

УДК 159.9:796.01

**Чжан Сяоцюань,**

Университет спорта г. Ухань, Китай  
e-mail: 65276567@qq.com

**Чэнь Цзянь,**

Университет спорта г. Ухань, Китай  
e-mail: 65276567@qq.com

**Гуй Юйлун,**

НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Россия  
e-mail: ov-2905@ya.ru

**Реабилитация спортсменов после трансплантации ахиллова  
сухожилия с помощью электростимуляции  
нервно-мышечного аппарата**

**Аннотация:** В статье описываются результаты исследования применения нервно-мышечной электростимуляции для сокращения электромеханического интервала сгибающих мышц коленного сустава после пересадки полусухожильных и тонких мышц при их реконструкции, в течение последних десяти лет и ранее по данной проблеме никаких исследований не проводилось.

**Ключевые слова:** нервно-мышечная электростимуляция, электромеханический интервал, реконструкция передней крестообразной связки, тензиомиография.

**Zhang Xiaoquan,**

University of sports, Wuhan, China  
e-mail: 65276567@qq.com

**Chen Jian,**

University of sports, Wuhan, China  
e-mail: 65276567@qq.com

**Gui Yulong,**

NSU them. P. F. Lesgaft, Russia  
e-mail: ov-2905@ya.ru

**Rehabilitation of athletes after transplantation  
of the Achilles tendon using electrical stimulation  
the neuromuscular system**

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the short-term effects of neuromuscular electrical stimulation on hamstring electromechanical delay after anterior cruciate ligament reconstruction with autografts of hamstring tendon.

**Keywords:** Neuromuscular electrical stimulation, electromechanical delay, anterior cruciate ligament reconstruction, tensiomyography.

В течение последних десяти лет по проблеме пересадки полусухожильных и тонких мышц при их реконструкции никаких исследований применения нервно-мышечной электростимуляции для сокращения электромеханического интервала сгибающих мышц коленного сустава не проводилось. Целью настоящего исследования является изучение краткосрочного воздействия нервно-мышечной электростимуляции на электромеханический интервал ахиллова сухожилия после реконструкции передней крестообразной связки путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия.

*План исследования.* Рандомизированное, контролируемое клиническое испытание. Уровень доказательности – 1. *Методы.* 60 пациентов мужского пола, перенесших реконструкцию передней крестообразной связки путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия, были случайным образом разделены на группу традиционной реабилитации, группу изометрических упражнений и группу нервно-мышечной электростимуляции. Результирующие показатели, включая изометрическую прочность и электромеханический интервал ахиллова сухожилия поврежденной и неповрежденной ноги, оценивались до операции и через 3 месяца после операции.

Изометрическая прочность ахиллова сухожилия поврежденной ноги была снижена в значительно большей степени в группе традиционной реабилитации, нежели в группе изометрических упражнений и группе нервно-мышечной электростимуляции ( $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ); различий

между группой изометрических упражнений и группой нервно-мышечной электростимуляции не наблюдалось. Электромеханический интервал полусухожильной мышцы: увеличение в группе нервно-мышечной электростимуляции было существенно меньше, чем в группе традиционной реабилитации и в группе изометрических упражнений ( $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ). Существенных отличий между группой изометрических упражнений и группой традиционной реабилитации не наблюдалось ( $P > 0,05$ ). Электромеханический интервал бицепса бедра: наблюдалась существенная разница между группой изометрических упражнений и группой традиционной реабилитации ( $P < 0,05$ ), хотя существенных различий между тремя группами не было, но увеличение в группе нервно-мышечной электростимуляции было меньше, чем в группе традиционной реабилитации.

Результаты восстановления после реконструкции передней крестообразной связки (РПКС) зависят не только от успешной операции, но также и от применяемой реабилитационной терапии. Существенное снижение силы поврежденного квадрицепса и ахиллова сухожилия после РПКС путем аутопластической трансплантации полусухожильной и тонкой мышц, а также сниженная на 10-20% сила мышц даже спустя много лет после операции оказывают существенное влияние на двигательную активность и, соответственно, на качество жизни пациентов. Таким образом, после РПКС одной из важнейших целей является обеспечение восстановления мышечной силы. Очень важно, чтобы пациенты начинали выполнение упражнений для восстановления силы мышц с начала послеоперационного периода, тем самым обеспечивая сохранение силы мышц и предотвращая мышечную атрофию. Нервно-мышечная электростимуляция (НМЭС) заключается в стимулировании сокращений скелетных мышц через транскутанные электроды, деполяризующие двигательные нервы. В результате нескольких исследований было

показано, что НМЭС эффективна в предотвращении атрофии мышц [1,7]. Однако нам не удалось найти в доступных источниках результатов исследований, в которых оценивалось влияние электростимуляции на величину электромеханического интервала (ЭМИ) ахиллова сухожилия после РПКС. Целью настоящего исследования была оценка краткосрочного влияния НМЭС на ЭМИ ахиллова сухожилия после РПКС путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия.

Материалы и методика

*Участники.* За период с июля 2013 г. по июнь 2014 г. в исследовании приняли участие шестьдесят пациентов мужского пола после РПКС путем ипсилатеральной аутопластической трансплантации полусухожильной и тонкой мышц в Спортивном госпитале Генеральной администрации спорта Китая. Пациентов в случайном порядке (жеребьевкой) распределили по трем группам лечения: группа традиционной реабилитации (группа А, 20 пациентов), группа изометрических упражнений (группа В, 20 пациентов), группа НМЭС (группа С, 20 пациентов). Из исследования были исключены пациенты с сопутствующими травмами (напр., с повреждениями хрящей от III степени, травмами наружных коллатеральных связок, с восстановленным или удаленным мениском, если между получением травмы и операцией прошло более шести месяцев, если поврежденное колено уже было прооперировано). Существенных отличий по половым, возрастным признакам, росту, массе тела, уровне активности и т.п. между пациентами трех групп не было (средний возраст  $30,5 \pm 4,2$  года; средняя масса тела  $76,2 \pm 7,6$  кг; средний рост  $1,77 \pm 0,07$  м). Каждый участник исследования прочел и подписал информированное согласие по форме, утвержденной для отделения травматологии Спортивного госпиталя Генеральной администрации спорта.

*Хирургическая реконструкция путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия.* Всех участников оперировал один

опытный хирург-ортопед. После выполнения косого разреза длиной 3-5 см над «гусиной лапкой» хирург выполнил стандартный забор тканей полусухожильной и тонкой мышц. Голенный туннель был выполнен при помощи прибора наведения Acufex (Smith&NephewEndoscopy, Андовер, штат Массачусетс) под углом  $45^\circ$  и склонением  $70^\circ$  к сагиттальной плоскости, при согнутом под  $90^\circ$  колене. Затем при изгибе колена под углом  $110^\circ$  через переднемедиальный портал в зоне передней крестообразной связки был пробурен феморальный туннель. Трансплант был прикреплен к кортикальному слою дистального отдела бедра при помощи EndoButton (Smith&NephewEndoscopy) и зафиксирован в голенном туннеле рассасывающимся винтом. Затем трансплант был проверен в положении полного сгибания и полного разгибания для предотвращения ущемления транспланта как углублением, так и продолжением крестообразной связки. После закрытия и зашивания разреза и накладывания бандажа прооперированная конечность была зафиксирована в горизонтальном положении при помощи шарнирного бандажа на колено.

*Восстановление.* Все пациенты прошли одинаковую процедуру по протоколу традиционной реабилитации, начиная с четвертого дня с даты операции. Пациенты из группы А (n=20) проходили процедуры по протоколу традиционной реабилитации в течение шести недель (объем движений, изотоническое упрочение, весовая нагрузка и хождение с костылем со стороны прооперированной конечности). Пациенты из группы В (n=20) проходили процедуры традиционной реабилитации в сочетании с изометрическими упражнениями на прооперированную конечность (рис. 1): мешок песка массой 1-2 кг на конце прооперированной ноги удерживается на весу 5-6 секунд, 10 повторов за подход, 3 подхода через 30 секунд, дважды в день. Пациенты из группы С (n=20) проходили процедуры традиционной реабилитации в сочетании с нервно-мышечной

электростимуляцией в течение шести недель (рис. 2). Электростимуляции подвергались сухожилия, которые были трансплантированы (TENS 120Z, Токио 176-0014, Япония). Импульсы подавались через резиновые транскутантные электроды (3×3 см каждый) при согнутом под углом 30° колене при положении пациента лежа на спине. На рис. 2 показано расположение электродов. Максимальный переносимая интенсивность стимуляции (в диапазоне от 10 до 30 мА) определялась для каждого пациента индивидуально таким образом, чтобы сокращение групп мышц нижних конечностей не вело к движению в суставе. Характеристики стимулирующего тока: частота 20 Гц, ширина импульса 20 мкс, стимуляция 5 с, отсутствие стимуляции 10 с, длительность 20 мин, 20 сеансов (по пять дней подряд в течение шести недель).

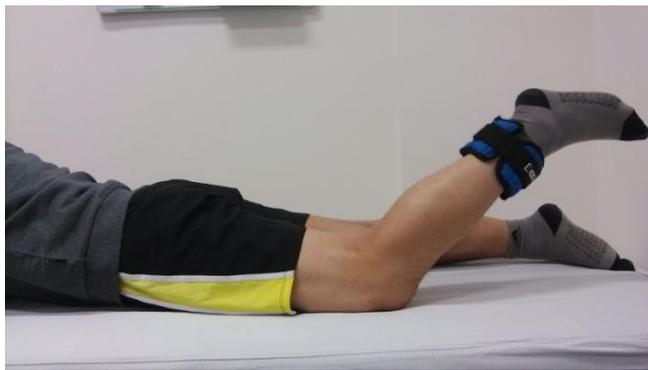


Рис. 1. Изометрические упражнения



Рис. 2. Расположение электродов для НМЭС

#### *Измерение вращающего момента.*

У всех пациентов был измерен вращающий момент обоих колен при помощи изокинетического динамометра (Biodex System 3, рис. 3). Пациент садился на испытательный стул динамометра и фиксировался ремнями при угле сгиба колена 30° и угле сгиба бедра 30° (Ставропольский, 2009) [15]. После разогрева все участники получали указание максимально разогнуть колено на 3 секунды. Каждый участник выполнил по 3 максимально возможных изометрических произвольных разгибания (МПР) с перерывом

30 секунд на отдых между разгибаниями. Для сравнения брались средние значения по 3 разгибаниям.



Рис. 3. Положение для замеров на Biodex

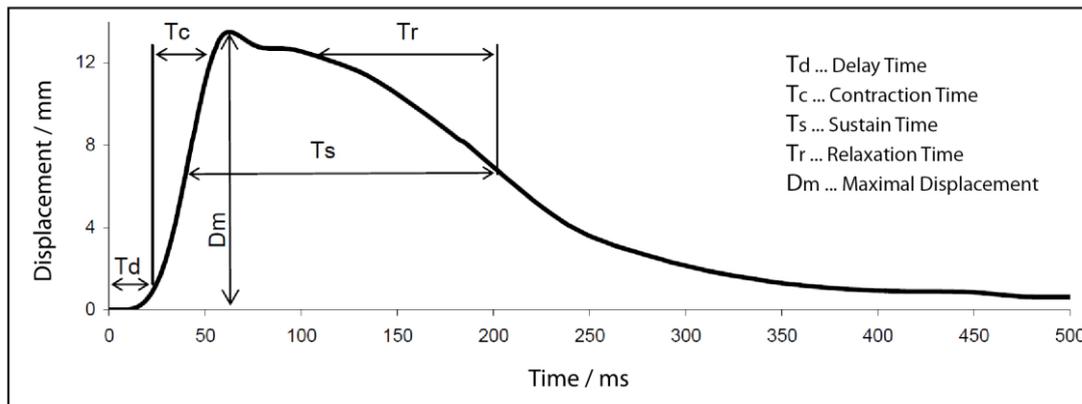


Рис. 4 Положение для замеров на TMG

#### *Измерение электромеханического интервала.*

Для оценки характеристик мускульных сокращений ST (полусухожильной мышцы) и BF (бицепса бедра) использовалась тензиомиография (TMG100, TMG-VMCd.o.o. СЛОВЕНИЯ) (рис. 4). Это неинвазивный метод, для которого от пациента не требуется никаких усилий и который не мешает повседневной деятельности. Сокращение мышцы вызывается электростимулятором. Датчик смещения замеряет радиальное увеличение мышечного брюшка. Этот метод широко применяется для оценки характеристик сокращения мышц и силы поверхностных мышц [3.19]. Радиальное смещение мышечного брюшка при изометрическом сокращении в ответ на электростимуляцию измеряется и выводится в окне специальной программы (рис. 5). Интервал

– отрезок времени, составляющий от 0% до 10% от максимальной величины реакции мышцы ( $d_{\max}$ ).



Displacement / mm	Смещение, мм
Delay Time	Время задержки
Contraction Time	Время сокращения
Sustain Time	Время выдерживания
Relaxation Time	Время расслабления
Maximal Displacement	Максимальное смещение
Time / ms	Время, мс

Рис. 5. Пример записи TMG и определения параметров

#### *Статистический анализ.*

Статистический анализ выполнялся при помощи программы SPSS версии 17.0 для персонального компьютера (SPSSInc., Чикаго, штат Иллинойс). Данные представлены в виде данных описательной статистики (напр., среднего  $\pm$  стандартного отклонения). Парный t-критерий по оперированной и неоперированной конечностям в рамках группы. Анализ электромеханических параметров выполнялся с применением однофакторного дисперсионного анализа с целью определения наличия существенной разницы между прооперированными конечностями пациентов из группы традиционной реабилитации, группы изометрических

упражнений и группы НМЭС. Уровень значимости был принят равным  $P \leq 0,05$ .

*Результаты и выводы.* Сила при изометрических замерах. Как видно на рис. 6, разницы между тремя группами прооперированных и непрооперированных ахилловых сухожилий до операции не было. Сила при изометрических замерах прооперированных и непрооперированных сухожилий после операции снизилась: в группе традиционной реабилитации снижение было существенно больше, чем в группе изометрических упражнений и группе НМЭС ( $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ); отличий между группой изометрических упражнений и группой НМЭС не выявлено. Эти результаты указывают на то, что изометрические упражнения и НМЭС эффективны в предотвращении снижения силы мышц и предотвращении атрофии мышц.

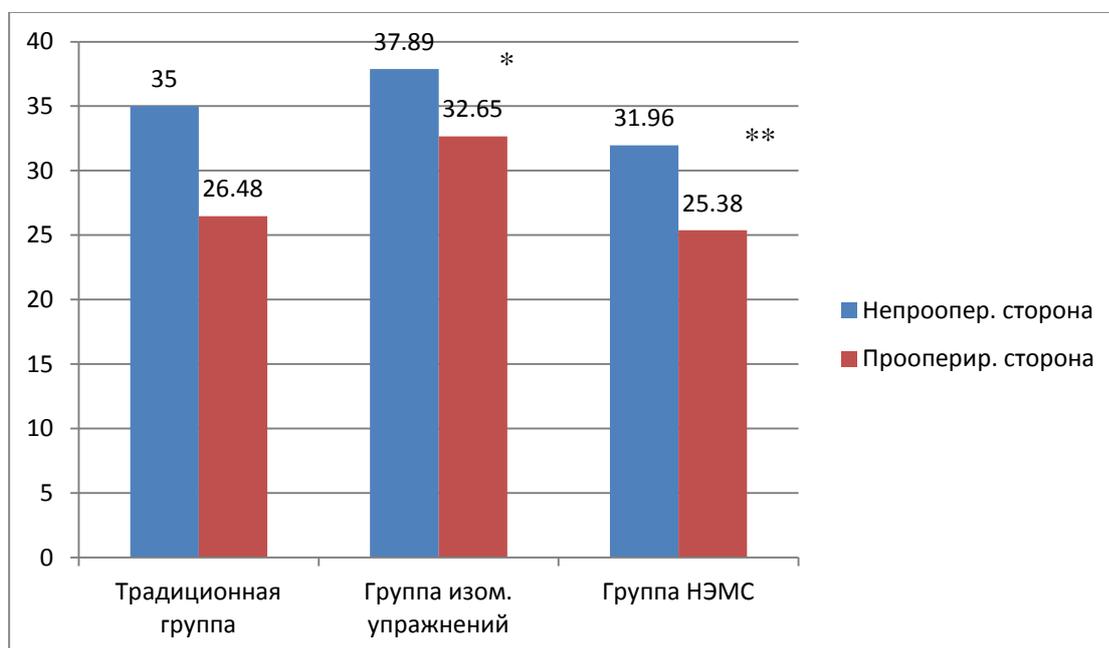


Рис. 6. Сила сухожилий в изометрических замерах после операции  
(AVE PT/B : %)

ЭМИ полусухожильной мышцы. Как видно на рис. 7, в группе НМЭС наблюдается существенное отставание по ЭМИ после операции ( $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ): ЭМИ в группе НМЭС увеличился в меньшей степени, чем в группе традиционной реабилитации и группе изометрических упражнений. Существенных отличий между группами традиционной реабилитации и изометрических упражнений не наблюдается ( $P > 0,05$ ). Различий между группами по ЭМИ неоперированного сухожилия после операции нет ( $P > 0,05$ ).

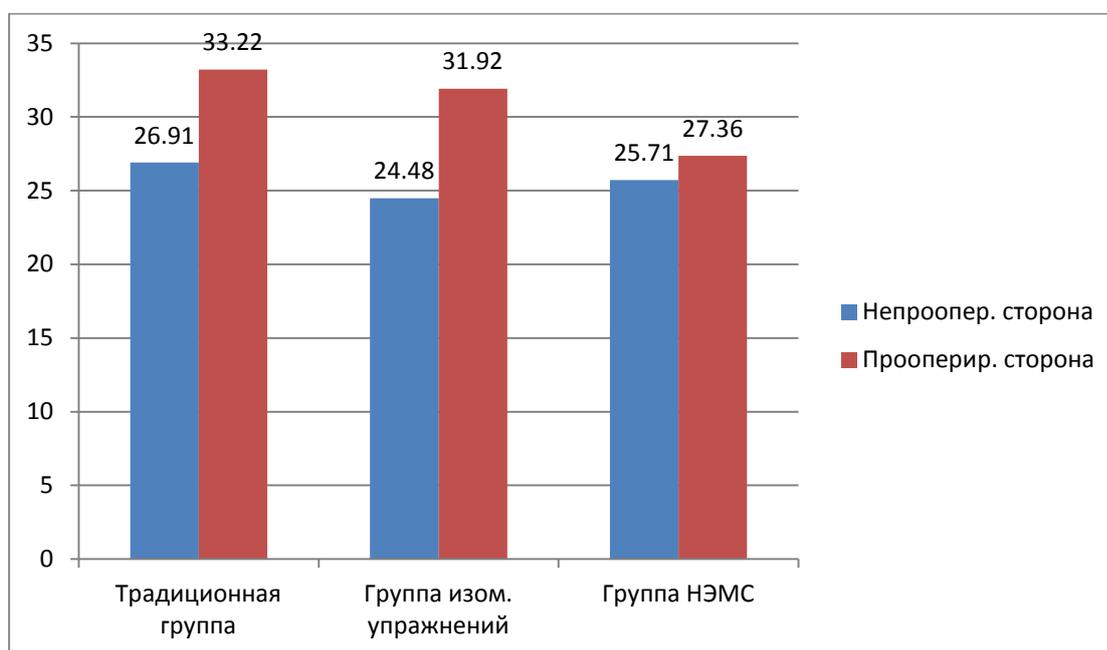


Рис. 7. Послеоперационный ЭМИ полусухожильной мышцы (мс)

ЭМИ бицепса бедра. Послеоперационный ЭМИ прооперированных конечностей в трех группах был длиннее, чем в неоперированных конечностях, но в группе изометрических упражнений и в группе традиционной реабилитации наблюдалось отставание ( $P < 0,05$ ); отличий между группой НМЭС и группой традиционной реабилитации и группой изометрических упражнений нет, но в группе НМЭС увеличение меньше, чем в группе в группе традиционной реабилитации. Эти результаты

указывают на то, что изометрические упражнения эффективны для предотвращения удлинения ЭМИ бицепса бедра после РПКС.

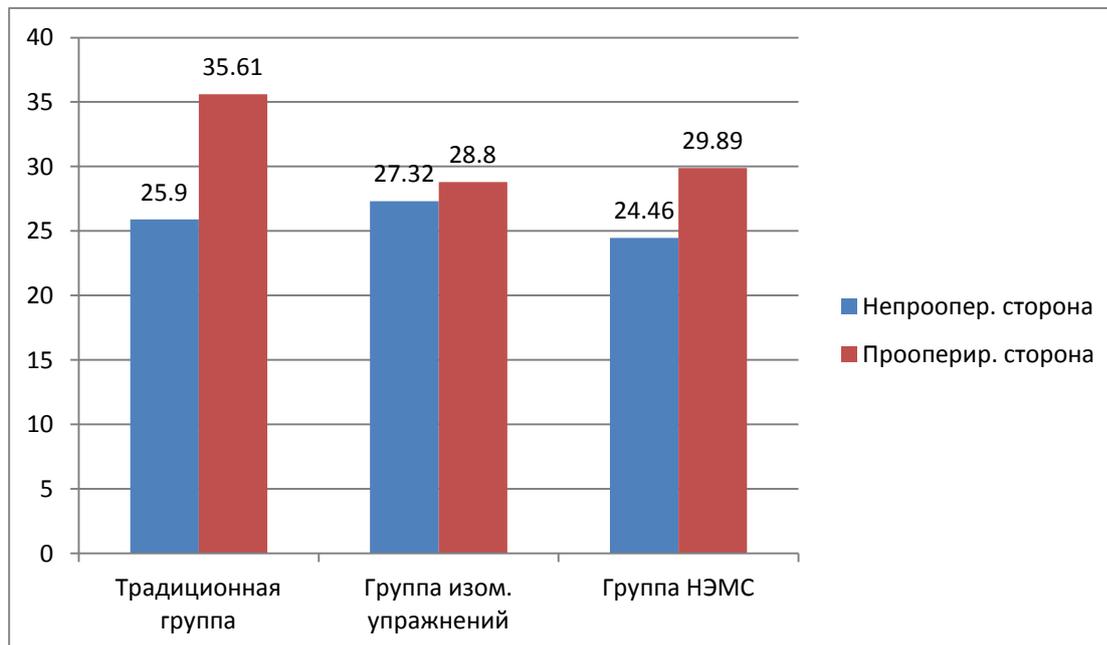


Рис. 8. Послеоперационный ЭМИ бицепса бедра (мс)

*Комментарии.* В настоящее время исследования процесса реабилитации после РПКС более глубокие [4,7,9,18]. Клинические врачи и физиотерапевты стали уделять больше внимания профилактике послеоперационных осложнений с ранних сроков после РПКС [2,8,10]. Целью настоящего исследования является изучение эффективности НМЭС и изометрических упражнений в сокращении ЭМИ ахиллова сухожилия и профилактике мышечной атрофии. Результаты исследования показали, что в группе изометрических упражнений, как и в группе НМЭС результирующие показатели силы мышц и ЭМИ выше, и отличие исследуемых групп от контрольной группы существенно. Однако между самими исследуемыми группами существенных различий нет, что указывает на то, что как изометрические упражнения, так и НМЭС после трансплантации сухожилий в ходе РПКС позволяют предотвратить дальнейшее снижение мышечной силы прооперированной конечности.

Изометрическое сокращение – это статическое сокращение, когда мышца сокращается без уменьшения ее длины при неподвижном суставе. Изометрическое сокращение имеет преимущество в том, что не предполагает никакой боли и нагрузки на коленные суставы и, соответственно, легко переносится пациентами. Благодаря гибкости методики изометрического сокращения не требуется никакого специального оборудования.

Свен и др. исследовали связь между сокращением ахиллова сухожилия и переменными нагрузками на квадрицепс и переднюю крестообразную связку при разгибании и сгибании колена [17]. Результаты показали, что одновременное сокращение ахиллова сухожилия существенно снижает максимальную нагрузку на переднюю крестообразную связку при разгибании колена. Сокращение квадрицепса может привести к смещению большеберцовой кости, что повлечет нагрузку на статическую структуру вокруг колена и растяжение реконструированной связки. В результате этого возрастет нагрузка на надколенно-бедренный сустав, что приведет к ослаблению передней крестообразной связки. Таким образом, упражнения для сокращения ахиллова сухожилия являются неотъемлемой частью реабилитации после РПКС. Как предполагается, такие упражнения обеспечивают стабильность колена прооперированной конечности, защищают реконструированную связку и обеспечивают восстановление функции конечности. Теоретически более благоприятной для пациентов является ранняя реабилитация; так, в настоящем исследовании изометрические упражнения для ахиллова сухожилия и его НМЭС применялись, начиная с четвертого дня после операции, и были направлены на профилактику ослабления и атрофии мышц.

В работе Жу и др., 1995 активация альфа-мотонейронов определяется как поверхностная ЭМГ с отклонением напряжения на  $\pm 15$  мкВ от базового уровня; результирующий момент описывается как

изокинетическое усилие, превышающее базовый уровень 3,6 Нм, а интервал между ними называется электромеханическим интервалом, термином, принятым в исследовании произвольных движений и корреляции между изометрическими сокращениями под действием электричества и электромеханическим интервалом[22].

Вос и др. подчеркивают важность ЭМИ при физической активности. Они сообщают, что изменение ЭМИ может играть важную роль в организации движения и, возможно, ведут к ухудшению нервно-мышечного контроля, поскольку ЭМИ связан с временем рефлекса [18]. Поуп и др. показали, что травма возникает в очень сжатом промежутке времени (напр., за 73 мс в случае травмы коллатеральных связок) [13]. Ставрос и др. измерили разницу в ЭМИ колена на прооперированной и неоперированной ногах. Они обнаружили, что удлинение ЭМИ на прооперированной ноге составляло в среднем 25 мс [14]. Хотя эта разница и мала, она может оказаться достаточной для повторного травмирования реконструированного колена.

В настоящем исследовании для измерения и анализа ЭМИ ахиллова сухожилия использовалась тензиомиография. Этот метод выбран благодаря селективности, объективности, воспроизводимости и простоте и, кроме этого, безопасности для пациентов. На результаты испытания не влияет осведомленность, поскольку изометрическое сокращение вызывается электростимуляцией с определенной интенсивностью. При оценке ЭМИ определяется как первые 10% времени максимального радиального смещения без учета времени пре-реакции, что более объективно и точно отражает мышечную реакцию и дает возможность изучения фактического функционального состояния мышц. После исследования реакции ахиллова сухожилия в условиях усталости среди пациентов, перенесших трансплантацию ахиллова сухожилия при РПКС, Ристэнс заявил, что несмотря на существенное удлинение ЭМИ обеих

мышц, синхронизация между полусухожильной мышцей и бицепсом бедра не нарушена [20]. Ристэнс предположил, что у полусухожильной мышцы и бицепса бедра общий путь активации и, соответственно, мышечная структура колена сохраняет равновесие и координированность сокращений после РПКС путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия. Как указывает Ставрос, причиной удлинения ЭМИ в полусухожильной мышце и бицепсе бедра могло стать образование соединительной ткани шрама после забора связок, что привело к изменению биомеханических свойств мышц. Кроме этого, согласно Фуминари и др., физиологические изменения в поврежденных тканях (напр., увеличение жесткости эластичных мышечных волокон, изменение состава мышечных волокон и снижения функционала нервно-мышечного соединения) стали основной причиной увеличения ЭМИ квадрицепса у пациентов, перенесших РПКС [6,20]. Свен и др. сравнили влияние двух методов НМЭС на силу квадрицепса у пациентов, перенесших РПКС. Результаты позволяют сделать вывод, что НМЭС оказывает более значимое влияние на изокинетическую силу разгибателя колена, функционал прыжкового механизма, а также что НМЭС могла ускорить восстановление функции коленного сустава после операции [16].

Фицджеральд установил, что сочетание 12-недельной стимуляции квадрицепса и традиционной реабилитации дает заметный прирост изокинетического момента по сравнению с группой традиционной реабилитации [5].

В настоящем исследовании как до, так и после РПКС ЭМИ полусухожильной мышцы на прооперированной конечности был длиннее, чем на неоперированной. Согласно результатам исследования, до операции ЭМИ на обеих конечностях не имел значительных различий во всех трех группах, как и на неоперированных конечностях после операции. Однако на прооперированных конечностях были выявлены существенные

различия между группами: участники, проходившие традиционную реабилитацию в сочетании с НМЭС, имели меньшее удлинение ЭМИ по сравнению с группой традиционной реабилитации и группой изометрических упражнений в сочетании с традиционной реабилитацией ( $p < 0,05$  и  $p < 0,01$  соответственно). Таким образом, результаты указывают на эффективность НМЭС в профилактике удлинения ЭМИ в прооперированной конечности после РПКС и значительно более высокие результаты по сравнению с изометрическими упражнениями. После РПКС ЭМИ бицепса бедра на прооперированной конечности удлинился по сравнению с неоперированной конечностью во всех трех группах. Из трех групп группа изометрических упражнений показала наименьшие изменения ( $P < 0,05$ ). Кроме этого, группа НМЭС показала ЭМИ короче, чем группа традиционной реабилитации. Как показали результаты исследования, изометрические упражнения позволяют свести к минимуму ЭМИ бицепса бедра у пациентов, перенесших реконструкцию передней крестообразной связки, и получить более высокие результаты по сравнению с группой традиционной реабилитации и группой НМЭС.

Ограничения настоящего исследования: (а) послеоперационный период, в течение которого проводилось исследование, составил 3 месяца. Остаются вопросы о долгосрочном влиянии НМЭС на ЭМИ ахиллова сухожилия после РПКС. Имеет смысл продолжить клиническое наблюдение; (б) использование в рамках исследования ТМГ для анализа ЭМИ мышц – это простой и быстрый метод по сравнению с традиционной поверхностной ЭМГ и изокинетическим тестированием. Остается вопрос о корреляции между двумя методами. Требуется проведение дополнительных исследований.

*Заключение.* В заключение следует заявить, что НМЭС эффективна для профилактики удлинения ЭМИ ахиллова сухожилия после РПКС путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия, может

применяться в составе программы реабилитации после РПКС в клинических условиях.

### Список литературы

1. Аракава Т., Катада. А. Электростимуляция препятствует апоптозу клеток денервированных скелетных мышц [J]. *NeuroRehabilitation*, 2010; 27(2):147-154.
2. Берт Р. Мандельбаум, Холли Дж. Сильверс, Дайян С. Уотанаби и др. Эффективность программы нервно-мышечных и проприоцептивных упражнений при профилактике травм передней крестообразной связки у женщин-атлетов [J]. *Am J SportsMed*, 2005, 33(7): 1003-1010.
3. Валенчич В., Кнец Н., Симуник Б. Тензиомиография. Определение реакции скелетных мышцы по радиальному смещению мышечного брюшка. *BiomedicalEngineering*. 2001;1:1-10.
4. Вос Э.Дж., Харлаар Й., ван Инген Шено Г.Дж. Электромеханический интервал при сокращениях коленного разгибателя. *MedSciSportsExerc*. 1991; 23(10):1187-1193.
5. Гуо Б.С. Чеунь К.К. Электростимуляция влияет на размножение спутниковых клеток и апоптоз при мышечной атрофии вследствие отсутствия нагрузки у мышей [J]. *PLoSOne*, 2012; 7(1): e30348.
6. Даман Р., Валенчич В., Кнец Н. Оценка возможности выполнения неинвазивной оценки параметров мышечных сокращений на основе реакции мышечного брюшка. *Med BiolEngComput*. 2000; 39(1):51-5.
7. Дональд К. Шельбурн, Кристин Клотц. Что я узнал о передней крестообразной связке. Применение перспективной схемы реабилитации для достижения полной симметричности коленных суставов после реконструкции передней крестообразной связки [J]. *J OrthopSci*, 2006, 11:318-325.
8. Жу С., Лоусон Д.Л., Моррисон У.Э., Фэйуэзер И. Электромеханический интервал при изометрических сокращениях мышц при произвольной,

рефлекторной и электрической стимуляции[J], Eur J ApplPhysiolOccupPhysiol,1995,70(2):138-145.

9. Кань Сун, Чихуа Жань, Ян Вань и др. Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки путем аутопластической трансплантации ахиллова сухожилия и свежезамороженного аллотранспланта [J]. Am J SportsMed, 2011, 39 (7): 1430-1438.

10. Мэй Арна Рисберг, Ингер Холм, Грета Миклебаст и др. Нервно-мышечная стимуляция и силовая стимуляция в первые шесть месяцев после реконструкции передней крестообразной связки. Рандомизированное клиническое исследование[J]. Physical Therapy, 2007, 87(6):737-750.

11. Мельтем Алкан Меликоглуа, Нилуфер Балчия, Неир Саманчия и др. Сроки операции и изокинетические мышечные параметры у пациентов с травмой передней крестообразной связки[J]. Journal of Back and MusculoskeletalRehabilitation. 2008, 21:23–28.

12. Паиллард Т. Комбинированное применение нервно-мышечной электростимуляции и произвольных мускульных сокращений[J]. SportsMed. 2008,8:161-177.

13. Поуп М.Х., Джонсо Р.Дж., Браун Д.В., Тиге К. Роль мускулатуры при травмах внутренней боковой связки. J Bone Joint Surg Am. 1979; 61(3):398-402.

14. Пэрри Дж. Гербер, Робин Л. Маркус, Леланд Э. Диббл. Использование упражнений с внецентричным сопротивлением для уменьшения атрофии мышц после реконструкции передней крестообразной связки. Краткий обзор[J]. Sportshealth, 2009, 1(1):31-38.

15.Ристанис С.,Цепеш Э., Гиотис Д.и др. Мышечная реакция коленного сгибателя при усталости после забора ахиллова сухожилия для реконструкции передней крестообразной связки[J]. Clin J SportMed,2011,21(4):288-293.

16. Ставрос Ристанис, Элиас Цепеш, Димириос Гиотис и др. Удлинение электромеханического интервала мышц коленного сгибателя после забора ахиллова сухожилия для реконструкции передней крестообразной связки[J].Am J SportsMed,2009, 37(11):2179-2186.
17. Свен Фейль, Джон Ньюэл, Конор Миног и др. Эффективность расширения стандартной программы реабилитации наложенной нервно-мышечной электростимуляцией после реконструкции передней крестообразной связки [J]. Am J SportsMed, 2011, 39 (6): 1238-1247.
18. Свен Остермайер, Кристиан Штейн, Крестов Хёршлер и др. Измерение влияния силы задних мышц бедра на схемы нагружения коленной передней крестообразной связки в ходе симуляции разгибающих движений[J]. Исследование *in vitro*. Isokinetics and ExerciseScience,2007,(15):83–90.
19. Тревор А. Ленц, Сьюзен М. Тиллман, Питер А. Инделикато и др. Факторы, связанные с функционированием после реконструкции передней крестообразующей связки [J]. Американское ортопедическое общество спортивной медицины, 2009, 1(1):47-53.
20. Фицджеральд Г.К., Пива Г.К. и ИррангДж.Дж. Модифицированный протокол нервно-мышечной электростимуляции для повышения силы квадрицепса после реконструкции передней крестообразной связки [J]. J Orthopaedic Sports Physical Therapy, 2003, 33:492-503.
21. Фуминари Канеко, Кийоши Онари, Котаро Кавагучи. Электромеханический интервал после реконструкции ПКС. Новейшая методика исследования роли центральных и периферийных мышц. [J].Journal of orthopaedic&sportsphysicaltherapy, 2002, 32(4):158-164.