 2,41 раза ($p < 0,001$).

В результате проведенной реабилитации наблюдалось статистически значимое улучшение ($p < 0,05$) по всем исследуемым биомеханическим показателям в обеих группах, однако прирост показателей в основной группе был выше ($p < 0,05$).

При анализе результатов теста с открытыми и закрытыми глазами на аппарате ProKin после курса реабилитации в обеих группах улучшились все показатели, кроме средней скорости колебаний при открытых глазах ($p < 0,05$). В основной группе разница между результатами до и после курса реабилитации была значимо большей ($p < 0,05$). Способность сохранять баланс с закрытыми глазами в большей степени отражает состояние проприоцептивной чувствительности (табл. 5, 6).

Таблица 2. Динамика опросника Lysholm knee score в исследуемых группах до реабилитации и после нее ($n = 58$)
Table 2. Dynamics of the Lysholm knee score questionnaire in the study groups before rehabilitation and after it ($n = 58$)

Показатель / Indicator	Основная группа / Main group ($n = 29$)		Группа сравнения / Comparison group ($n = 29$)	
	До / Before	После / After	До / Before	После / After
Динамика, балл / Dynamics, score	60 [52; 72]	88 [66; 95]**	63 [52; 74,5]	73,5 [66,75; 93]*
Боль в оперированном коленном суставе (от 1 до 10), балл / Pain in the operated knee joint (from 1 to 10), score	3 [1; 5]	1 [0; 2]*	3 [1; 5]	1,5 [0; 3]*

Примечание: данные представлены с помощью медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q1; Q3], * — анализ динамики в группах до лечения и после него проведен с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), ** — межгрупповой анализ проведен с помощью теста Манна — Уитни ($p < 0,05$).

Note: data are presented using the median (Me), first and third quartiles [Q1; Q3], * — analysis of dynamics in groups before and after treatment was performed using the Wilcoxon criterion ($p < 0.05$), ** — Intergruop analysis was performed using the Mann — Whitney test ($p < 0.05$).

Таблица 3. Динамика биомеханических показателей в тесте «сгибание/разгибание» на аппарате Con-Trex MJ в исследуемых группах на здоровой ноге до реабилитации и после нее ($n = 58$)

Table 3. Dynamics of biomechanical indicators in the “flexion/extension” test on the Con-Trex MJ device in the study groups on the healthy leg before rehabilitation and after it ($n = 58$)

Показатель / Indicator		Основная группа / Main group ($n = 29$)		Группа сравнения / Comparison group ($n = 29$)	
		До / Before	После / After	До / Before	После / After
Крутящий момент максимальный, Нм / Maximum torque, Nm	разгибание / extension	113,1 [94,6; 170,1]	121,5 [93,55; 160,43]*	109,25 [95,2; 171,5]	114,45 [92,4; 156,9]*
	сгибание / flexion	87,6 [68,35; 100,75]	100,6 [66,2; 112,93]*	85,15 [64,48; 98,83]	93 [64,05; 105,1]*
Крутящий момент средний, Нм / Maximum average torque, Nm	разгибание / extension	89,6 [74,9; 107]	108,25 [80,83; 146,28]*, **	91,6 [69,83; 109,15]	95,05 [70,53; 123,93]*
	сгибание / flexion	61,9 [46,95; 74,05]	87,95 [59,8; 92,05]*, **	64,35 [44,1; 78,8]	79,4 [54,18; 88,65]*
Крутящий момент средний/КГ, Нм/кг / Maximum average torque/KG, Nm/kg	разгибание / extension	1,13 [0,85; 1,21]	1,29 [0,9; 1,81]*	1,14 [0,99; 1,25]	1,25 [1,01; 1,56]*
	сгибание / flexion	0,71 [0,68; 0,9]	0,86 [0,57; 1,21]*	0,75 [0,66; 0,86]	0,83 [0,67; 1,01]*
Крутящий момент средний, Нм / Average torque, Nm	разгибание / extension	39,3 [23,65; 46,3]	47,55 [35,65; 62,08]*, **	37,85 [22,45; 48,6]	43,05 [32,13; 67,7]*
	сгибание / flexion	30,6 [18,85; 43,05]	41,85 [24,95; 51,75]*, **	29,3 [19,83; 40,63]	34,75 [23,65; 39,08]*
Мощность средняя, Вт / Average power, W	разгибание / extension	19,7 [15,35; 23,8]	23 [18,68; 30,8]*, **	18,8 [14,25; 22,1]	20,35 [15,15; 24,6]*
	сгибание / flexion	14,2 [10,15; 16,4]	20,05 [11,48; 21,63]*, **	13,4 [10,98; 15,88]	16,5 [11,9; 19,23]*
Работа средняя, Дж / Average work, J	разгибание / extension	105,4 [84,3; 137,15]	124,6 [103,7; 172,23]*, **	106,5 [85,18; 139,08]	113,7 [88,55; 134,25]*
	сгибание / flexion	74,8 [53,45; 95,35]	110,8 [68,025; 122,13]*, **	76,85 [54,5; 91,53]	98,15 [67,08; 109,08]*

Примечание: данные представлены с помощью медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q1; Q3], * — анализ динамики до лечения и после него проведен с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), ** — межгрупповой анализ проведен с помощью теста Манна — Уитни ($p < 0,05$).

Note: data are presented using the median (Me), first and third quartiles [Q1; Q3], * — analysis of dynamics before and after treatment was performed using the Wilcoxon criterion ($p < 0.05$), ** — intergroup analysis was performed using the Mann — Whitney test ($p < 0.05$).

Таблица 4. Динамика биомеханических показателей в тесте «сгибание/разгибание» на аппарате Con-Trex MJ в исследуемых группах на оперированной ноге до реабилитации и после нее ($n = 58$)

Table 4. Dynamics of biomechanical indicators in the “flexion/extension” test on the Con-Trex MJ device in the study groups on the operated leg before rehabilitation and after it ($n = 58$)

Показатель / Indicator		Основная группа / Main group ($n = 29$)		Группа сравнения / Comparison group ($n = 29$)	
		До / Before	После / After	До / Before	После / After
Крутящий момент максимальный, Нм / Maximum torque, Nm	разгибание / extension	54,9 [34,6; 61,3]	73,7 [52,93; 102,58]*, **	53,7 [31,25; 62,3]	58,9 [47,75; 90,95]*
	сгибание / flexion	41,7 [34,7; 61,35]	65,25 [48,1; 97,33]*, **	39,1 [28,95; 65,4]	48,5 [33,65; 89,1]*

Показатель / Indicator		Основная группа / Main group (n = 29)		Группа сравнения / Comparison group (n = 29)	
		До / Before	После / After	До / Before	После / After
Крутящий момент максимальный средний, Нм / Maximum average torque, Nm	разгибание / extension	28 [12,1; 54,45]	59,7 [35,1; 104,58]*,**	23,8 [10,3; 51]	46,4 [29,6; 92,65]*
	сгибание / flexion	31,9 [22,55; 43,4]	53,85 [39,3; 84,58]*,**	29 [21,2; 44,15]	45,9 [24,85; 70,5]*
Крутящий момент максимальный средний/КГ, Нм/кг / Maximum average torque/KG, Nm/kg	разгибание / extension	0,30 [0,20; 0,44]	0,68 [0,47; 1,13]*,**	0,31 [0,18; 0,54]	0,54 [0,09; 1,03]*
	сгибание / flexion	0,4 [0,26; 0,45]	0,65 [0,53; 0,89]*	0,37 [0,24; 0,49]	0,55 [0,4; 0,84]*
Крутящий момент средний, Нм / Average torque, Nm	разгибание / extension	10,7 [7,6; 16,2]	23,75 [14,48; 49,18]*,**	10,2 [7,1; 14,85]	17,5 [10,55; 44,95]*
	сгибание / flexion	15,9 [8,5; 25,7]	28,5 [21,75; 43,325]*,**	15,1 [7,05; 24,75]	22,7 [16,1; 34,9]*
Мощность средняя, Вт / Average power, W	разгибание / extension	4,9 [2,85; 9,85]	12,15 [7,35; 18,53]*,**	4,2 [2,1; 9,35]	8,9 [5,85; 14,4]*
	сгибание / flexion	5,9 [4,9; 9,9]	10,8 [8,18; 18,33]*,**	5,8 [4,2; 9,5]	7,6 [5,1; 13,25]*
Работа средняя, Дж / Average work, J	разгибание / extension	24 [10; 43,65]	55,65 [38,08; 88,73]*,**	23,7 [10,45; 48,3]	46,5 [24,45; 70,65]*
	сгибание / flexion	31,9 [17,4; 55,37]	54,1 [46,85; 79,98]*,**	29,3 [15,6; 52,7]	41,2 [35,35; 56,45]*

Примечание: данные представлены с помощью медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q1; Q3], * — анализ динамики до лечения и после него проведен с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), ** — межгрупповой анализ проведен с помощью теста Манна — Уитни ($p < 0,05$).

Note: data are presented using the median (Me), first and third quartiles [Q1; Q3], * — analysis of dynamics before and after treatment was performed using the Wilcoxon criterion ($p < 0.05$), ** — intergroup analysis was performed using the Mann — Whitney test ($p < 0.05$).

Таблица 5. Динамика показателей статокINETической устойчивости на аппарате ProKin в тесте с открытыми глазами до реабилитации и после нее (n = 58)

Table 5. Dynamics of statokINETic stability indicators on the ProKin device in the open-eye test before rehabilitation and after it (n = 58)

Показатель / Indicator		Основная группа / Main group (n = 29)		Группа сравнения / Comparison group (n = 29)	
		До / Before	После / After	До / Before	После / After
Общий балл по результату теста / Total score for the test result		75,5 [34; 92]	83 [49,75; 93,25]*	71,5 [32,75; 83,5]	75 [36; 91]*
Площадь эллипса, мм ² / Ellipse area, mm ²		105,61 [61,88; 142,63]	75,17 [68,54; 198,17]*,**	114,4 [87,64; 204,55]	105,49 [89,34; 193,4]*
Периметр, мм / Perimeter, mm		254,275 [217,36; 311,84]	233,56 [210,93; 291,16]*,**	264,57 [236,32; 294,48]	257,76 [204,22; 369,74]*

Средняя скорость вперед-назад, мм/с / Average forward-backward speed, mm/s	6,49 [5,39; 7,33]	6,07 [5,1; 7,33]	5,56 [4,68; 9,5]	5,85 [4,97; 8,33]
Средняя скорость влево-вправо, мм/с / Average left-right speed, mm/s	3,04 [2,56; 4,55]	3,45 [2,42; 4,59]	4,51 [3,07; 6,54]	4,27 [3,09; 5,52]

Примечание: данные представлены с помощью медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q1; Q3], * — анализ динамики до лечения и после него проведен с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), ** — межгрупповой анализ проведен с помощью теста Манна — Уитни ($p < 0,05$).

Note: data are presented using the median (Me), first and third quartiles [Q1; Q3], * — analysis of dynamics before and after treatment was performed using the Wilcoxon criterion ($p < 0.05$), ** — intergroup analysis was performed using the Mann — Whitney test ($p < 0.05$).

Таблица 6. Динамика показателей статокINETической устойчивости на аппарате ProKin в тесте с закрытыми глазами до реабилитации и после нее ($n = 58$)

Table 6. Dynamics of statokinetic stability indicators on the ProKin device in the closed-eye test before rehabilitation and after it ($n = 58$)

Показатель / Indicator	Основная группа / Main group ($n = 29$)		Группа сравнения / Comparison group ($n = 29$)	
	До / Before	После / After	До / Before	После / After
Общий балл по результату теста / Total score for the test result	86 [62; 97]	94 [63,5; 100]**	79 [59; 92]	85 [66; 100]*
Площадь эллипса, мм ² / Ellipse area, mm ²	161,71 [66,06; 243,93]	124,51 [72,95; 232,62]**	181,7 [71,69; 267,34]	167,22 [81,85; 251,46]*
Периметр, мм / Perimeter, mm	349,86 [262,91; 444,28]	329,88 [275,85; 427,31]**	410,73 [356,8; 538,6]	408,24 [335,64; 518,1]*
Средняя скорость вперед-назад, мм/с / Average forward-backward speed, mm/s	9,71 [7,93; 11,75]	9,37 [7,575; 12,89]*	12,19 [8,875; 14,85]	11,18 [10,42; 15,99]*
Средняя скорость влево-вправо, мм/с / Average left-right speed, mm/s	3,82 [2,31; 5,42]	3,02 [2,52; 6,17]*	5,68 [4,26; 6,43]	4,54 [3,75; 6,36]*

Примечание: Данные представлены с помощью медианы (Me), первого и третьего квартилей [Q1; Q3], * — анализ динамики до лечения и после него проведен с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), ** — межгрупповой анализ проведен с помощью теста Манна — Уитни ($p < 0,05$).

Note: Data are presented using the median (Me), first and third quartiles [Q1; Q3], * — Analysis of dynamics before and after treatment was performed using the Wilcoxon criterion ($p < 0.05$), ** — Intergroup analysis was performed using the Mann — Whitney test ($p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

У всех пациентов после пластики ПКС отмечается выраженное снижение показателей силы мышц нижней конечности, баланса, ограничена повседневная жизнедеятельность, сохраняется хромота и болевой синдром. После курса реабилитации в обеих группах наблюдалось выраженное увеличение силовых показателей мышечной силы в оперированной нижней конечности, однако в основной группе результат был значительно выше, чем в группе сравнения ($p < 0,05$). Результаты опросника Lysholm knee score отражают функциональное состояние коленного сустава. При этом результаты после реабилитации в основной груп-

пе были выше, что говорит о более высоком уровне восстановления функции коленного сустава. Пациенты отметили снижение боли и повышение повседневной активности. При анализе показателей баланса отмечено улучшение проприоцептивной чувствительности и постурального контроля. Показатели силы мышц нижней конечности и проприоцептивной чувствительности отражают возможности пациента по контролю биомеханики в коленном суставе. Своевременная активация мышц с приложением достаточного уровня силы является ключевым фактором в профилактике повторных травм и осложнений в долгосрочной перспективе. Проведенная реабилитация показала выраженную эф-

фективность при восстановлении основных показателей функции коленного сустава, а также на снижение основных факторов риска возникновения остеоартроза и риска повторной травмы. Добавление в комплекс реабилитации тренировок на нестабильной платформе с биологической обратной связью позволяет повысить мотивацию пациента к упражнениям на баланс, а также улучшает нейромышечный контроль в нижних конечностях в большей степени, чем тренировки на стабильной платформе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После операции по восстановлению ПКС через 1,5–2,5 месяца сохраняется выраженный дефицит

силы мышц, проприоцептивной чувствительности, нарушена функциональность коленного сустава. Сравнительный анализ выявил, что включение в комплексную реабилитацию тренировок на нестабильной платформе имеет преимущество в восстановлении функции и биомеханики оперированного коленного сустава перед тренировками на стабильной платформе. Тренировки с биологической обратной связью позволяют повысить мотивацию пациента и качество выполнения упражнений.

Восстановление функции приводит к снижению риска возникновения повторных травм и развития остеоартроза, позволяет в более ранние сроки вернуться к прежнему уровню двигательной активности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Жаворонков Роман Антонович, младший научный сотрудник отдела ортопедии, биомеханики, кинезиотерапии и мануальной терапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: zhavoronkovra@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3624-2457>

Яковлев Максим Юрьевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, заместитель директора по стратегическому развитию, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5260-8304>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, главный научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Стяжкина Елена Михайловна, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник отдела ортопедии, биомеханики, кинезиотерапии и мануальной терапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Вальнер Марина Нуралиевна, инструктор-методист по лечебной физкультуре, отделение пациентов с нарушением функции центральной нервной системы, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5990-9191>

Луценко Артем Михайлович, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы; врач — травматолог-ортопед, Жуковская областная клиническая больница.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-565X>

Субботин Николай Александрович, врач — травматолог-ортопед, Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4984-9250>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Жаворонков Р.А. — методология, обеспечение материалов для исследования, написание черновика рукописи; Яковлев М.Ю. — методология, курация данных, проверка и редактирование рукописи; Марченкова Л.А. — курация данных, проверка и редактирование рукописи; Стяжкина Е.М. — методология, проверка и редактирование рукописи; Вальнер М.Н. — методология, обеспечение материалов для исследования; Луценко А.М. — обеспечение материалов для исследования, анализ данных; Субботин Н.А. — обеспечение материалов для исследования, анализ данных.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины»; Яковлев М.Ю. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы декларируют отсутствие других явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (протокол № 10 от 05.10.2023).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). От всех пациентов (законных представителей) было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Roman A. Zhavoronkov, Research Assistant Department of Orthopedics, Biomechanics, Kinesiotherapy and Manual Therapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: zhavoronkovra@nmicr.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3624-2457>

Maxim Yu. Yakovlev, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department of Mechanisms of Physical Factors, Deputy Director for Strategic Development of Medical Activities, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5260-8304>

Larisa A. Marchenkova, D.Sc. (Med.), Docent, Head of the Research Department, Chief Researcher of the Department of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Professor at the Department of Restorative Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Elena M. Styazhkina, Ph.D. (Med.), Docent, Head of Department, Leading Researcher, Department of Orthopedics, Biomechanics, Kinesiotherapy and Manual Therapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Marina N. Valner, Exercise Therapy Instructor-Methodologist, Department for Patients with Central Nervous System Disorders, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5990-9191>

Artyom M. Lutsenko, Ph.D. (Med.), Assistant Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; Traumatologist-Orthopedist, Zhukovsky Regional Clinical Hospital.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-565X>

Nikolai A. Subbotin, Traumatologist-Orthopedist, N.E. Bauman City Clinical Hospital No. 29 of Moscow Healthcare Department. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4984-9250>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Zhavoronkov R.A. — conceptualization, resources, writing — original draft; Yakovlev M.Yu. — conceptualization, data curation, writing — review & editing; Marchenkova L.A. — data curation, writing — review & editing; Styazhkina E.M. — conceptualization, writing — review & editing; Valner M.N. — conceptualization, resources; Lutsenko A.M. — resources, formal analysis; Subbotin N.A. — resources, formal analysis.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. Yakovlev M.Yu. — Member of Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors state that there is no conflict of interest.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Protocol No. 10 dated 05.10.2023.

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patient(s). Written consent was obtained from all patients (legal representatives) for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Sanders T.L., Maradit Kremers H., Bryan A.J. et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* 2016; 44(6): 1502–1507. <https://doi.org/10.1177/0363546516629944>
2. Popper H.R., Szukics P.F., Feldman J., et al. Trends in Anterior Cruciate Ligament Injury and Recovery in Professional Snowboarders: The Extreme Sport of Snowboardcross. *Cureus.* 2023; 15(12): e50683. <https://doi.org/10.7759/cureus.50683>
3. Friel N.A., Chu C.R. The role of ACL injury in the development of posttraumatic knee osteoarthritis. *Clin Sports Med.* 2013; 32(1): 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2012.08.017>
4. Xiao M., van Niekerk M., Trivedi N.N., et al. Patients Who Return to Sport After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have Significantly Higher Psychological Readiness: A Systematic Review and Meta-analysis of 3744 Patients. *Am J Sports Med.* 2023; 51(10): 2774–2783. <https://doi.org/10.1177/03635465221102420>
5. Погонченкова И.В., Орджоникидзе З.Г., Арьков В.В. и др. Медицинское обеспечение спортсменов и спортивная реабилитация в Москве. *Московская медицина.* 2022; 4(50): 32–37 [Pogonchenkova I.V., Ordzhonikidze Z.G., Arkov V.V., et al. Medical support of athletes and sports rehabilitation in Moscow. *Moskovskaya Meditsina [Moscow Medicine].* 2022; 4(50): 32–37 (In Russ.).]
6. Кульчицкая Д.Б., Юрова О.В., Севрюгина О.А. Применение магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности медицинской реабилитации пациентов с остеоартрозом коленного сустава: обзорная статья. *Вестник восстановительной медицины.* 2023; 22(2): 96–101. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-96-101> [Kulchitskaya D.B., Yurova O.V., Sevryugina O.A. Application of Magnetic Resonance Imaging in Medical Rehabilitation Effectiveness Assessing for Patients with Knee Joint Osteoarthritis: a Review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2023; 22(2): 96–101. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-96-101> (In Russ.).]
7. Павловский С.А., Марченкова Л.А., Кончугова Т.В. и др. Оценка эффективности инновационных физиотерапевтических методов в комплексном санаторно-курортном лечении пациентов с хронической болью в плечевом суставе. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine.* 2025; 1: 50–57 [Pavlovsky S.A., Marchenkova L.A., Konchugova T.V., et al. Evaluation of the effectiveness of complex impact of shockwave therapy and pulsed low-frequency electrostatic field in sanatorium treatment of patients with chronic shoulder pain. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine.* 2025; 1: 50–57 (In Russ.).]

8. Кончугова Т.В., Агасаров Л.Г., Апханова Т.В. и др. Результативная схема последовательного применения курсов электростимуляции при дорсопатиях: результаты сравнительного исследования. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(3): 38–44. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-38-44> [Konchugova T.V., Agasarov L.G., Apkhanova T.V., et al. Effective Scheme of Sequential Application of Electrical Stimulation Courses in Dorsopathies: Comparative Study Results. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(3): 38–44. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-38-44> (In Russ.).]
9. Buckthorpe M., Gokeler A., Herrington L., et al. Optimising the Early-Stage Rehabilitation Process Post-ACL Reconstruction. Sports Med. 2024; 54(1): 49–72. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01934-w>
10. Poretti K., Ghoddosi N., Martin J., et al. The Nature of Rehabilitation Programs to Improve Musculoskeletal, Biomechanical, Functional, and Patient-Reported Outcomes in Athletes With ACL Reconstruction: A Scoping Review. Sports Health. 2024; 16(3): 390–395. <https://doi.org/10.1177/19417381231158327>
11. Яшков А.В., Поляков В.А., Шелыхманова М.В., Шелыхманова А.А. Эффективность роботизированной механотерапии в реабилитации пациентов с патологией плечевого сустава: рандомизированное клиническое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22 (2): 16–24. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-16-24> [Yashkov A.V., Polyakov V.A., Shelyhmanova M.V., Shelyhmanova A.A. The Effectiveness of Robotic Mechanotherapy in the Rehabilitation of Patients with Shoulder Joint Pathology: Randomized Clinical Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22 (2): 16–24. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-16-24> (In Russ.).]
12. Бобровницкий И.П. Роль восстановительной медицины в решении национальных целей по здоровьесбережению населения и повышению удовлетворенности участников СВО условиями для медицинской реабилитации Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2025; 1: 3–17 [Bobrovnikitsky I.P. The role of rehabilitation medicine in solving national goals for healthcare of the population and increasing satisfaction of participants with their conditions for medical rehabilitation. Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2025; 1: 3–17 (In Russ.).]
13. Pamboris G.M., Pavlou K., Paraskevopoulos E., Mohagheghi A.A. Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. Front Sports Act Living. 2024; 6: 1416690. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1416690>
14. Кульчицкая Д.Б., Фесюн А.Д., Юрова О.В. и др. Реабилитационных программ для пациентов после роботизированного тотального эндопротезирования коленного сустава в раннем восстановительном периоде (низкоинтенсивное лазерное излучение, магнитное поле, электростимуляция, импульсное низкочастотное электрическое поле, лечебная физкультура и роботизированная механотерапия). Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2024; 1: 19–24 [Kulchitskaya D.B., Fesyun A.D., Yurova O.V., et al. The Use of rehabilitation programs for patients after robotic total knee replacement in the early recovery period (low-intensity laser radiation, magnetic field, electrical stimulation, pulsed low-frequency electric field, physical therapy and robotic mechanotherapy). Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2024; 1: 19–24 (In Russ.).]
15. Wang L.J., Zeng N., Yan Z.P., et al. Post-traumatic osteoarthritis following ACL injury. Arthritis Res Ther. 2020; 22(1): 57. <https://doi.org/10.1186/s13075-020-02156-5>
16. Арьков В.В., Дмитриев А.А., Миленин О.Н., и др. Комплексное лечение пателлофemorального болевого синдрома у спортсменов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава. Современная ревматология. 2022; 16(6): 49–54. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2022-6-49-54> [Arkov V.V., Dmitriev A.A., Milenin O.N., et al. Complex treatment of patellofemoral pain syndrome in athletes after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee joint. Sovremennaya Revmatologiya = Modern Rheumatology Journal. 2022; 16(6): 49–54. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2022-6-49-54> (In Russ.).]
17. Вологжанин Д.А., Голота А.С., Игнатенко А.-М.И. и др. Влияние физических нагрузок на иммунную систему в норме и при различных заболеваниях: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(1): 91–102. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-1-91-102> [Vologzhanin D.A., Golota A.S., Ignatenko A.-M.I., et al. Effect of Physical Activity on the Immune System in the Normal State and in Various Diseases: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(1): 91–102. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-1-91-102> (In Russ.).]
18. Wein F., Peultier-Celli L., van Rooij F., et al. No significant improvement in neuromuscular proprioception and increased reliance on visual compensation 6 months after ACL reconstruction. J Exp Orthop. 2021; 8(1): 19. <https://doi.org/10.1186/s40634-021-00338-x>
19. Buckthorpe M., Della Villa F. Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction. Sports Med. 2020; 50(4): 657–678. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01222-6>
20. Scattone Silva R., Song K.E., Halfish T.J., et al. Patellar Tendon Load Progression during Rehabilitation Exercises: Implications for the Treatment of Patellar Tendon Injuries. Med Sci Sports Exerc. 2024; 56(3): 545–552. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000003323>
21. Arhos E.K., Ito N., Hunter-Giordano A., et al. Who's Afraid of Electrical Stimulation? Let's Revisit the Application of NMES at the Knee. J Orthop Sports Phys Ther. 2024; 54(2): 101–106. <https://doi.org/10.2519/jospt.2023.12028>
22. Aryana I.G.N.W., Febyan F., Dimitri D., et al. Functional Outcome of ACL Reconstruction Following Pre-reconstruction Rehabilitation vs. None Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-analysis. Rev Bras Ortop (Sao Paulo). 2024; 59(2): e172–e179. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1779327>
23. Акимов А.Г., Ясинская Я.К. Физическая реабилитация после пластики передней крестообразной связки колена в раннем послеоперационном периоде. Молодые наука: Мат-лы всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участ. студентов и молодых ученых, Москва, 13–14 апреля 2022 года. Москва: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК)». 2022; с. 46–50 [Akimov A.G., Yasinskaya Ya.K. Physical rehabilitation after plastic surgery of the anterior cruciate ligament of the knee in the early postoperative period. Young science: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation of students and young scientists, Moscow, April 13–14, 2022. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State University of Physical Education, Sports, Youth and Tourism (GTSOLIFK)". 2022; p. 46–50 (In Russ.).]
24. Сикорская Л.Д., Ярошинская А.П. Физическая реабилитация спортсменов после травм коленного сустава с применением баланс-тренинга в акробатике. Актуальные проблемы физической культуры и спорта: Мат-лы регион. научно-практ. конф., Астрахань, 19 декабря 2023 года. Астрахань: Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева. 2024; с. 152–154 [Sikorskaya L.D., Yaroshinskaya A.P. Physical rehabilitation of athletes after knee injuries using balance training in acrobatics. Actual problems of physical education and sports: Materials of the regional scientific and practical conference, Astrakhan, December 19, 2023. Astrakhan: Astrakhan State University named after V.N. Tatischev. 2024; p. 152–154 (In Russ.).]
25. Васильева В.А., Марченкова Л.А., Ответчикова Д.И. и др. Медицинская реабилитация после травм нижних конечностей у пациентов с сахарным диабетом: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 22(3): 61–68. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68> [Vasilyeva V.A., Marchenkova L.A., Otvetchikova D.I., et al. Medical Rehabilitation after Lower Limb Injuries in Patients with Diabetes Mellitus: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 22(3): 61–68. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68> (In Russ.).]
26. Егоров А.В., Яковлева С.К., Петрова Р.В., Преображенская Е.В. Эффективность комплекса с биологической обратной связью в лечении детей с детским церебральным параличом: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(2): 8–19. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-2-8-19> [Egorov A.V., Yakovleva S.K., Petrova R.V., Preobrazhenskaya E.V. The effectiveness of the biofeedback complex in the treatment of children with cerebral palsy: a randomized controlled study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(2): 8–19. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-2-8-19> (In Russ.).]