

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕНИРОВКИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ КАПСУЛЬНО-СВЯЗОЧНЫХ СТРУКТУР КОЛЕННОГО СУСТАВА

УДК 615.82

Цыкунов М.Б.^{1,2}

¹Кафедра медицинской реабилитации факультета дополнительного профессионального образования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

²Отделение медицинской реабилитации Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

THE EFFECTIVENESS OF TRAINING WITH BIOLOGICAL FEEDBACK ON INJURIES OF CAPSULAR-LIGAMENTOUS STRUCTURES OF THE KNEE JOINT

Tsykunov M.B.^{1,2}

¹The Department of Medical Rehabilitation of the Faculty of Additional Professional Education of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "The Russian National Medical Research University named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

²Section of medical rehabilitation of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Одной из проблем, с которыми приходится сталкиваться в процессе восстановления двигательной функции, является обучение дифференцированному (избирательному) напряжению отдельных мышц и их порций (1–7). Так, при многих повреждениях и заболеваниях коленного сустава выпадает или значительно снижается функция внутренней широкой мышцы бедра. Обычные приемы тренировки («игра» надколенником и т.п.) не обеспечивают уровня напряжения, необходимого даже для профилактики ее гипотрофии во время иммобилизации. Кроме того, все головки четырехглавой мышцы при этом работают в равной мере.

Еще сложнее заставить мышцу работать при полном выпадении ее функции. На это уходит значительное время и не всегда результат бывает положительным. Для решения этой задачи используются различные способы

тренировки с внешним контуром биологической обратной связи (БОС), что позволяет восполнить дефицит проприоцептивной информации.

Основной характеристикой БОС является управляемый параметр. В этом качестве чаще всего используется амплитуда огибающей электромиограммы (БОС-ЭМГ), мышечная сила, суставной угол и момент вращения.

Цель исследования

Сравнительное изучение эффективности различных вариантов тренировки – в изометрическом и изокINETическом режимах – с БОС по огибающей ЭМГ у пациентов, перенесших операции по поводу повреждений капсульно-связочного аппарата коленного сустава.

Таблица 1. Изменение интегральной биоэлектрической активности внутренней широкой мышцы бедра при тренировке с БОС по ЭМГ

Группа	Интегральная биоэлектрическая активность внутренней широкой мышцы бедра				
	на 2–3 день mV*		на 5–7 день mV*	на 10–12 день mV*	на 21 день mV*
	До	После			
Основная (группа 1)	1,7±3,9	13,8±5,1	63,1±20,7	116,8±37,8	163,5±42,2
Контрольная (группа 2)	1,6±2,8	10,7±4,6	24,7±8,2	59,5±18,4	73,8±19,8
P	>0,05	>0,05	<0,001	<0,001	<0,001

Материалы и методы

Объект исследования – пациенты с повреждениями капсульно-связочного аппарата коленного сустава в послеоперационном периоде.

Методы:

- регистрация биоэлектрической активности мышц в процессе изометрической тренировки на протяжении послеоперационного периода – на 2–3 день после оперативной стабилизации коленного сустава по поводу антеромедиальной нестабильности II степени, далее после 1 процедуры изометрических напряжений, на 5–7, 10–12 и в последний день 3-х недельной иммобилизации. В основной группе (1) изометрическая тренировка проводилась с БОС по ЭМГ, в контрольной (2) – без БОС;
- определение силы околоуставных мышц коленного сочленения в динамике при помощи Isometric Exercise Machine (Япония) с модифицированной приставкой, позволяющей оценивать указанную мышечную группу в положении сидя на кресле и лежа на кушетке. Сравнению подлежали три методики изометрической тренировки при повреждениях капсульно-связочного аппарата коленного сустава в послеоперационном периоде. В первом случае (группы 3, 4, 5) определяли оптимальную силу изометрического сокращения в условиях гипотрофии мышц, во втором (группы 4, 6 и 7, шестая и седьмая группы) – исходное положение для тренировки прямой и одноуставных головок четырехглавой мышцы, в третьем (четвертая, шестая и седьмая группы) – эффективность тренировки с БОС по силе и без нее.

Данный аппаратный комплекс позволяет также осуществлять тренировку мышц с биологической обратной связью по силе изометрического сокращения. Выходной электрический сигнал с датчика тренажера одновременно подается для обработки его электронным блоком и на вход АЦП (преобразователь) системы Сопап, что позволяет его регистрировать и проводить компьютерный анализ процесса тренировки с БОС по силе.

- изокинетическое тестирование (группы 8 и 9) по стандартному протоколу на аппарате Biodex (США) – определение угловых характеристик и вращающих моментов; измерения проводились у пациентов с наибольшим приростом силовых характеристик в результате курса изометрической тренировки.

Результаты и их обсуждение

В основной (первой) группе биоэлектрическое молчание отмечено в 8, а в контрольной (второй) – в 7 случаях. У остальных пациентов биоэлектрическая активность была значительно снижена.

Изменение интегральной биоэлектрической активности в период иммобилизации представлено в табл. 1

Из полученных данных следует, что в ближайшие дни после операции биоэлектрическая активность одинаково снижена в обеих группах ($P>0,05$), после 1 процедуры она отмечалась у всех больных, но на очень низком уровне и различий между группами не было. Уже на 5–7 день она больше увеличивалась в основной группе ($P<0,001$), а в контрольной доходила до этого уровня лишь на 10–12 ($P>0,05$), т.е. способность к дифференцированному изометрическому напряжению внутренней широкой мышцы в основной группе была восстановлена на 5–7 день после операции, а в контрольной на 10–12. В конце периода иммобилизации биоэлектрическая активность в основной группе существенно превышала показатели контрольной ($P<0,001$).

В первой серии исследований для определения оптимальной силы изометрического сокращения гипотрофичных мышц сравнивали эффективность 10-ти дневного курса изометрической тренировки с напряжением 25% (группа 3), 50% (группа 4), 75% (группа 5) от максимального, длительностью 5 сек, паузой отдыха 5 сек и числом повторений до утомления. Тренировка проводилась при угле сгибания в коленном суставе равном 150° . Для оценки ее эффективности были отобраны 30 мужчин в возрасте от 18 до 30 лет с повреждениями капсульно-связочных структур, у которых сила разгибателя голени составляла не более 30% от показателей здоровой конечности. Синовита, болевого синдрома и ограничений

Таблица 2. Изменение мышечной силы при различных режимах изометрической тренировки

Режим	Сила разгибателя голени (дН)		
	До	После	прирост в %
Тренировки			
3 группа (25%)	13,6±4,7	21,3±6,3	63±30
4 группа (50%)	13,1±4	27,7±3,2	123±44
5 группа (75%)	13,5±4,7	23,3±2,1	106±125
P	$P>0,05$	$P<0,05$	

Таблица 3. Изменение мышечной силы при изометрической тренировке в различных исходных положениях

Режим	Сила разгибателя голени (дН)		
	До	После	прирост в %
Тренировки			
4 группа (сгибание 150° в и.п. сидя)	13,1±4	27,7±3,2	123±44
6 группа (сгибание 90° в и.п. сидя)	16,5±3,2	39,7±4,1	149±53
7 группа (сгибание 150° в и.п. лежа)	25,1±3,1	44,5±9,5	80±44

амплитуды движений в коленном суставе среди них не отмечалось. Тензометрический датчик фиксировали на уровне нижней трети голени на постоянном расстоянии от суставной щели, что обеспечивало стандартные условия измерения. Изменение показателей мышечной силы в процессе 10-ти дневной изометрической тренировки различной интенсивности приведено табл. 2

Из приведенных данных следует, что исходный уровень силовых возможностей во всех группах отличается недостоверно ($P>0,05$), после курса тренировки сила статистически значимо увеличилась во всех группах ($P<0,05$). Вместе с тем, из сравнения средних 4 и 5 групп видно, что прирост силы в 5 группе был меньше ($P<0,001$), однако прирост силы в этих группах не имел достоверных различий ($P>0,05$).

Полученные в данной серии результаты показывают, что у больных с повреждениями капсульно-связочного аппарата коленного сустава тренировка четырехглавой мышцы с усилием, равным 50% от максимального (группа 4), приводит к большему приросту силы. Вероятно, это обусловлено тем, что напряжение равное 25% от максимального недостаточно для быстрого увеличения мышечной силы, а напряжение соответствующее его 75%, по-видимому, приводит к перенапряжению, что также задерживает процесс тренировки. Кроме того, в процессе тренировки при интенсивном напряжении в 5 группе у 6 пациентов появились боли в месте прикрепления связки надколенника, а в 2 случаях отмечалась небольшая припухлость, которая сохранялась в течение нескольких дней после окончания тренировочного цикла. Число повторений, при котором появлялись признаки утомления,

Таблица 4. Анализ зависимости суставного угла и работоспособности односуставных головок разгибателя голени

Тест	Углы в °			
	№	а	б	в
1	111	130	164	147
2	112	132	169	150,5
3	110	127	165	146
4	109	129	170	149,5
5	98	124	163	143,5
6	116	124	167	145,5
7	97	132	169	150,5
8	117	127	168	147,5
9	119	130	171	150,5
10	112	133	162	147,5
11	97	132	168	150
12	112	124	167	145,5
M	110,1	128,8	166,8	147,8
m	7,7	3,4	2,8	2,4

у больных 3 и 4 групп было практически одинаковым и составляло 20–25 раз, в то время как у больных 5 группы – лишь 10–15 раз. Следует отметить, что этот показатель значительно варьировался, различия были как индивидуальные, так и групповые. Прослеживалась четкая тенденция к увеличению выносливости к ритмической статической работе к концу тренировочного цикла.

Во 2 серии исследований была предпринята попытка определения оптимального исходного положения для тренировки односуставных головок четырехглавой мышцы, восстановление функция которых наиболее значимо при любом повреждении капсульно-связочного аппарата коленного сустава и их последствиях.

Характеристики аппарата Isometric Exercise Machine позволили параллельно реализовать 3 серию исследований – осуществить контроль режима тренировки с помощью БОС по силе.

Для оценки эффективности тренировки в разных исходных положениях были отобраны 20 мужчин в возрасте от 18 до 30 лет с различными повреждениями капсульно-связочных структур, их характеристика была аналогична описанной ранее в 1 серии исследования. В 6 группе (10 человек) тренировку проводили в положении сидя при сгибании голени до прямого угла, в 7 группе (10 человек) лежа на спине при сгибании 150°. Интенсивность напряжения задавалась равной 50% от максимальной, длительность 5 сек, пауза отдыха 5 сек, число повторений – до утомления. Продолжительность тренировочного цикла 10 процедур. Фиксация тензометрического датчика была аналогична описанной для 1 серии. Для оценки эффективности тренировки в положении сидя при сгибании 150° использовали результаты 2 группы из 1 серии. Изменение показателей мышечной силы в процессе 10-ти дневной изометрической тренировки в разных исходных положениях приведено табл. 3

Из полученных данных следует, что до лечения сила мышц не различалась в 4 и 6 ($P>0,05$) и была больше в 7 группе ($P<0,001$). Это соответствует известным представлениям о том, что сила мышцы увеличивается при удалении точек ее прикрепления. Во всех группах отмечено увеличение силы в результате изометрической тренировки ($P<0,001$), что еще раз подтверждает ее эффективность. Прирост силы в 4 и 6, а также 4 и 7 группах не имел достоверных различий ($P>0,05$). Прирост в 6 группе был больше, чем в 7 группе ($P<0,05$).

Полученные данные не подтвердили теоретическое положение о том, что наибольшее усилие в результате тренировки, а значит и наибольший прирост силы, мышца развивает в таком положении, когда она предварительного растянута, в нашем случае – в положении лежа на спине при 150° сгибания в коленном суставе. Возможно, что это обусловлено появлением боли во время последних процедур тренировки у 4 больных, у 1 пациента она сопровождалась припухлостью в области поднадколенниковых жировых тел.

Таблица 5. Изменение мышечной силы при различных режимах тренировки и динамической электростимуляции

Режим	Сила разгибателя голени (дН)			
	Тренировки	до	После	прирост в %
4 группа (изометр. 50% от max, 50° сгибание)		13,1±4	27,7±3,2	123±44
8 группа (изокинет. 60°/сек)		13,4±4,6	39±8,1	209±67
9 группа (изокинет. 180°/сек)		13,1±3,7	25,6±3,6	104±41

Таблица 6. Эффективность различных скоростных режимов изокинетической тренировки

Группа (режим тренировки)	Время от начала цикла до максимального значения вращающего момента (Time to Peak Torque) при разгибании			Максимальный вращающий момент (Peak Torque) при разгибании		
	до	после	прирост в %	До	после	прирост в %
8 группа (60°/сек)	0,86±0,12	0,75±0,07	-11±12	21,9±6,2	29±8	33±4
9 группа (180°/сек)	0,33±0,02	0,32±0,01	-3±7	21,5±7,4	24,9±7,3	18±9

В связи с этим обратились к данным изокинетического тестирования, которое провели у пациентов 6 и 7 группы после курса изометрической тренировки. Они были выбраны в связи с тем, что увеличение силы в них было наибольшим. Целью этого исследования было определение сектора, в котором отмечается снижение работоспособности односуставных головок.

Из стандартного протокола данного вида обследования, осуществленного на аппарате Biodex были выбраны 12 тестов. С использованием средств компьютерной обработки определяли угол α. Полученные данные показывают, что наибольшая работоспособность у четырехглавой мышцы до 110,1±. Из полученных данных следует, что исходный уровень силы разгибателя голени не отличался во всех группах (P>0,05). Увеличение силы после лечения произошло во всех группах (P<0,05–0,001) Во 4 и 9 группах прирост силы был существенно меньше, чем в 8 группе (P<0,01).

Для оценки эффективности различных скоростных режимов тренировки изучены основные показатели, характеризующие скоростно-силовые двигательные качества. Результаты представлены в табл. 6

Из представленных данных следует, что по времени от начала цикла до максимального значения вращающего момента есть достоверные различия между группами как до, так и после курса тренировки (P<0,001). Имеющаяся тенденция к приближению показателей больной ноги к здоровой статистически не значима (P>0,05). При низкой скорости (60°/сек) в результате тренировки увеличивается вращающий момент, что свидетельствует об увеличении работоспособности разгибателя голени. При высокой скорости (180°/сек) отмечена аналогичная

тенденция. Прирост работоспособности был больше при низкой скорости (P<0,01). Следует отметить, что средние показатели вращающего момента на больной стороне примерно в 2 раза ниже, чем на здоровой.

Заключение

На основании проведенной оценки эффективности тренировки с БОС по ЭМГ можно утверждать, что ее использование в комплексе лечебных мероприятий обеспечивает ускорение процесса обучения изометрическим напряжениям и профилактику гипотрофии мышц в период иммобилизации.

Полученные данные позволяют считать наиболее эффективным для тренировки гипотрофичных мышц силу изометрического напряжения равную 50% от максимального усилия развиваемого конкретной мышечной группой и повторяемого до ее утомления.

По результатам исследования не представляется возможным сделать окончательный вывод о наиболее эффективном положении голени, в котором следует тренировать односуставные головки четырехглавой мышцы.

Оптимальными условиями для тренировки около-суставных мышц коленного сустава при повреждениях капсульно-связочного аппарата коленного сустава и их последствиях являются изометрический режим работы с силой сокращения, равной 50% от максимального, длительностью не более 5 сек и паузой отдыха 5 сек., количеством повторений упражнений до утомления, в исходном положении 150° сгибания в коленном суставе. Эффективность тренировки повышается при использовании БОС для контроля за правильностью выполнения программы тренировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Миронов С.П., Орлецкий А.К., Цыкунов М.Б. Повреждения связок коленного сустава. М.: Лесар, 1999. – 208с.: ил.
2. Cudejko T et al. Proprioception mediates the association between systemic inflammation and muscle weakness in patients with knee osteoarthritis: results from the Amsterdam Osteoarthritis cohort. J Rehabil Med. 2017 Sep 20. doi: 10.2340/16501977-2272.
3. Ithurburn MP et al. Young athletes after ACL reconstruction with quadriceps strength asymmetry at the time of return-to-sport demonstrate decreased knee function 1 year later. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017 Sep 16. doi: 10.1007/s00167-017-4678-4.
4. Ebert JR et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017 Sep 15. doi: 10.1007/s00167-017-4712-6.

5. Smith CM et al Effects of fatigue and recovery on electromechanical delay during isokinetic muscle actions. *Physiol Meas.* 2017 Sep 21;38(10):1837–1847. doi: 10.1088/1361-6579/aa8983
6. Martins J et al. Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *J Athl Train.* 2017 Aug 8. doi: 10.4085/1062-6050-52.6.04

REFERENCES:

1. Mironov SP, Orletsky AK, Tsykunov MB Damage to the ligaments of the knee joint. *M. : Lesar, 1999. - 208c. : ill.*
2. Cudejko T et al. Proprioception mediates the association between systemic inflammation and muscle weakness in patients with knee osteoarthritis: results from the Amsterdam Osteoarthritis cohort. *J Rehabil Med.* 2017 Sep 20. doi: 10.2340 / 16501977-2272.
3. Ithurburn MP et al. Young athletes after ACL, reconstruction, quadriceps, strength, asymmetry, at, time, return, to,. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Sep 16. doi: 10.1007 / s00167-017-4678-4.
4. Ebert JR et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Sep 15. doi: 10.1007 / s00167-017-4712-6.
5. Smith CM et al. Effects of fatigue and recovery on electromechanical delay during isokinetic muscle actions. *Physiol Meas.* 2017 Sep 21; 38 (10): 1837-1847. doi: 10.1088 / 1361-6579 / aa8983
6. Martins J et al. Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *J Athl Train.* 2017 Aug 8. doi: 10.4085 / 1062-6050-52.6.04

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены новые подходы к послеоперационной реабилитации пациентов с повреждениями капсульно-связочных структур коленного сустава. Раскрыты основные приемы активизации мышц при частичном и полном выпадении их функций, что позволяет проводить эффективную профилактику мышечной гипотрофии, сопутствующей длительной иммобилизации. В результате применения методологии изометрического и изокINETического тестирования обоснованы оптимальные условия для проведения реабилитационных процедур – силовые характеристики мышечных усилий, исходные положения для выполнения упражнений их темп, количество повторений. Доказаны преимущества динамических видов активной и пассивной тренировки силы мышц при повреждениях капсульно-связочного аппарата коленного сустава.

Ключевые слова: коленный сустав, повреждения капсульно-связочного аппарата, гипотрофия мышц, мышечная сила, изокINETическое тестирование, изометрическая тренировка, биологическая обратная связь.

ABSTRACT

The article considers new approaches to postoperative rehabilitation of patients with capsule injuries-but-ligamentous structures of the knee joint. The basic techniques of muscle activation in partial and complete loss of their functions, which allows for effective prevention of muscle hypotrophy, concomitant-long-term immobilization. as a result of application of isometric and isokinetic methodology the optimum conditions for carrying out rehabilitation procedures – power character are proved-characteristics of muscular effort, the starting position for exercise their pace, number of repetitions. To-cauldrons advantages of dynamic types of active and passive training of muscle strength in cap injuries-Solna-ligamentous apparatus of the knee joint.

Keywords: knee joint, injuries of capsule-ligamentous apparatus, muscle hypotrophy, muscle strength, isokinetic testing, isometric training, biological feedback.

Контакты:

Цыкунов М.Б. E-mail: rehcito@mail.ru