

Восстановительная и спортивная медицина

Rehabilitation and sport medicine

Научная статья

УДК 616.728.3-003.7

DOI: 10.14529/hsm250316

РОЛЬ ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИИ В ПРЕДОПЕРАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ С ФЕНОМЕНОМ АРТРОГЕННОГО МЫШЕЧНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Р.Р. Ахметьянов¹, lfksar@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-0074-052X>

Е.В. Давыдова^{1,2}, davidova-ev.med@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0003-3843-9377>

А.Р. Сабирьянов², lfksar@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7730-4393>

¹ Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: изучить влияние электромиостимуляции четырехглавой мышцы бедра на тензодинамометрические показатели и кровообращение пораженной конечности у пациентов с повреждением крестообразной связки коленного сустава с феноменом артрогенного мышечного торможения. **Материалы и методы.** По результатам электромиографии (Viking Quest, Nicolet) пациенты разделены на 2 группы – с нормальными и пониженными показателями пораженной конечности. У пациентов со сниженными показателями электромиографии до артроскопической операции проводился курс пассивной электромиостимуляции четырехглавой мышцы (10 сеансов). Эффективность курса оценивалась по результатам тензодинамометрии на платформе HawkinDynamics и реовазографии нижних конечностей на аппарате «РЕО-СПЕКТР». **Результаты.** Электромиостимуляция четырехглавой мышцы поврежденной конечности позволяет снижать асимметрию пикового усилия между здоровой и больной конечностью, увеличить объем кровообращения и венозный отток. **Заключение.** Электромиостимуляция четырехглавой мышцы является эффективным средством предоперационной подготовки пациентов с повреждением передней крестообразной связки с феноменом артрогенного мышечного торможения для последующего послеоперационного восстановительного лечения.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, артрогенное мышечное торможение, электромиостимуляция

Для цитирования: Ахметьянов Р.Р., Давыдова Е.В., Сабирьянов А.Р. Роль электромиостимуляции в предоперационной подготовке пациентов с повреждением передней крестообразной связки с феноменом артрогенного мышечного торможения // Человек. Спорт. Медицина. 2025. Т. 25, № 3. С. 123–134. DOI: 10.14529/hsm250316

THE ROLE OF ELECTROMYOSTIMULATION IN THE PREOPERATIVE PREPARATION OF PATIENTS WITH ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURY AND ARTHROGENIC MUSCLE INHIBITION

R.R. Akhmetyanov¹, lfksar@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-0074-052X>

E.V. Davydova^{1,2}, davidova-ev.med@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0003-3843-9377>

A.R. Sabiryano², lfksar@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7730-4393>

¹ Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia

² South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. This study aims to evaluate the efficacy of electromyostimulation (EMS) of the quadriceps femoris muscle on force plate measurements and blood circulation in patients with anterior cruciate ligament injury and arthrogenic muscle inhibition. **Materials and methods.** Based on electromyography (EMG) findings (Viking Quest, Nicolet), patients were allocated into 2 groups: those with normal and those with reduced EMG parameters in the affected limb. Patients exhibiting reduced EMG activity underwent a preoperative course of passive electromyostimulation of the quadriceps femoris muscle (10 sessions). The intervention's efficacy was assessed through force plate measurements (Hawkin Dynamics) and rheography (RHEO-SPECTRUM). **Results.** The application of EMS to the quadriceps muscle of the injured limb resulted in a significant reduction in peak force asymmetry between the healthy and affected limbs and was associated with improved peripheral blood circulation and enhanced venous outflow. **Conclusion.** Electromyostimulation of the quadriceps femoris muscle is an effective preoperative intervention for patients with anterior cruciate ligament injury and arthrogenic muscle inhibition, facilitating subsequent postoperative rehabilitation.

Keywords: anterior cruciate ligament, arthrogenic muscle inhibition, electromyostimulation

For citation: Akhmetyanov R.R., Davydova E.V., Sabiryano A.R. The role of electromyostimulation in the preoperative preparation of patients with anterior cruciate ligament injury and arthrogenic muscle inhibition. *Human. Sport. Medicine.* 2025;25(3):123–134. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm250316

Введение. Повреждения передней крестообразной связки (ПКС) распространены среди населения, составляя 3–8 случаев на тысячу человек за год [1]. Статистика показывает значительное преобладание травм передней крестообразной связки над повреждениями задней, превышая последние в 20–30 раз [6, 10]. При этом женщины подвержены данному типу травм чаще мужчин [9], что может определяться особенностью гормонального фона [18]. Согласно исследованиям [20], у молодых спортсменов частота разрывов ПКС составляет приблизительно один случай на 3500 спортсменов.

Травматизация передней крестообразной связки вызывает дефицит нейронной активации четырехглавой мышцы бедра поврежденной конечности у значительной части пациентов, варьируя от 20 до 45 % случаев, что является одним из признаков феномена артрогенного мышечного торможения (АМТ). Артрогенное мышечное торможение проявля-

ется существенным снижением силы сокращения четырехглавой мышцы, нарушением стабильности коленного сустава при движении и уменьшением максимального крутящего момента разгибателей колена до 80–90 % от нормы [15, 17]. Это состояние нередко приводит к формированию отечности тканей, болевому синдрому, последующей атрофии мышц пораженной конечности, структурным изменениям коленного сустава [2, 13] и значительному увеличению периода восстановительного лечения [11, 12, 14].

Цель исследования: изучить влияние электромиостимуляции четырехглавой мышцы бедра на тензодинамометрические показатели и кровообращение пораженной конечности у пациентов с повреждением крестообразной связки коленного сустава с феноменом артрогенного мышечного торможения.

Материалы и методы. Клиническое исследование выполнено на базе отделения

травматологии и ортопедии № 1 Челябинской областной клинической больницы совместно с кафедрой медицинской реабилитации и спортивной медицины Южно-Уральского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Для проведения исследования отобрана группа из 88 мужчин-спортсменов (основная группа, 2), специализирующихся в игровых дисциплинах, возрастом от 25 до 45 лет. Пациенты поступили в отделение травматологии и ортопедии № 1 Челябинской областной клинической больницы с травмами передней крестообразной связки и менисков для проведения реконструктивных операций. При госпитализации пациентам установлены диагнозы по международной классификации МКБ-10 M23.5 «Хроническая нестабильность коленного сустава» и S83.5 «Растяжение, разрыв и перенапряжение передней крестообразной связки коленного сустава». Диагностический комплекс включал сбор спортивного анамнеза, клиническое обследование с проведением соматометрических измерений, оценку функциональных показателей, компьютерную томографию и рентгенологическое исследование.

Электромиографическая диагностика (ЭМГ) прямой головки четырехглавой мышцы бедра поврежденной и здоровой конечностей осуществлялась при госпитализации на многоканальном комплексе ЭМГ/ВП Viking Quest производства Nicolet (USA). Оценка периферической гемодинамики нижних конечностей (бедро, голень) проводилась методом реовазографии на аппаратуре «РЕО-СПЕКТР» (г. Санкт-Петербург).

По результатам электромиографического обследования пациенты были разделены на группу пациентов с нормальными параметрами (32 человека, подгруппа 2а) и пониженными показателями пораженной конечности ($n = 56$), которые методом случайной выборки были разделены на равные подгруппы 2б и 2в. Пациентам подгруппы 2б назначался курс пассивной электромиостимуляции четырехглавой мышцы до артроскопической операции (10 сеансов). Процедуры проводились ежедневно на аппарате INTELECT® Advanced производства Chattanooga (DJO), США. Длительность сеанса составляла 20 минут с чередованием стимуляции и расслабления по 10 секунд. Сила тока увеличивалась постепенно через 2–3 цикла, до достижения видимых

мышечных сокращений. Пациентам подгруппы 2в артроскопическое вмешательство выполнялось без предварительной электромиостимуляции.

Биодинамическая оценка состояния связочно-суставного аппарата травмированной и здоровой конечностей осуществлялась посредством тензодинамометрического анализа на платформе HawkinDynamics в центре физической реабилитации и спортивной подготовки Glinkin rehab centre города Челябинска. Использовалась серия изометрических тестов, оценивающих максимальную изометрическую функцию, независимую от измерения максимальной выработки силы: приседания на тумбе высотой 45 см, наклоны корпуса с опорой поочередно на каждую ногу, а также повороты головы в сторону от опорной ноги [19].

Фиксировались несколько тензодинамометрических параметров: максимальная вертикальная реакция платформы во время теста – пиковая сила (PF) в Ньютонах; левое (LPF) и правое (RPF) пиковое усилие конечностями во время изометрического теста; асимметрия пикового усилия (L/R) – процентное соотношение разницы между пиковыми силами реакции опоры конечностей; стабильность положения оценивалась через показатель отклонения (SD), отражающий амплитуду колебаний пациента на платформе.

Контрольная группа (1) включала двадцать здоровых мужчин-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта ($34,2 \pm 2,4$ года). В данной группе проводились разовые исследования, включающие электромиографию прямой головки четырехглавой мышцы бедра, тензодинамометрические измерения и реовазографию нижних конечностей.

В последующем пациентам (подгруппы 2а, 2б и 2в) производилась артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки – аутопластика ПКС с применением специализированного оборудования Karl Storz (Германия).

Исследования соответствуют нормам медицинской этики (протокол № 4 от 27.05.2022 заседания этического комитета ФГБОУ ВО «ЮУГМУ Минздрава РФ»).

Обработка статистических данных осуществлялась посредством программного обеспечения Statistica версии 10.0 (StatSoft Inc.). Для сравнения данных применялся непараметрический критерий Манна – Уитни с учетом поправки Бонферрони, значимыми счита-

ли различия при $p \leq 0,02$. Данные представлены в виде медианы (Me) и значений интерквартильного размаха (Q25-Q75).

Результаты. Исследованы биодинамические характеристики нижних конечностей при травме передней крестообразной связки коленного сустава с наличием феномена артрогенного мышечного торможения.

В табл. 1, представлены средние значения тензодинамометрических характеристик групп пациентов по результатам трех изометрических тестов на силовой платформе HawkinDynamics.

Как видно из табл. 1, оценка значений теста 1 в группе здоровых спортсменов показала отсутствие разницы в показателях мак-

Таблица 1
Table 1

Характеристика тензодинамометрических показателей у пациентов с травмой передней крестообразной связки коленного сустава перед оперативным вмешательством [Me (Q₂₅; Q₇₅)]
Preoperative dynamometric characteristics in patients with anterior cruciate ligament injury [Me (Q₂₅; Q₇₅)]

Изометрические тесты Isometric tests		Группа 1 (здоровые) Group 1 (Healthy subjects) n = 20		Изолированное травматическое повреждение ПКС Isolated traumatic ACL injury			
				Подгруппа 2а (пациенты с нормал. показателями ЭМГ) Subgroup 2a (Normal EMG) n = 32		Подгруппа 2б (пациенты со снижен. показателями ЭМГ) Subgroup 2b (Reduced EMG) n = 28	
				Правое пиковое усилие Right peak force	Левое пиковое усилие Left peak force	Больная конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb
Тест 1. Приседание на двух ногах на тумбу высотой 45 см Test 1. Double leg squat onto a 45 cm box	PF, Н	598,6 (578,3; 682,8)	610,3 (586,2; 712,3)	478,4 (442,3; 523,2)*	544,3 (521,3; 587,1)	346,3 (298,3; 410,2)*	468,4 (412,5; 506,3)*
	L/R, %	–		–		< 0,01	
	SD, %	3,5 (1,6; 4,8)		27,6 (22,3; 32,8)*		42,5 (37,5; 46,8)*, **	
Тест 2. Наклоны туловищем контралатерально на правой и левой ноге Test 2. Single-leg stance with contralateral trunk flexion	PF, Н	48,3 (42,3; 54,1)	52,3 (45,3; 56,2)	30,7 (28,3; 32,1)*	39,4 (36,8; 44,2)	21,4 (18,3; 24,1)*	32,3 (29,3; 34,6)*
	L/R, %	7,2 (5,4; 7,8)		0,03		0,04	
	SD, %	12,5 (8,8; 16,9)		27,9 (24,5; 31,4)*		48,6 (37,6; 52,4)*, **	
Тест 3. Повороты головы контралатерально в стойке на правой и левой ноге Test 3. Single-leg stance with contralateral head rotation	PF, Н	18,3 (16,3; 21,2)	19,4 (18,4; 21,3)	11,2 (10,5; 13,3)*	13,1 (11,2; 15,6)*	9,2 (7,8; 11,4)*	14,2 (11,9; 12,3)*
	L/R, %	4,6 (3,7; 5,2)		0,02		0,02	
	SD, %	6,8 (5,7; 8,3)		12,5 (9,5; 14,2)*		17,9 (15,8; 18,7)*, **	

Примечание: * – значимые ($p < 0,02$) различия с группой 1; ** – различия с подгруппой 2а; PF – максимальное пиковое усилие; L/R, % – асимметрия пикового усилия (%); SD – отклонение, показатель баланса, %.

Note: * – significant ($p < 0.02$) differences compared to Group 1; ** – differences compared to Group 2a; PF – peak force; L/R, % – peak force asymmetry (%); SD – standard deviation, a measure of balance, %.

симального правого и левого пикового усилия (PF), минимальные значения билатеральной асимметрии и оптимальный показатель баланса (SD). В подгруппе 2а показатель максимального пикового усилия здоровой конечности не отличался от аналогичного показателя группы 1, но был значимо выше показателя травмированной конечности, значения билатеральной асимметрии и баланса значимо отличались от здоровых лиц. В подгруппе 2б зафиксировано снижение показателя Н больной конечности в сравнении со здоровой, также высокие показатели асимметрии и баланса в сравнении с контрольной группой и показателями подгруппы 2а.

Результаты теста 2 в контрольной группе показали отсутствие билатеральных различий в показателях PF, минимальные значения асимметрии и баланса. В подгруппе 2а при отсутствии билатеральной асимметрии пиковой силы наблюдались более высокие значения асимметрии пикового усилия (L/R) и показателя баланса в сравнении с показателями здоровых лиц. При этом в группе пациентов со сниженными показателями ЭМГ наблюдались как различия пикового усилия конечностей, так и более высокие показатели асимметрии пикового усилия (L/R) и баланса (SD) больной конечности по сравнению группой 1 и подгруппой 2а.

Показатели теста 3 также продемонстрировали отсутствие билатеральных различий пиковой силы и низкие значения L/R и SD внутри группы 1. В подгруппе 2а показатель PF больной конечности оказался ниже внутри подгруппы по сравнению со здоровой и с показателями здоровых лиц, аналогично показатели асимметрии и баланса были значимо повышены в сравнении с группой 1. В подгруппе 2б зафиксированы аналогичные изменения с более выраженным повышением показателя асимметрии пикового усилия (L/R) и отклонения (SD) по сравнению как со здоровыми лицами, так и пациентами подгруппы 2а.

Показатель асимметрии пикового усилия позволяет оценить, насколько неравномерно распределяется нагрузка на неповрежденную и поврежденную конечности, а в контексте стратегии реабилитации восстановление симметрии является одной из важнейших задач. Кроме полученной спортивной травмы временная и нагрузочная асимметрии также могут быть связаны с повышенным риском падений, остеопорозом контралатеральной конечности, болями в спине [16].

В табл. 2 представлены тензодинамометрические показатели пациентов после курса электромиостимуляции.

Как видно из табл. 2, после проведения электромиостимуляции у пациентов со сниженными показателями ЭМГ наблюдается рост значений пиковой силы во время проведения изометрических тестов. В частности, при проведении теста 1 с приседанием наблюдаются более высокие значения пиковой силы (PF) больной конечности по сравнению с подгруппой 1в, снижение асимметрии пикового усилия и показателя баланса как по сравнению с данными смежной группы, так и с исходными значениями.

При проведении теста 2, при котором биомеханическая роль четырехглавой мышцы минимальна, не наблюдается внутригрупповых и межгрупповых различий пиковой силы в подгруппах на фоне снижения асимметрии пикового усилия и показателя баланса в подгруппах.

При проведении теста 3 также не наблюдаются значимых изменений пиковой силы больной и здоровой конечности в подгруппе 1б при статистически достоверном снижении, по сравнению с фоновыми значениями показателя асимметрии пикового усилия (L/R) и баланса (SD), что свидетельствует о росте стабильности реакции опоры во время выполнения теста.

Проведение ЭМС четырехглавой мышцы поврежденной конечности позволяет оптимизировать биомеханическое распределение нагрузки, снижая асимметрию пикового усилия между здоровой и больной конечностью, а следовательно, и проявлений феномена АМТ.

Выявлены показатели реовазографии у пациентов с травмой передней крестообразной связки коленного сустава и наличием феномена артрогенного мышечного торможения.

В табл. 3 даны показатели реовазографии у здоровых лиц, которые при сравнении показателей индексов на обеих нижних конечностях не обнаружили значимых различий, поэтому далее в табл. 3–5 мы указывали среднее значение по медиане.

Данные табл. 3 демонстрируют отсутствие различий кровообращения в конечностях у здоровых лиц во всех расчетных показателях, отражающих упруго-эластические свойства артерий и вен.

Далее в табл. 4 представлены реовазографические показатели нижних конечностей пациентов с травмой ПКС коленного сустава.

Характеристика тензодинамометрических показателей у пациентов с травмой ПКС с феноменом артрогенного мышечного торможения после курса 10-дневной ЭМС четырехглавой мышцы травмированной конечности (Me (Q₁; Q₃))
Effect of a 10-day EMS course on dynamometric characteristics in patients with anterior cruciate ligament injury and arthrogenic muscle inhibition

Изометрические тесты Isometric test		Изолированное травматическое повреждение ПКС Isolated traumatic ACL injury n = 56			
		Пациенты со сниженными показателями ЭМГ после ЭМС (подгруппа 2б) Reduced EMG post-intervention (Subgroup 2b) n = 28		Пациенты со сниженными показателями ЭМГ без ЭМС (подгруппа 2б) Reduced EMG no intervention (Subgroup 2b) n = 28	
		Больная конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb	Больная конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb
Тест 1. Приседание на двух ногах на тумбу высотой 45 см Test 1. Double leg squat onto a 45 cm box	PF, Н	468,4 (402,1; 512,3)*	490,1 (330,4; 552,2)	349,5 (288,3; 388,2)	415,5 (396,5; 536,3)
		–		0,01	
	L/R, %	9,4 (6,2; 12,5)*,**		17,9 (13,5; 23,3)	
	SD, %	13,4 (9,0; 16,5)*,**		23,8 (17,3; 28,2)**	
Тест 2. Наклоны туловищем контралатерально на правой и левой ноге Test 2. Single-leg stance with contralateral trunk flexion	PF, Н	26,5 (13,2; 49,5)	29,3 (15,2; 50,6)	31,5 (14,3; 35,5)	35,5 (18,6; 42,5)
		–		–	
	L/R, %	11,5 (7,4; 15,3)**		15,4 (9,2; 30,1)**	
	SD, %	10,3 (9,2; 11,4)**		21,6 (17,7; 25,7)**	
Тест 3. Повороты головы контралатерально в стойке на правой и левой ноге Test 3. Single-leg stance with contralateral head rotation	PF, Н	13,2 (10,7; 20,6)	15,4 (11,2; 22,8)	9,5 (8,2; 11,4)	12,2 (9,5; 18,3)
		–		–	
	L/R, %	15,8 (12,5; 21,0)**		23,6 (18,4; 28,7)	
	SD, %	10,2 (9,1; 11,4)**		14,1 (12,6; 16,2)	

Примечание: * – значимые различия ($p \leq 0,02$) согласно критерию Манна – Уитни с показателями пациентов без ЭМС; ** – значимые различия ($p \leq 0,02$) согласно критерию Манна – Уитни с фоновыми показателями подгруппы.

Note: * – significant difference ($p \leq 0.02$) according to the Mann–Whitney U test compared to patients who did not receive EMS; ** – significant difference ($p \leq 0.02$) according to the Mann–Whitney U test compared to the baseline values of the subgroup.

Как видно из табл. 4, у пациентов подгруппы 2а с нормальными значениями ЭМГ имело место значимое снижение РИ в сравнении с показателем контрольной группы. Медианное значение РИ больной конечности пациентов подгруппы 2б, имеющих помимо травмы ПКС снижение силы четырехглавой

мышцы (АМТ), обнаружило максимальное снижение показателя в сравнении с аналогичными показателями подгруппы 2а и контрольной группы. В то время как медианные значения РИ на здоровых конечностях в обеих подгруппах не имели различий с показателем здоровых лиц. Снижение РИ на больных ко-

Таблица 3
Table 3

Показатели реовазографии у здоровых лиц (Me (Q1;Q3) (n = 20)
Rheographic measurements in healthy subjects (Me (Q1;Q3) (n = 20)

Показатель Parameter	Реовазографический индекс (РИ), отн. ед. Rheographic index (RI), rel. u.	Диастолический индекс (ДИ), % Diastolic index (DI), %	Дикротический индекс (ДКИ), % Dicrotic index (DCI), %
Правое бедро Right thigh	0,85 (0,79; 0,88)	35,1 (29,8; 36,5)	69,9 (69,3; 71,2)
Левое бедро Left thigh	0,86 (0,82; 0,89)	34,8 (31,7; 38,5)	71,5 (69,0; 74,8)
Среднее значение (по медиане) Median value	0,85 (0,80; 0,89)	34,9 (30,2; 37,6)	70,6 (69,1; 72,6)

Таблица 4
Table 4

Показатели реовазографии у пациентов с травмой ПКС коленного сустава при поступлении в стационар (Me (Q1;Q3)
Rheographic measurements in patients with anterior cruciate ligament injury at hospital admission (Me (Q1;Q3)

Группа 1 (здоровые) Group 1 (Healthy subjects) n = 20	Изолированное травматическое повреждение ПКС Isolated traumatic ACL injury			
	Подгруппа 2а (пациенты с нормальными показателями ЭМГ) Subgroup 2a (Normal EMG) n = 32		Подгруппа 2б (пациенты со сниженными показателями ЭМГ) Subgroup 2b (Reduced EMG) n = 28	
Реовазографический индекс (РИ), отн. ед. Rheographic index (RI), rel. u.				
Среднее значение (по медиане) Median values	Большая конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb	Большая конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb
0,85 (0,80; 0,89)	0,75 (0,7; 0,78)*	0,82 (0,7; 0,84)	0,64 (0,59; 0,70)*,**	0,84 (0,8; 0,92)
	–		0,001	
Диастолический индекс (Mkd), % Diastolic index (Mkd), %				
34,9 (30,2; 37,6)	38,6 (36,1; 42,3)	30,0 (26,3; 36,2)	47,2 (42,7; 53,2)*,**	31,7 (27,6; 36,3)
	–		0,0001	
Дикротический индекс артериальный (MKi), % Dicrotic arterial index (MKi), %				
70,6 (69,1; 72,6)	61,2 (56,0; 65,0)*	64,2 (58,1; 69,4)	56,1 (46,2; 64,2)*	74,2 (59,2; 78,0)
	–		0,02	

Примечание: * – значимые (p < 0,02) различия с группой 1; ** – различия с показателем больной конечности подгруппы 2а.

Note: * – significant (p < 0.02) differences compared to Group 1; ** – differences compared to Group 2a.

нечностями обеих групп может быть обусловлено гиподинамией на фоне травмы и болевого синдрома и, как следствие снижения влияния метаболических факторов регуляции, на фоне относительного преобладания симпатoadrenalовых механизмов контроля сосудистого тонуса [3], усугубляющееся при развитии феномена АМТ [15, 17]. Также более низкие показатели РИ больной конечности пациентов могут определяться ионно-осмотическими

сдвигами во внеклеточной среде, способствующими вазоконстрикции кровеносных сосудов, повышенной агрегации эритроцитов, стимуляции или ингибированию спонтанной активности лимфатических сосудов [4].

На фоне снижения РИ дикротический артериальный индекс (MKi) показывал более низкие значения только в группе 2б с наличием внутрigrупповой асимметрии кровообращения на уровне артериол, что свидетель-

ствуется о преобладании вазоконстрикторных механизмов регуляции пораженной конечности на фоне АМТ.

Не наблюдалось изменений и диастолического индекса в подгруппе 1а, свидетельствующего о венозном кровообращении. Тогда как в подгруппе 1б выявлялось повышение показателя на больной конечности как по сравнению с группой здоровых, так и с подгруппой 1а, что, в первую очередь, свидетельствует о затруднении венозного оттока. Снижение венозного кровотока может определяться гипотонусом вен пораженной конечности на фоне АМТ и уменьшением компонента «мышечного насоса» из-за гипотонии четырехглавой мышцы.

Таким образом, у пациентов с травмой ПКС независимо от изменений на ЭМГ наблюдается снижение пульсового кровенапол-

нения пораженной конечности, что определяется вынужденной гиподинамией на фоне болевого синдрома и преобладания вазоконстрикторных механизмов регуляции кровотока. При этом на фоне снижения показателей ЭМГ и развития феномена АМТ (подгруппа 1б) наблюдается снижение уровня артериолярного кровотока (МКi), связанного с преобладанием симпатoadреналовых механизмов над метаболическими факторами регуляции на фоне гиподинамии конечности. Также в данной подгруппе выявляется снижение венозного кровотока (Mkd), определяемое гиподинамией больной конечности и снижением влияний венозного «мышечного насоса» и тонуса вен.

В табл. 5 представлены результаты реовазографии у пациентов с травмой ПКС коленного сустава в сочетании с феноменом АМТ после ЭМС.

Таблица 5
Table 5

Показатели реовазографии у пациентов с травмой ПКС коленного сустава в сочетании с феноменом АМТ после ЭМС (Ме (Q1;Q3)
Effect of a 10-day EMS course on rheographic measurements in patients with anterior cruciate ligament injury and arthrogenic muscle inhibition (Me (Q1;Q3))

Изолированное травматическое повреждение ПКС Isolated traumatic ACL injury n = 56			
Пациенты со сниженными показателями ЭМГ после ЭМС (подгруппа 2б) Reduced EMG post-intervention (Subgroup 2b) n = 28		Пациенты со сниженными показателями ЭМГ без ЭМС (подгруппа 2в) Reduced EMG no intervention (Subgroup 2c) n = 28	
Реовазографический индекс (РИ, отн. ед.) Rheographic index (RI, rel. u.)			
Больная конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb	Больная конечность Injured limb	Здоровая конечность Healthy limb
0,78 (0,71;0,82)*,**	0,89 (0,81;0,99)	0,64 (0,62;0,73)	0,83 (0,78;0,90)
–		0,01	
Диастолический индекс (Mkd, %) Diastolic index (Mkd, %)			
37,5 (31,5;38,7)*,**	32,2 (26,3;36,7)	46,4 (40,7;41,0)	30,5 (27,6;35,6)
–		0,0001	
Дикротический индекс артериальный (МКi,%) Dicrotic arterial index (MKi,%)			
66,2 (56,3;68,6)	73,0 (64,3;77,1)	56,2 (54,2;64,1)	72,1 (65,5;78,0)
–		0,02	

Примечание: * – значимые различия ($p \leq 0,02$) согласно критерию Манна – Уитни с показателями больной конечности без ЭМС; ** – значимые различия ($p \leq 0,02$) согласно критерию Манна – Уитни с фоновыми показателями подгруппы.

Note: * – significant difference ($p \leq 0.02$) according to the Mann-Whitney U test compared to patients who did not receive EMS; ** – significant difference ($p \leq 0.02$) according to the Mann-Whitney U test compared to the baseline values of the subgroup.

Как видно из табл. 5, после проведения курса ЭМС наблюдается повышение пульсового кровенаполнения (РИ) больной конечности по сравнению с группой 2б и фоновыми значениями, что, несомненно, является следствием роста метаболических факторов регуляции сосудистого тонуса, являющихся преобладающими на симпатoadреналовыми [8]. При этом, несмотря на отсутствие значимой динамики и различий дикротического индекса, по сравнению с подгруппой 2д, после ЭМГ нет асимметрии кровотока на уровне артериол по сравнению со здоровой конечностью.

В подгруппе 2б наблюдается снижение M_{kd} по сравнению с исходными значениями и более низкие показатели, чем в подгруппе 1в, что также может являться следствием мышечных сокращений при проведении ЭМС и активации венозного «мышечного насоса».

Следовательно, ЭМС при повреждении ПКС коленного сустава с феноменом ФМТ является эффективным средством предоперационной подготовки для улучшения объема кровообращения и венозного оттока пораженной конечности [5, 7], что в последующем может выступать залогом успешного после-

операционного восстановительного лечения.

Заключение. Таким образом, в 63,6 % случаев у пациентов с повреждением передней крестообразной связки, направленных на оперативное лечение, наблюдается снижение показателей ЭМГ, являющееся следствием феномена артрогенного мышечного торможения и значимым фактором риска пролонгированного восстановительного лечения в послеоперационном периоде. Как показали исследования, проведение курса ЭМС поврежденной конечности с феноменом АМТ в предоперационном периоде позволяет значительно улучшить тензодинамометрические показатели, такие как пиковая сила изометрического сокращения, асимметрия пикового усилия и показателя баланса. При ЭМС в результате активного мышечного сокращения наблюдается рост объема кровообращения и венозного оттока пораженной конечности. Улучшение тензодинамометрических показателей и кровообращения при повреждении передней крестообразной связки с феноменом АМТ является функциональным резервом в последующем послеоперационном восстановительном лечении.

Список литературы

1. Анастасиева, Е.А. Актуальные вопросы хирургического лечения поврежденной передней крестообразной связки (обзор литературы) / Е.А. Анастасиева, Р.О. Симагаев, И.А. Кирилова // *Гений ортопедии*. – 2020. – № 1. – С. 117–128. DOI: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-117-128
2. Андрианов, А.С. Физические упражнения в ходе консервативного лечения при разрыве передней крестообразной связки коленного сустава / А.С. Андрианов // *Вестник Челябинского государственного университета. Образование и здравоохранение*. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 25–30. DOI: 10.24411/2409-4102-2022-10104
3. Бобков, Г.С. Особенности регуляции сердечной деятельности у мальчиков-подростков в условиях дистанционного обучения / Г.С. Бобков, М.В. Зверева, С.Н. Бобкова // *Современные вопросы биомедицины*. – 2021. – Т. 5, № 4. – С. 144–153. DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_04_14
4. Долганова, Т.И. Диагностическая значимость реовазографии у больных с остеоартрозом коленного сустава / Т.И. Долганова, Н.В. Сазонова // *Бюл. Вост.-Сибир. науч. центра Сибир. отд-ния Рос. академии мед. наук*. – 2008. – Т. 59, № 1. – С. 19–24.
5. Применение электромиостимуляции в движении при лечении посттравматических отеков голеностопного сустава / В.А. Бадтиева, Н.В. Сичинава, Н.В. Трухачева, Э.А. Савин // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры*. – 2021. – Т. 98, № 5. – С. 47–52. DOI: 10.17116/kurort20219805147
6. Пучко, А.А. Анализ уровня и структуры травм коленного сустава в различных видах спорта / А.А. Пучко, А.С. Ясюкевич, Н.П. Гулевич, О.В. Маслов // *Прикладная спортивная наука*. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 65–75.
7. Равианова, М.З. Реабилитации спортсменов с травмой голеностопного сустава различными методами / М.З. Равианова // *Science and Education. Scientific Journal*. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 408–414.
8. Чиркин, А.А. Тонус кровеносных сосудов и окислительный стресс / А.А. Чиркин, Н.М. Яцковская // *Новости мед.-биол. наук*. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 170–180.

9. All-inside Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: Surgical Technique and Outcome / B. Freychet, V.S. Desai, T.L. Sanders et al. // *Clin Sports Med.* – 2019. – Vol. 38, no. 2. – P. 285–295. DOI: 10.1016/j.csm.2018.11.005

10. Bridge enhanced ACL repair vs. ACL reconstruction for ACL tears: A systematic review and meta-analysis of comparative studies / J. Mansour, J. Ghanimeh, A. Ghouli et al. // *SICOT J.* – 2023. – No. 9. – P. 8. DOI: 10.1051/sicotj/2023007

11. Comparison of the clinical and cost effectiveness of two management strategies (rehabilitation versus surgical reconstruction) for non-acute anterior cruciate ligament (ACL) injury: study protocol for the ACL SNNAP randomised controlled trial / L. Davies, J. Cook, J. Leal et al. // *Trials.* – 2020. – Vol. 21, no. 1. – P. 405. DOI: 10.1186/s13063-020-04298-y

12. Current Standards of Early Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in German Speaking Countries-Differentiation Based on Tendon Graft and Concomitant Injuries / C. Memmel, W. Krutsch, D. Szymanski et al. // *Int J Environ Res Public Health.* – 2022. – Vol. 19, no. 7. – P. 4060. DOI: 10.3390/ijerph19074060

13. Konishi, Y. Gamma Loop Dysfunction as a Possible Neurophysiological Mechanism of Arthrogenic Muscle Inhibition: A Narrative Review of the Literature / Y. Konishi, R. Yoshii, C.D. Ingersoll // *J Sport Rehabil.* – 2022. – Vol. 31, no. 6. – P. 736–741. DOI: 10.1123/jsr.2021-0232

14. Postoperative Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review / C. Nelson, L. Rajan, J. Day et al. // *Sports Med Arthrosc Rev.* – 2021. – Vol. 29, no. 2. – P. 63–80. DOI: 10.1097/JSA.0000000000000314

15. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: the effects of experimental knee joint effusion on motor cortex excitability / D.A. Rice, P.J. McNair, G.N. Lewis, N. Dalbeth // *Arthritis Res Ther.* – 2014. – Vol. 16, no. 6. – P. 502. DOI: 10.1186/s13075-014-0502-4

16. Reference values for gait temporal and loading symmetry of lower-limb amputees can help in refocusing rehabilitation targets / A.G. Cutti, G. Verni, G.L. Migliore et al. // *J Neuro Engineering Rehabil.* – 2018. – Vol. 15. – Suppl 1, no. 61. DOI: 10.1186/s12984-018-0403-x

17. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Bone-Patellar Tendon-Bone Graft Combined With Modified Lemaire Technique Versus Hamstring Graft Combined With Anterolateral Ligament Reconstruction: A Clinical Comparative Matched Study With a Mean Follow-up of 5 Years From The SANTI Study Group / J. Rayes, H. Ouanezar, I.M. Haidar et al. // *Am J Sports Med.* – 2022. – Vol. 50, no. 2. – P. 395–403. DOI: 10.1177/03635465211061123

18. The knee meniscus: management of traumatic tears and degenerative lesions / P. Beaufils, R. Becker, S. Kopf et al. // *EFORT Open Rev.* – 2017. – Vol. 2, no. 5. – P. 195–203. DOI: 10.1302/2058-5241.2.160056

19. The Kneeling Isometric Plantar Flexor Test: Preliminary Reliability and Feasibility in Professional Youth Football / J.J. McMahon, N.J. Ripley, P. Comfort et al. // *Journal of Functional Morphology and Kinesiology.* – 2023. – Vol. 8, no. 4. – P. 164. DOI: 10.3390/jfmk8040164

20. “What’s my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?” A systematic review with meta-analysis / A.M. Montalvo, D.K. Schneider, L. Yut et al., K.E. Webster // *Br. J. Sports Med.* – 2019. – No. 53. – P. 1003–1012. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096274

References

1. Anastasieva E., Simagaev R., Kirilova I. [Topical Issues of Surgical Treatment of Injuries of the Anterior Cruciate Ligament (Literature Review)]. *Geniy ortopedii* [Orthopedic Genius], 2020, no. 1, pp. 117–128. (in Russ.) DOI: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-117-128

2. Andrianov A.S. [Physical Exercises During Conservative Treatment for Rupture of the Anterior Cruciate Ligament of the Knee Joint]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Obrazovanie i zdravookhranenie* [Bulletin of Chelyabinsk State University. Education and Healthcare], 2022, vol. 17, no. 1, pp. 25–30. (in Russ.) DOI: 10.24411/2409-4102-2022-10104

3. Bobkov G.S., Zvereva M.V., Bobkova S.N. [Peculiarities of Cardiac Activity Regulation in Adolescent Boys in the Context of Distance Learning]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny* [Contemporary Issues in Biomedicine], 2021, vol. 5, no. 4, pp. 144–153. (in Russ.) DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_04_14

4. Dolganova T.I., Sazonova N.V. [Diagnostic Significance of Rheovasography in Patients with Osteoarthritis of the Knee Joint]. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk* [Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences], 2008, vol. 59, no. 1, pp. 19–24. (in Russ.)
5. Badtieva V.A., Sichinava N.V., Truhacheva N.V., Savin E.A. [The Use of Electromyostimulation in Motion in the Treatment of Posttraumatic Edema of the Ankle Joint]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury* [Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy], 2021, vol. 98, no. 5, pp. 47–52. (in Russ.) DOI: 10.17116/kurort20219805147
6. Puchko A.A., Yasyukevich A.S., Gulevich N.P., Maslov O.V. [Analysis of the Levels and Structure of Knee Joint Injury in Various Sports]. *Prikladnaya sportivnaya nauka* [Applied Sports Science], 2019, vol. 9, no. 1, pp. 65–75. (in Russ.)
7. Ravshanova M.Z. Rehabilitation of Athletes with Ankle Injuries Using Various Methods. *Science and Education. Scientific Journal*, 2023, vol. 4, no. 2, pp. 408–414.
8. Chirkin A.A., Yatskovskaya N.M. [Vascular Tone and Oxidative Stress]. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk* [News of Medical and Biological Sciences], 2020, vol. 20, no. 3, pp. 170–180. (in Russ.)
9. Freychet B., Desai V.S., Sanders T.L. et al. All-inside Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: Surgical Technique and Outcome. *Clin Sports Medicine*, 2019, vol. 38, no. 2, pp. 285–295. DOI: 10.1016/j.csm.2018.11.005
10. Mansour J., Ghanimeh J., Ghoul A. et al. Bridge Enhanced ACL Repair vs. ACL Reconstruction for ACL Tears: A Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Studies. *SICOT J*, 2023, no. 9, p. 8. DOI: 10.1051/sicotj/2023007
11. Davies L., Cook J., Leal J. et al. Comparison of the Clinical and Cost Effectiveness of Two Management Strategies (Rehabilitation Versus Surgical Reconstruction) for Non-acute Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury: Study Protocol for the ACL SNNAP Randomised Controlled Trial. *Trials*, 2020, vol. 21, no. 1, p. 405. DOI: 10.1186/s13063-020-04298-y
12. Memmel C., Krutsch W., Szymiski D. et al. Current Standards of Early Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in German Speaking Countries-Differentiation Based on Tendon Graft and Concomitant Injuries. *International Journal Environment Research Public Health*, 2022, vol. 19, no. 7, p. 4060. DOI: 10.3390/ijerph19074060
13. Konishi Y., Yoshii R., Ingersoll C.D. Gamma Loop Dysfunction as a Possible Neurophysiological Mechanism of Arthrogenic Muscle Inhibition: A Narrative Review of the Literature. *Journal Sport Rehabilitation*, 2022, vol. 31, no. 6, pp. 736–741. DOI: 10.1123/jsr.2021-0232
14. Nelson C., Rajan L., Day J. et al. Postoperative Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2021, vol. 29, no. 2, pp. 63–80. DOI: 10.1097/JSA.0000000000000314
15. Rice D.A., McNair P.J., Lewis G.N., Dalbeth N. Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: the Effects of Experimental Knee Joint Effusion on Motor Cortex Excitability. *Arthritis Res Therapy*, 2014, vol. 16, no. 6, p. 502. DOI: 10.1186/s13075-014-0502-4
16. Cutti A.G., Verni G., Migliore G.L. et al. Reference Values for Gait Temporal and Loading Symmetry of Lower-limb Amputees Can Help in Refocusing Rehabilitation Targets. *Journal Neuro Engineering Rehabilitation*, 2018, vol. 15, suppl. 1, no. 61. DOI: 10.1186/s12984-018-0403-x
17. Rayes J., Ouanezar H., Haidar I.M. et al. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Bone-Patellar Tendon-Bone Graft Combined With Modified Lemaire Technique Versus Hamstring Graft Combined With Anterolateral Ligament Reconstruction: A Clinical Comparative Matched Study With a Mean Follow-up of 5 Years From The SANTI Study Group. *American Journal Sports Medicine*, 2022, vol. 50, no. 2, pp. 395–403. DOI: 10.1177/03635465211061123
18. Beaufils P., Becker R., Kopf S. et al. The Knee Meniscus: Management of Traumatic Tears and Degenerative Lesions. *EFORT Open Rev.*, 2017, vol. 2, no. 5, pp. 195–203. DOI: 10.1302/2058-5241.2.160056
19. McMahon J.J., Ripley N.J., Comfort P. et al. The Kneeling Isometric Plantar Flexor Test: Preliminary Reliability and Feasibility in Professional Youth Football. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2023, vol. 8, no. 4, p. 164. DOI: 10.3390/jfmk8040164

20. Montalvo A.M., Schneider D.K., Yut L. et al. “What’s My Risk of Sustaining an ACL Injury while Playing Sports?” A Systematic Review with Meta-analysis. Br. Journal Sports Medicine, 2019, no. 53, pp. 1003–1012. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096274

Информация об авторах

Ахметьянов Рустам Рафисович, врач-травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии, Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, Россия.

Давыдова Евгения Валерьевна, доктор медицинских наук, заведующий отделением медицинской реабилитации, Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, Россия; профессор кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия.

Сабирьянов Артур Раисович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской реабилитации и спортивной медицины, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Rustam R. Akhmetyanov, Orthopedic Traumatologist, Department of Traumatology and Orthopedics, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia.

Evgeniya V. Davydova, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Medical Rehabilitation, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia; Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Sports Medicine, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia.

Artur R. Sabiryanov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Medical Rehabilitation and Sports Medicine, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 01.03.2025

The article was submitted 01.03.2025