

**ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
НАПРЯЖЕННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Разработка новых и совершенствование традиционных спортивных и оздоровительных технологий неразрывно связаны с уровнем знаний о структуре и физиологических процессах нервно-мышечного аппарата, а также о механизмах управления движениями различной координационной сложности [1, 3, 4]. Эти знания могут быть существенно углублены и расширены с помощью использования метода электромиографии – регистрации электрической активности скелетных мышц и периферических нервов у спортсменов в состоянии покоя и при выполнении произвольных двигательных действий.

Появление современных электромиографов, предусматривающих компьютерную обработку результатов, обеспечивает принципиально новые возможности исследования закономерностей функционирования скелетных мышц и управления их сегментарными и супраспинальными структурами, а также решения прикладных спортивных задач.

Исходя из актуальности практических рекомендаций для спорта высших достижений, важно определить характер адаптации опорно-двигательного аппарата человека к экстремальным физическим нагрузкам [3, 4]. С этой целью назрела необходимость выявить функционирование мышечных тканей при генерации усилий (актуации) и определить критерии утомления мышечных тканей на мезоуровне, т.е. в масштабе отдельных мышечных волокон. Это позволит связать данные тренировочных режимов, выполняемых спортсменами с биофизическими механизмами актуации, утомления и релаксации мышечных тканей.

В настоящее время при обосновании режимов тренировок и реабилитации спортсменов стремятся определить показатели тонуса мышц при различных нагрузках. Основными экспериментальными методами подобного исследования мышечной активности в настоящее время являются изометрическое и изотоническое электростимулирование [2, 5]. Их существенным недостатком является инвазивность. Кроме того, имеет место неправомерность переноса свойств, определенных в указанных тестах, на мышечную ткань живого организма. Следовательно, необходимы новые методы, позволяющие адекватно оценивать механические свойства мышц.

Цель работы заключалась в определении воздействия дозированной нагрузки на функциональное состояние скелетных мышц нижних конечностей.

В работе решались задачи по определению возбудимости мотонейронов у спортсменов и занимающихся спортом непрофессионально в состоянии покоя и при нагрузке и функционального состояния скелетных мышц под воздействием физических нагрузок.

Работа выполнялась в соответствии с заданием 4.07 "Исследование анизотропных вязкоупругих моделей деформирования костных и мышечных тканей и механизмы адаптации скелетных мышц к нагрузкам различной направленности у спортсменов" государственной комплексной программы научных исследований по разделу "Биомеханика".

Исследования проводились в течение 2009 года на базе научно-исследовательской лаборатории физической культуры и спорта УО "ГГУ имени Ф. Скорины".

Обследования проводились на нейроэлектромиографе (НЭМГ фирмы "НейроСофт"). Регистрировалась интерференционная кривая, а также параметры М-ответа и Н-рефлекса исследуемых мышц.

В эксперименте приняли участие 20 спортсменов, 10 из которых профессионально занимаются легкой атлетикой – бег на короткие дистанции, 10 – спортивная деятельность которых ограничивается занятиями по курсу "ПСМ" (непрофессиональная спортивная деятельность). Возраст испытуемых составил от 19 до 24 лет. В группу профессиональных спортсменов вошли 2 мастера спорта, 6 кандидатов в мастера спорта, 2 спортсмена I разряда. Непрофессиональные спортсмены спортивных разрядов не имели. Были исследованы латеральная головка икроножной мышцы и камбаловидная мышца у испытуемых в положении лежа на животе на кушетке и при выполнении дозированной локальной работы. Для регистрации ЭМГ использовались bipolarные дисковые электроды (диаметром 0,9 см). Активный электрод располагался на двигательной точке исследуемой мышцы, а референтный фиксировался по ходу ее волокон. Межелектродное расстояние составляло 9 см.

В процессе исследования проводилась регистрация электромиограмм интерференционных кривых, анализ полученных данных, уточнялась характеристика выполнения и объем предполагаемых нагрузок.

В ходе исследования стимуляционной электромиографии фиксировался прямой мышечный ответ – М-ответ, возникающий при электрическом раздражении периферического нерва вследствие ортодромного возбуждения нерва, и Н-рефлекс, синхронизированный центральный ответ.

Биопотенциалы поверхностной ЭМГ регистрировались при произвольном расслаблении и напряжении исследуемых мышц (подъем на передней части стопы и удержание статической позы в течение 30 с). Методика основана на регистрации биоэлектрической активности мышц (БЭА) с помощью накожных электродов.

Проведенное исследование позволило выявить различия между профессиональными спортсменами, выполняющими большие объемы физических нагрузок и спортсменами, выполняющими физические нагрузки на любительском уровне.

В таблицах 1-4 представлены суммированные данные нейроэлектромиографии (НЭМГ) спортсменов-спринтеров и спортсменов-любителей. Как видно из таблиц, архитектура БЭА мышц зависит от вида спорта и спортивной квалификации обследуемых. Сравнение БЭА мышц левой и правой стороны (максимальная амплитуда) в расслабленном состоянии свидетельствует о различной сократительной способности.

Таблица 1

Нейроэлектромиографические характеристики латеральной головки икроножной и камбаловидной мышц у спортсменов-любителей в период напряжения, $X \pm \delta$

Мышцы	Максимальная амплитуда, мкВ	Средняя амплитуда, мкВ	Суммарная амплитуда, мВ/с	Средняя частота, 1/с	Амплитуда /частота, мкВ*с
Левая конечность					
Икроножная	721,50±180,10	208,00±46,60	106,83±79,54	374,50±216,02	0,88±0,21
Камбаловидная	469,75±76,21	248,27±32,72	25,51±19,04	147,59±95,95	7,47±6,12
Правая конечность					
Икроножная	759,75±194,42	192,55±13,13	33,61±23,45	170,65±97,99	2,09±0,83
Камбаловидная	578,25±173,06	259,73±45,37	38,05±33,68	169,83±137,86	25,97±13,12

Таблица 2

Нейроэлектромиографические характеристики латеральной головки икроножной и камбаловидной мышц у спортсменов-любителей в период расслабления, $X \pm \delta$

Мышцы	Максимальная амплитуда, мкВ	Средняя амплитуда, мкВ	Суммарная амплитуда, мВ/с	Средняя частота, 1/с	Амплитуда /частота, мкВ*с
Левая конечность					
Икроножная	308,00±171,60	354,00±92,62	386,00±180,20	1089,00±196,21	0,33±0,14
Камбаловидная	239,75±10,19	144,50±91,99	38,80±34,79	270,50±244,67	-0,67±0,39
Правая конечность					
Икроножная	220,73±107,55	238,00±89,62	222,00±74,30	930,00±172,63	0,26±0,11
Камбаловидная	237,35±115,19	184,00±163,32	56,11±65,08	239,00±250,93	1,02±0,46

В таблицах 3 и 4 представлены данные НЭМГ спортсменов-спринтеров. Как видно из таблиц, у этих спортсменов релаксационные свойства мышц лучше по сравнению со спортсменами-любителями (максимальная, средняя и суммарная амплитуды). Существенно ниже средняя частота и отношение амплитуды к частоте по сравнению со спортсменами-любителями. Данная закономерность сохраняется и при максимальном напряжении.

Отношение средней амплитуды к средней частоте различалось в состоянии как расслабления, так и напряжения в группах мышц левой и правой сторон.

Следовательно, амплитудные характеристики НЭМГ свидетельствуют о том, что произвольное расслабление мышц отражает динамику нервных процессов и их регуляцию. Камбаловидная мышца при напряжении имела большую максимальную и среднюю амплитуды.

Максимальная амплитуда НЭМГ групп мышц левой и правой конечностей несколько отличалась в расслабленном состоянии. Во время напряжения наблюдалась четкая ранговая распределяемость показателей максимальной, средней и суммарной амплитуд. Амплитудно-частотные отношения были специфичны для анализируемой группы мышц левой и правой частей тела.

Таблица 3

Нейроэлектромиографические характеристики латеральной головки икроножной и камбаловидной мышц спринтеров в периоды напряжения, $\bar{X} \pm \delta$

Мышцы	Максимальная амплитуда, мкВ	Средняя амплитуда, мкВ	Суммарная амплитуда, мВ/с	Средняя частота, 1/с	Амплитуда /частота, мкВ*с
Левая конечность					
Икроножная	779,64±140,48	199,36±20,93	33,18±8,18	143,65±24,95	2,07±0,60
Камбаловидная	1518,73±246,73	139,25±19,66	75,96±18,69	259,91±45,78	2,06±0,97
Правая конечность					
Икроножная	697,36±92,17	154,50±28,40	31,10±5,89	144,30±22,07	1,71±0,27
Камбаловидная	1722,18±446,27	146,50±32,77	85,93±25,93	269,73±42,83	2,57±0,91

Таблица 4

Нейроэлектромиографические характеристики латеральной головки икроножной и камбаловидной мышц спринтеров в период расслабления, $\bar{X} \pm \delta$

Мышцы	Максимальная амплитуда, мкВ	Средняя амплитуда, мкВ	Суммарная амплитуда, мВ/с	Средняя частота, 1/с	Амплитуда /частота, мкВ*с
Левая конечность					
Икроножная	53,25±7,06	99,54±13,13	4,98±2,78	33,14±4,15	12,07±0,60
Камбаловидная	106,32±16,84	109,50±19,46	6,00±7,20	53,84±6,45	12,09±13,79
Правая конечность					
Икроножная	69,68±20,04	110,50±12,59	3,16±3,93	27,32±3,95	19,07±16,41
Камбаловидная	92,90±15,92	114,00±16,46	4,74±4,65	35,33±4,16	19,85±15,44

Таким образом, в результате исследования выявлена зависимость НЭМГ показателей от специфики вида спорта, индивидуальных особенностей спортсменов.

Резервные возможности мышц определяются, в большинстве случаев, составом в них различных групп двигательных единиц. Для практики спорта имеет значение, выявление относительно простыми методами свойств мышц с целью рекомендации каждому спортсмену тех физических упражнений, которые больше подходят для особенностей именно его мышц.

Любой стимуляционный метод электромиографического исследования позволяет зарегистрировать прямой мышечный ответ – М-ответ, возникающий при электрическом раздражении периферического нерва, и Н-рефлекс – синхронизированный центральный ответ с латентным периодом около 30 мс.

Н-рефлекс и М-ответ вызывали электрическим раздражением заднего большеберцового нерва в подколенной ямке. Были исследованы латеральная головка икроножной мышцы и камбаловидная мышца у испытуемых в положении лежа на животике на кушетке. В ходе эксперимента ставились задачи по определению возбудимости мотонейронов в мышцах спортсменов и выявлению динамики возбудимости у спринтеров и спортсменов-любителей после дозированной локальной работы.

В качестве нагрузочной деятельности спортсмены выполняли 5 серий по 30 подъемов на стопе через 30 секунд отдыха. Время выполнения упражнения составляло 30 секунд.

Для сравнения возбудимости мотонейронов икроножной и камбаловидной мышц у спринтеров и занимающихся спортом на низком уровне отдельно регистрировали Н- и М-ответы этих мышц, выделяя максимальную амплитуду ответов каждого спортсмена и определяли отношение амплитуды Н-рефлекса к амплитуде М-ответа (Н/М) для каждой из этих мышц (табл. 5-9).

Возбудимость мотонейронных ядер икроножной мышцы в состоянии покоя у спринтеров составила в среднем 40 %, а у спортсменов-любителей – 56 %. При этом, мастера спорта имели более высокие показатели. По сравнению со спортсменами I и не имеющих разрядов у мастеров спорта возбудимость была выше.

Возбудимость мотонейронных ядер камбаловидной мышцы в покое была выше, чем у икроножной мышцы. Она составила у спринтеров в среднем 53,6 %, что на 13 % больше возбудимости мотонейронов икроножной мышцы. У спортсменов-любителей возбудимость мотонейронов камбаловидной мышцы составила 60,9 %. После работы рефлекторная возбудимость мотонейронов камбаловидной и икроножной мышц повысилась у занимающихся спортом на низком уровне на 5,5 % и 7,7 %, а у спринтеров – на 1,1 % и 1,4 %. Очевидно, большее повышение возбудимости здесь связано не только с большим воздействием нагрузки на мышцы. Во-первых, занимающиеся спортом на низком уровне дают значительно более меньшую нагрузку на исследуемые мышцы во время тренировочного процесса, а у спринтеров развитие мышц голени включено в тренировочный процесс.

Таблица 5

Параметры тах амплитуды М-ответа и Н-рефлекса икроножной мышцы спринтеров в покое и после работы

№ п/п	М-ответ		Н-рефлекс	
	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ
1	7,8	6,5	3,6	2,8
2 (МС)	8,5	7,5	2,8	3,3
3	8,2	7,5	3,3	3,2
4	7,8	7,6	3,5	3,4
5	8,1	7,8	3,0	2,7
6	7,9	7,7	3,3	2,6
7	7,1	7,3	3,1	2,5
8 (МС)	8,8	7,1	3,7	3,3
9	8,1	7,2	2,8	2,7
10	7,6	6,8	3,3	3,5

Таблица 6

Параметры тах амплитуды М-ответа и Н-рефлекса камбаловидной мышцы спринтеров в покое и после работы

№ п/п	М-ответ		Н-рефлекс	
	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ
1	7,7	7,6	4,2	4,8
2 (МС)	9,2	7,1	4,6	4,1
3	9,3	7,9	3,8	5,4

4	8,8	7,8	4,4	4,3
5	8,2	8,1	5,1	5,2
6	7,8	8,2	4,3	5,3
7	8,3	8,7	4,5	4,4
8 (МС)	7,2	7,8	4,6	4,5
9	8,0	8,1	4,7	4,7
10	8,1	8,4	4,4	4,3

Таблица 7

Параметры тах амплитуды М-ответа и Н-рефлекса икроножной мышцы, занимающихся непрофессионально в покое и после работы

№ п/п	М-ответ		Н-рефлекс	
	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ
1	7,1	6,7	3,2	3,1
2	8,2	6,7	2,3	2,3
3	7,6	7,6	4,0	4,2
4	7,8	7,3	5,3	4,0
5	7,3	6,8	4,4	4,6
6	7,7	5,0	4,7	4,8
7	7,6	5,1	5,6	4,7
8	7,4	6,2	3,8	4,2
9	7,7	6,8	3,3	4,0
10	7,1	6,8	5,7	4,1

Таблица 8

Параметры тах амплитуды М-ответа и Н-рефлекса камбаловидной мышцы, занимающихся непрофессионально в покое и после работы

№ п/п	М-ответ		Н-рефлекс	
	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ	тах амплитуда в покое, мВ	тах амплитуда после работы, мВ
1	10,9	8,3	6,2	6,1
2	10,8	8,8	6,8	6,0
3	11,3	8,5	6,6	5,5
4	10,6	8,7	6,4	5,2
5	12,9	8,0	6,3	4,3
6	9,8	8,3	7,2	7,3
7	10,8	8,0	7,8	5,8
8	11,2	9,1	7,1	6,6
9	10,3	9,6	6,0	6,7
10	11,1	8,7	6,6	5,5

Таблица 9

Рефлекторная возбудимость мотонейронов (Мв) икроножной и камбаловидной мышц в покое и после локальной дозированной нагрузки у спринтеров и занимающихся спортом непрофессионально

Мышца	Специализация	Амплитуда М-ответа (ср. арефм. тах ампл.)		Амплитуда Н-рефлекса (ср. арефм. тах ампл.)		Отношение Н-рефлекса к М-ответу в %	
		В покое	После работы	В покое	После работы	В покое	После работы
Икроножная	Спринтеры	8,0	7,3	3,2	3,0	40	41
	Занимающиеся непрофессионально	7,5	6,5	4,2	4,0	56	61,5
Камбаловидная	Спринтеры	8,2	8	4,4	4,4	53,6	65
	Занимающиеся непрофессионально	11	8,6	6,4	5,9	60,8	68,6

Большее повышение возбудимости у спортсменов-любителей связано, по нашему мнению, с тем, что их мышцы имеют большее количество медленных мотонейронов.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что после дозированной локальной нагрузки у профессиональных бегунов на короткие дистанции и у спортсменов-любителей, поддерживающих хорошую физическую форму возбудимость мотонейронов в мышцах возрастает, причем у спортсменов-любителей более значительно, чем у спринтеров. Это объясняется тем, что двигательные единицы мышц занимающихся спортом непрофессионально и не имеющих определенной специфики, имеют больше медленных мотонейронов.

На основании полученных во время исследований результатов выявлена зависимость НЭМГ показателей от специфики вида спорта, индивидуальных особенностей спортсменов. Амплитуда НЭМГ левой и правой групп мышц незначительно различаются. У спортсменов спринтеров релаксационные свойства мышц лучше. Прослеживается хорошая биоэлектрическая активность мышц.

Также, можно сделать вывод, что после дозированной локальной нагрузки у бегунов-спринтеров и у спортсменов-любителей, поддерживающих хорошую физическую форму, возбудимость мотонейронов в мышцах возрастает, причем у занимающихся непрофессионально более значительно, чем у спринтеров. Это объясняется тем, что двигательные единицы мышц занимающихся спортом непрофессионально, и не имеющих определенной специфики, имеют больше медленных мотонейронов.

Амплитуды М- и Н-ответов имеют большее значение у камбаловидной мышцы, чем у икроножной. У занимающихся непрофессионально амплитуда Н-ответа выше, чем у профессиональных бегунов на короткие дистанции, как до работы, так и после нее.

Спортивная электромиография является эффективным методом в изучении физиологических процессов, протекающих в скелетных мышцах, и механизмов их регуляции. Полученные при этом знания могут быть использованы при создании и совершенствовании спортивно-оздоровительных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аруин А.С. Биомеханические свойства скелетных мышц и сухожилий А.С. Аруин, В.М. Зацюрский. – М.: ГЦОЛИФК, 1980. – 64 с.
- 2 Бегун П.И. Биомеханика: учебн. для вузов / П.И.Бегун, Ю.А. Шукейло – СПб.: "Политехника", 2000. – 463 с.
- 3 Бондаренко К.К. Повышение эффективности тренировочного процесса спортсменов-пожарных с учетом индивидуальной реакции организма на нагрузку / К.К. Бондаренко, Д.Н. Григоренко // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины – 2003. – №5(20). – С. 55-

4 Южно Ю. Упруговязкие свойства скелетных мышц дзюдоистов высокой квалификации / Южно Ю. // Наука в Олимпийском спорте. – 2000. – №1. – С. 86-91.

5 Rassier D.E. Stretch-induced, steady-state force enhancement in single skeletal muscle fibers exceeds the isometric force at optimum fiber length / D.E.Rassier, W.Herzog, J.Wakeling, D.A.Syme // Journal of Biomechanics. – 2003. – Vol. 36, № 9. – P. 1309-1316.

Подано до редакції 19.04.10

РЕЗЮМЕ

В статье изложены результаты исследования электрической активности скелетных мышц и периферических нервов у спортсменов в состоянии покоя и при выполнении произвольных двигательных действий. Выявлены различия функционирования нервно-мышечного аппарата от специфики вида спорта и индивидуальных особенностей спортсменов. Проведен сравнительный анализ биомеханических и функциональных показателей скелетных мышц при выполнении специфической физической нагрузки спортсменами-любителями и спортсменами профессионалами.

Ключевые слова: электрическая активность, скелетные мышцы, периферические нервы, спортсмены.

К.К. Бондаренко, Е.А. Кобець, А.Е. Бондаренко

ЗМІНА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ КІСТЯКОВИХ М'ЯЗІВ ПІД ВПЛИВОМ НАПРУЖЕНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ РЕЗЮМЕ

У статті викладені результати дослідження електричної активності кістякових м'язів і периферичних нервів у спортсменів у стані спокою й при виконанні довільних рухових дій. Виявлено розходження функціонування нервово-м'язового апарату залежно від специфіки виду спорту та індивідуальних особливостей спортсменів. Проведено порівняльний аналіз біомеханічних та функціональних показників кістякових м'язів при виконанні специфічного фізичного навантаження спортсменами-аматорами й спортсменами професіоналами.

Ключові слова: електрична активність, кістякові м'язи, периферичні нерви, спортсмени.

К.К. Bondarenko, E.A. Kobets, A.E. Bondarenko

CHANGING FUNCTIONAL STATE OF SKELETAL MUSCLES UNDER THE INFLUENCE OF TENSE LOADING ACTIVITY SUMMARY

The article presents some results of the research on electrical activity of skeletal muscles and peripheral nerves of athletes at rest and when performing arbitrary motor actions. It reveals some differences in functioning of the neuro-muscular system due to specificity of sport and athlete's individual characteristics. The article presents comparative analysis of biomechanical and functional parameters of skeletal muscles in performance of specific physical activity of amateur and professional athletes.

Keywords: electric activity, skeletal muscles, periferal muscles, sportsmen
