

УДК 612.741:796.012

РЕГУЛЯЦИЯ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА У СПОРТСМЕНОВ, АДАПТИРОВАННЫХ К СТЕРЕОТИПНОЙ И СИТУАЦИОННОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2019 г. М. Н. Поповская¹, С. А. Моисеев¹*, С. М. Иванов¹, Р. М. Гордничев¹

¹ФГБОУ ВО Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия

*E-mail: sergey_moiseev@vlgafo.ru

Поступила в редакцию 14.05.2018 г.

После доработки 09.09.2018 г.

Принята к публикации 01.11.2018 г.

Исследовали механизмы регуляции изометрических и концентрических мышечных сокращений у спортсменов, адаптированных к стереотипной и ситуационной двигательной деятельности. Установлено, что у баскетболистов суммарная амплитуда ЭМГ исследуемых мышц при выполнении изометрических и концентрических сокращений до произвольного отказа в завершающий период работы снижалась по сравнению с начальным, в то время как у бегунов на короткие и длинные дистанции этот показатель оставался практически неизменным на всем протяжении мышечной работы. Такая динамика сопровождалась определенными изменениями амплитуды и частоты турнов ЭМГ, свидетельствующими о различной организации электроактивности двигательных единиц в мышцах баскетболистов и бегунов. Координационная структура выполняемых изометрических и концентрических сокращений, вероятно, определяется спецификой фонда моторных программ, сформированных у спортсменов в процессе адаптации к тренировочным нагрузкам разной направленности.

Ключевые слова: электромиография, изометрический и концентрический тип мышечного сокращения, адаптация, стереотипная и ситуационная двигательная деятельность.

DOI: 10.1134/S0131164619020097

Изучение закономерностей адаптации организма человека к спортивной деятельности является одной из важнейших задач физиологии спорта, поскольку получение новых знаний о механизмах адаптации позволяет более обоснованно подходить к планированию и реализации учебно-тренировочного процесса. Спортивные двигательные действия чрезвычайно разнообразны и отличаются по своей координационной структуре, интенсивности (мощности) выполняемой мышечной работы, количеству задействованных в активности мышц, величине и скорости проявляемых мышечных усилий [1, 2]. Широкий спектр кинематических и динамических характеристик, выполняемых спортсменами движений, определяет многообразные и в то же время специфические физиологические изменения, происходящие под влиянием проделанной физической работы.

Известно, что систематические напряженные тренировки приводят к структурно-функциональным адаптивным изменениям в организме спортсменов [3]. Имеются сведения о гормональ-

ных перестройках в процессе адаптации к мышечным нагрузкам [4], об изменениях биоэнергетических параметров при работе циклического характера в разных зонах мощности [5], функциональной пластичности центральных и периферических структур моторной системы у представителей различных видов спорта [3, 6].

В соответствии с физиологической классификацией спортивных движений, разработанной В.С. Фарфелем [1], они разделяются на стереотипные и ситуационные. Управление стереотипными движениями предусматривает воспроизведение заранее сформированной координационной структуры, а осуществляемое движение представляет некий стандарт, в котором предписаны его основные параметры (бег на средние и длинные дистанции). Координационная структура ситуационных движений всегда зависит от сложившейся ситуации и такие движения отличаются от стереотипных своей нестандартностью (спортивные игры, борьба). В ряде исследований описаны конкретные физиологические процессы, лежащие в основе приспособления к физиче-

ским нагрузкам у представителей стереотипных или ситуационных видов спорта. Так, выявлены функциональные изменения, наступающие в результате длительных тренировок у спринтеров и стайеров [2], у баскетболистов изучены особенности вызванных моторных ответов [7]. Можно отметить, что во всех этих работах говорится об изменениях конкретных параметров, характеризующих состояние определенных функциональных систем организма спортсменов. Вместе с тем остаются недостаточно изученными вопросы, связанные с изменением координационной структуры разных типов мышечных сокращений у лиц, специализирующихся в стереотипных и ситуационных видах спорта.

Поэтому цель исследования заключалась в изучении особенностей регуляции изометрических и концентрических мышечных сокращений у спортсменов, адаптированных к стереотипной и ситуационной двигательной деятельности.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 24 взрослых спортсмена мужского пола в возрасте от 18 до 25 лет: 8 баскетболистов, 8 спринтеров (бегунов на короткие дистанции), 8 стайеров (бегунов на длинные дистанции). Длина тела в среднем по группе составляла у баскетболистов 185.5 ± 1.8 см, масса тела 81.5 ± 2.1 кг, у спринтеров – 182.0 ± 1.2 см и 77.4 ± 1.9 кг, у стайеров – 181.2 ± 2.5 см и 76.8 ± 2.3 кг соответственно. Спортсмены в период исследования имели спортивную квалификацию – первый взрослый разряд, кандидат в мастера спорта. Все испытуемые дали письменное информированное согласие на участие в исследованиях в соответствии с Хельсинкской Декларацией и нормами международного права.

Спортсменам предлагали выполнить мышечную работу, включающую в себя два типа сокращения: изометрическое и концентрическое. Данные виды мышечных сокращений наиболее характерны для спортивных двигательных действий. Испытуемого располагали в кресле мультисуставного лечебно-диагностического комплекса *Biodex System 3 Pro* (США) в положении сидя. Угол в коленном суставе составлял 90 градусов, голова находилась на подлокотнике кресла, руки были скрещены на животе, коленный сустав фиксировался, стопа опиралась на платформу комплекса.

Эксперимент состоял из нескольких частей. Непосредственно перед основной мышечной работой (за 3 мин) у каждого испытуемого определяли максимальное произвольное усилие (МПС) при изометрическом сокращении мышц стопы (подошвенное сгибание стопы). В первой части основного эксперимента спортсменам предлагали выполнить удержание изометрического уси-

лия, а во второй части – серию многократных концентрических сокращений. В каждом случае величина усилия составляла 90% от МПС, работу выполняли до произвольного отказа и повторяли три раза (3 подхода). Отдых между подходами составлял 5 мин. Концентрические сокращения (подошвенное сгибание стопы) осуществляли с частотой 1 Гц, движение в голеностопном суставе составляло 30 град, а возвратное движение выполняли комплексом *Biodex* автоматически и не требовалось усилий от испытуемого.

При выполнении изометрического сокращения испытуемый контролировал величину мышечного усилия по динамограмме, отображаемой на экране монитора комплекса *Biodex*. В серии концентрических сокращений величину усилия задавали управляющей панелью комплекса, контроль со стороны испытуемого не требовался. До проведения контрольных испытаний каждый обследуемый проходил обучение правильному выполнению сокращений исследуемых типов мышечных сокращений.

Регистрацию биопотенциалов скелетных мышц при выполнении изометрических и концентрических сокращений осуществляли по традиционной методике [8] с помощью 8-канального электронейромиографа “Нейро-МВП-8” (ООО “Нейрософт”, Россия). Отводящие многозарядные ЭМГ-электроды с серебряным напылением накладывали на кожу на *m. gastrocnemius medialis (GM)* и *m. tibialis anterior (TA)* в области двигательной точки, биполярно с расстоянием 2.5 см между центрами электродов. Для обеспечения надежного контакта поверхность кожи в области наложения очищали от волосяного покрова и обезжировали медицинским спиртом, а чашечку электрода заполняли токопроводящим гелем. Межэлектродное сопротивление не превышало 12 Ом.

Определяли суммарную амплитуду ЭМГ, среднюю амплитуду и частоту турнов ЭМГ исследуемых мышц. За турн кривой ЭМГ принимали изменение направления кривой потенциала на противоположное в пределах одной фазы без пересечения изолинии. Учитывали только значимые потенциалы, т.е. те, амплитуда которых составляла 100 мкВ и более. Электромиографическую активность регистрировали с медиальной головки *GM* и *TA*. Полученные ЭМГ-записи были обработаны в компьютерной программе “Нейро-МВП”.

Статистическую обработку материала осуществлялась при помощи пакетов программ *Microsoft Excel 2007* и *Statistica 10*. Вычисляли следующие статистические параметры: среднее арифметическое (M), ошибка среднего арифметического (m). В некоторых случаях рассчитывали изменения, выраженные в процентах. Полу-

ченные данные проверяли на нормальность распределения и в зависимости от результата, для оценки достоверности различий в регистрируемых параметрах, применяли однофакторный дисперсионный анализ для повторных измерений (*ANOVA*) с *Post-hoc* анализом *Fisher*, или непараметрический критерий *Mann-Whitney*. Статистически значимым уровнем считали $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования показали, что в среднем по группе величина максимального произвольного сокращения была больше у баскетболистов – 195.4 ± 9.5 Н м. У спринтеров и стайеров величина МПС практически не отличалась – 162.8 ± 11.1 и 161.0 ± 11.9 Н м, соответственно, но была несколько ниже в сравнении с баскетболистами. Межгрупповые различия у представителей 3 видов спорта не достигали статистически значимого уровня.

Наибольшая суммарная продолжительность удержания изометрического усилия за все три подхода зарегистрирована у стайеров и составила 115.1 с, а наименьшая – у баскетболистов – 85.7 с. В третьем подходе у баскетболистов наблюдалась тенденция к уменьшению продолжительности изометрического сокращения, а у спринтеров – к увеличению в сравнении с первым подходом. У стайеров самое длительное изометрическое напряжение регистрировалось во 2 подходе.

В табл. 1 приведены среднегрупповые показатели суммарной амплитуды ЭМГ исследуемых мышц в сравниваемых группах спортсменов, зарегистрированные в течение всего периода работы до отказа в каждом из трех подходов при выполнении изометрических и концентрических сокращений.

Как следует из анализа данных табл. 1, величина суммарной электроактивности *GM* при удержании статического усилия практически была одинакова во всех трех подходах у представителей различных спортивных специализаций. В то же время суммарная амплитуда ЭМГ *TA* была значительно больше у баскетболистов в сравнении с другими группами. Таким образом, что наибольшая суммарная электроактивность *TA* у баскетболистов достигалась за счет высоких показателей средней амплитуды турнов и их частоты. Так частота турнов *TA* составила в среднем по группе в первом подходе: у баскетболистов – 297.7 ± 18.9 ; у спринтеров – 256.3 ± 31.5 ; у стайеров – 225.3 ± 18.8 турн/с. Как видно из табл. 1, суммарная электроактивность ЭМГ *GM* и *TA* не изменяется на статистически значимом уровне во 2-м и 3-м подходах по сравнению с первым. Аналогичная

картина характерна и для других параметров электроактивности.

При сравнении параметров ЭМГ в начале, середине, окончании удержания статического усилия обнаружена зависимость изменений электрической активности от спортивной специализации испытуемых (табл. 2). У баскетболистов все исследуемые параметры ЭМГ *GM* и *TA* при завершении статического напряжения были существенно ниже, чем в его начале во всех трех подходах. Так суммарная амплитуда электрической активности в первом подходе снизилась на 34.5% ($p < 0.05$).

У спринтеров суммарная амплитуда ЭМГ *GM* уменьшалась при завершении работы в первом подходе, в следующем подходе ее величина практически не изменялась, а в третьем подходе регистрировалась тенденция к повышению суммарной электроактивности. Можно отметить, что суммарная электроактивность *GM* возрастала в третьем подходе за счет увеличения амплитуды турнов и их частоты. Активность *TA* в конце удержания во всех подходах незначительно снижалась ($p > 0.05$).

Суммарная амплитуда ЭМГ *GM* и *TA* у лиц, специализирующихся в беге на длинные дистанции, прогрессивно снижалась при завершении статического напряжения в сравнении с начальным периодом во всех подходах. Таким образом, такая динамика суммарной амплитуды ЭМГ достигалась, главным образом снижением частоты турнов, уменьшение их амплитуды было выражено в меньшей степени (рис. 1).

Анализ общего количества концентрических сокращений в каждом из трех подходов показал, что достоверных различий между сравниваемыми группами по данному показателю не наблюдалось. Спринтеры выполняли несколько больше реализаций – 33.2, баскетболисты – 30.3, стайеры – 30.2. Наибольшая величина суммарной амплитуды ЭМГ *GM* при реализации многократных концентрических сокращений регистрировалась у спринтеров, низкая – у баскетболистов (табл. 1). Для стайеров характерен низкий уровень активности *TA* в сравнении с другими группами. При анализе параметров ЭМГ *GM* за все время работы в каждом подходе выявлено достоверное снижение ее суммарной амплитуды у баскетболистов в третьем подходе по сравнению с первым. Напротив, у стайеров во втором и третьем подходах суммарная электроактивность *GM* была существенно выше, чем в первом подходе ($p < 0.05$), а активность *TA* была ниже во 2 и 3 подходах. Следует отметить, что разнонаправленные изменения сум-

Таблица 1. Суммарная амплитуда ЭМГ мышц голени (мВ/с) при выполнении изометрических и концентрических сокращений спортсменами различных специализаций

Типы сокращения	Подходы	Мышцы	Группы		
			баскетболисты	спринтеры	стайеры
Изометрический	1	<i>GM</i>	273.0 ± 20.0	270.8 ± 12.6	276.4 ± 26.3
		<i>TA</i>	133.8 ± 22.1*, **	67.2 ± 15.6	52.0 ± 6.3
	2	<i>GM</i>	273.4 ± 22.8	263.5 ± 15.7	262.2 ± 26.6
		<i>TA</i>	140.8 ± 24.6*, **	64.3 ± 13.2	47.3 ± 6.3
	3	<i>GM</i>	263.3 ± 24.0	246.8 ± 15.5	272.1 ± 25.7
		<i>TA</i>	127.7 ± 19.8*, **	65.3 ± 13.9	52.1 ± 7.0
	<i>p</i> 1–2 <i>p</i> 1–3 <i>p</i> 2–3	<i>GM</i>	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05
			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05
			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05
	<i>p</i> 1–2 <i>p</i> 1–3 <i>p</i> 2–3	<i>TA</i>	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05
<i>p</i> > 0.05			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	
<i>p</i> > 0.05			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	
Концентрический	1	<i>GM</i>	247.2 ± 8.5*	324.4 ± 8.4***	254.4 ± 7.4
		<i>TA</i>	161.7 ± 6.5**	163.2 ± 5.9***	109.8 ± 7.7
	2	<i>GM</i>	242.8 ± 7.4*, **	314.1 ± 6.8	293.5 ± 8.4
		<i>TA</i>	162.6 ± 6.5**	148.7 ± 4.1***	80.0 ± 4.5
	3	<i>GM</i>	221.6 ± 5.7*, **	325.5 ± 7.0***	291.8 ± 9.0
		<i>TA</i>	148.2 ± 6.8**	158.3 ± 4.8***	88.7 ± 5.3
	<i>p</i> 1–2 <i>p</i> 1–3 <i>p</i> 2–3	<i>GM</i>	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.01
			<i>p</i> < 0.01	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.01
			<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05
	<i>p</i> 1–2 <i>p</i> 1–3 <i>p</i> 2–3	<i>TA</i>	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.01
<i>p</i> > 0.05			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.05	
<i>p</i> > 0.05			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	

Примечание: достоверность различий между соответствующими параметрами в каждом из трех подходов от его величины, зарегистрированной у представителей других специализаций: * – баскетболисты-спринтеры, ** – баскетболисты-стайеры, *** – спринтеры-стайеры. Полу жирным выделены достоверные различия между соответствующими параметрами от ее величины, зарегистрированной в разных подходах у представителей различных специализаций.

марной электрической активности *GM* у этих групп сопровождались у баскетболистов понижением амплитуды и частоты турнов, а у спринтеров – повышением величин этих показателей.

Изменения параметров ЭМГ в разные временные интервалы реализаций концентрических сокращений до произвольного отказа в каждом из трех подходов зависели от спортивной специализации сравниваемых групп. У баскетболистов суммарная амплитуда ЭМГ *GM* и *TA* была значительно ниже в конце работы в сравнении с началом (табл. 3). Снижение электроактивности этих мышц происходило, преимущественно, за счет существенного уменьшения частоты турнов, их средняя амплитуда изменялась мало. Так, во вто-

ром подходе частота турнов *GM* при завершении работы снизилась на 12.6% ($p < 0.05$), а амплитуда на 2.1%.

Суммарная амплитуда ЭМГ *GM* спринтеров в различные периоды работы в каждом подходе варьировала примерно в одинаковом диапазоне. Такая динамика сопровождалась повышением средней амплитуды турнов и достоверным снижением частоты турнов в конце работы в каждом подходе (рис. 1).

Суммарная электроактивность *TA* несущественно снижалась в конце работы. Амплитуда турнов *TA* также уменьшалась при завершении работы по сравнению с началом во всех подходах, но достоверных изменений не наблюдалось. Частота турнов в 1, 2 и 3 подходах в конце работы

Таблица 2. Суммарная амплитуда ЭМГ мышц голени (мВ/с) в различных подходах и периодах работы при удержании статического усилия спортсменами разных специализаций

Мышцы	Подходы	Период работы	Группы		
			баскетболисты	спринтеры	стайеры
GM	1	Начало	334.8 ± 37.5	289.6 ± 16.1	320.5 ± 55.4
		Середина	265.1 ± 33.2	270.8 ± 16.0	267.8 ± 42.6
		Окончание	219.1 ± 22.0*	252.0 ± 31.1	241.0 ± 39.1
	2	Начало	316.5 ± 49.1	265.2 ± 27.1	288.6 ± 55.6
		Середина	266.9 ± 37.1	263.8 ± 30.6	256.4 ± 46.2
		Окончание	236.9 ± 29.6	261.4 ± 30.5	241.6 ± 41.6
	3	Начало	307.5 ± 52.5	232.2 ± 17.7	293.9 ± 54.2
		Середина	258.3 ± 39.2	256.2 ± 27.0	262.5 ± 43.3
		Окончание	224.0 ± 29.7	252.0 ± 37.3	259.9 ± 42.4
TA	1	Начало	162.2 ± 46.6	80.9 ± 36.0	61.8 ± 10.7
		Середина	132.1 ± 38.0	65.8 ± 27.6	49.6 ± 11.6
		Окончание	107.3 ± 31.3	54.9 ± 20.4	44.7 ± 11.4
	2	Начало	159.7 ± 50.3	72.5 ± 28.4	51.7 ± 11.6
		Середина	140.6 ± 44.1	61.9 ± 22.5	47.0 ± 11.9
		Окончание	122.2 ± 37.3	58.6 ± 22.3	43.3 ± 10.7
	3	Начало	147.5 ± 39.4	69.4 ± 28.2	56.5 ± 13.8
		Середина	125.5 ± 34.3	66.8 ± 26.0	51.0 ± 12.2
		Окончание	110.0 ± 32.0	59.7 ± 23.5	48.9 ± 12.3

Примечание: * – достоверность различий между соответствующими параметрами в группах испытуемых, зарегистрированных нами в различные периоды работы в каждом из подходов по отношению к началу.

снижалась на 5.9; 12.1; 7.3%, соответственно, но различия были статистически значимы только во 2-м подходе.

У стайеров в первом подходе незначительно увеличилась суммарная амплитуда GM в середине периода работы, во втором и третьем подходах отмечалась тенденция к незначительному уменьшению при завершении работы. Средняя амплитуда турнов GM была несколько выше в середине работы, чем в другие периоды в каждом подходе ($p > 0.05$). Частота турнов достоверно снижалась в конце работы по сравнению с началом во 2-м и 3-м подходах на 8.8 и 8.6%, соответственно. Суммарная амплитуда TA в каждом подходе варьировала примерно в одном и том же диапазоне, колебания данного показателя составляли 0.5–4.1%

($p > 0.05$). При этом амплитуда и частота турнов TA статистически значимо не изменялись.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты собственных исследований показали, что особенности регуляции разных типов мышечного сокращения, проявляющиеся в соответствующих изменениях параметров электрической активности мышц, зависят от спортивной специализации испытуемых. У баскетболистов суммарная амплитуда ЭМГ исследуемых мышц при выполнении изометрических и концентрических сокращений до произвольного отказа в завершающий период работы снижалась по сравнению с начальным, в то время как у бегунов на ко-

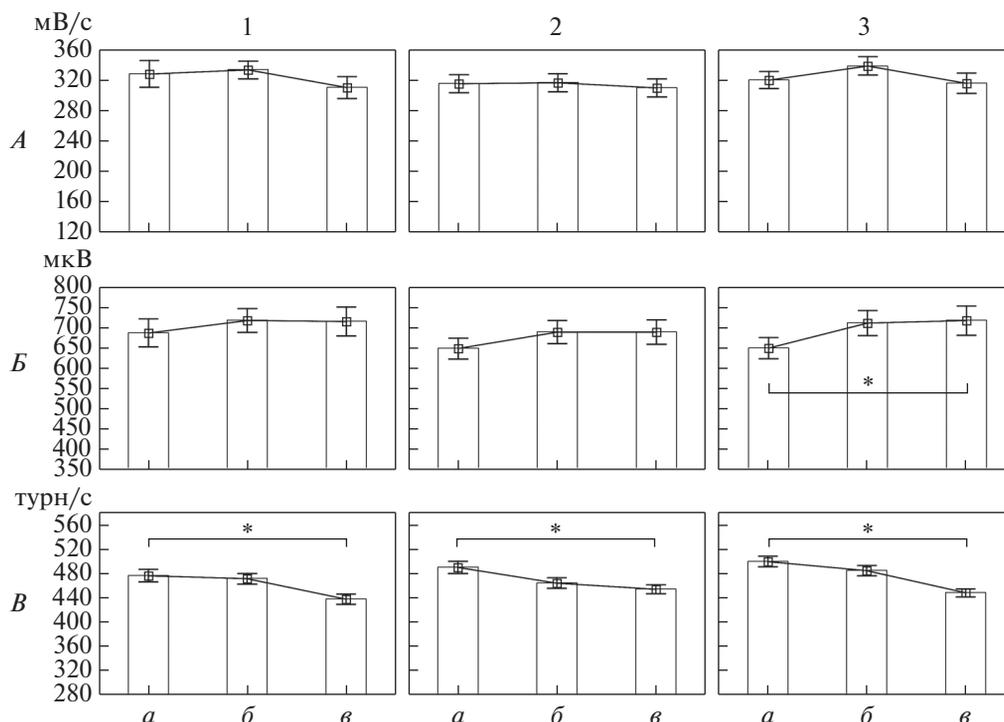


Рис. 1. Параметры ЭМГ *GM* спринтеров в различных подходах (1, 2, 3) и периодах работы (*a* – начало, *б* – середина, *в* – окончание).

A – суммарная амплитуда, *B* – средняя амплитуда, *B* – среднее число турнов. * – достоверность различий при $p < 0.05$.

роткие и длинные дистанции этот показатель варьировал примерно в одинаковом диапазоне на всем протяжении мышечной работы. Такая динамика сопровождалась определенными изменениями амплитуды и частоты турнов ЭМГ, свидетельствующими о различной организации электроактивности двигательных единиц в мышцах баскетболистов и бегунов. Полученные результаты могут быть объяснены с привлечением научных концепций, объясняющих механизмы координации движений. Одной из таких концепций является концепция моторных программ, которая возникла на базе результатов изучения нейрофизиологических механизмов двигательной деятельности человека и выявления некоторых общих закономерностей деятельности систем двигательного управления [9, 10]. Под моторными командами понимаются сигналы, вырабатываемые в ЦНС и активирующие мышцы, обеспечивающие выполнение двигательного действия. Можно предположить, что моторные команды вызывают перемещение опорно-двигательного аппарата либо опосредовано путем изменения порога стреч-рефлекса [11], либо прямой активацией скелетных мышц за счет рекрутирования соответствующих мотонейронных пулов [12].

Основными чертами центральных нейронных систем, отвечающих за формирование и реализацию моторных команд, принято считать следующие: наличие центрального генератора, способного самопроизвольно или в ответ на сигнал генерировать стереотипную картину активности; иерархичность их структурной организации, предусматривающая зависимость всех моторных элементов данной системы от небольшого числа элементов; относительная независимость параметров ответа от сенсорных сигналов, роль которых в разных системах существенно варьирует [9, 13]. Для решения поставленной двигательной задачи, моторная команда должна активировать нейроны соответствующих сегментов спинного мозга с определенной интенсивностью, последовательностью и в строго установленные моменты времени [10, 13]. Вопрос о локализации нейронных сетей в структурах мозга, где принимаются решения о начале произвольного движения, а, следовательно, и о реализации соответствующей моторной команды, на сегодняшний день остается еще малоизученным. Тем не менее, общепризнанно, что моторные команды, управляющие сокращением скелетных мышц, реализующих двигательные задачи различной координационной

Таблица 3. Суммарная амплитуда ЭМГ мышц голени (мВ/с) в различных подходах и периодах работы при выполнении концентрических сокращений спортсменами разных специализаций

Мышцы	Подходы	Период работы	Группы		
			баскетболисты	спринтеры	стайеры
GM	1	Начало	265.3 ± 16.5	328.5 ± 17.6	249.7 ± 13.4
		Середина	249.1 ± 14.3	333.5 ± 11.5	270.9 ± 13.3
		Окончание	227.6 ± 13*	310.5 ± 14.2	241.8 ± 11.8
	2	Начало	257.1 ± 14.4	315.4 ± 11.8	303.5 ± 16
		Середина	252.5 ± 12.8	316.8 ± 11.8	295.8 ± 14
		Окончание	218.8 ± 10.9*	310.1 ± 11.8	281.3 ± 13.5
	3	Начало	233.1 ± 10.5	320.4 ± 11.1	292.4 ± 16
		Середина	224.1 ± 9.5	339.2 ± 12	303.8 ± 16.3
		Окончание	206.4 ± 9.7	316.1 ± 13.3	278.5 ± 14.6
TA	1	Начало	181.2 ± 10.7	159.7 ± 11.2	108.6 ± 13
		Середина	167.8 ± 10.5	181.3 ± 8.8	110.5 ± 13.3
		Окончание	136.6 ± 11.9*	147.4 ± 10.3	110.3 ± 13.9
	2	Начало	185.4 ± 10.5	152.8 ± 5.7	78.8 ± 6.8
		Середина	168.9 ± 11.8	157.2 ± 6.7	79.1 ± 8.5
		Окончание	135.1 ± 10.6*	136.3 ± 8.2	82.1 ± 7.9
	3	Начало	174.6 ± 11.6	157.7 ± 7.5	86.4 ± 9.9
		Середина	147 ± 11.6*	163.7 ± 8.2	94 ± 9.5
		Окончание	122.9 ± 11.2*	153.2 ± 9.3	85.1 ± 8.1

Примечание: обозначения см. табл. 2.

сложности, вырабатываются в моторной коре. В работах с использованием методики регистрации активности отдельных нейронов моторной коры показано наличие различных популяций нейронов, кодирующих те или иные параметры двигательного действия [14]. Часть нейронов моторной коры была активна во время сгибания, а другая – во время разгибания. Частота разрядов нейронов пропорциональна усилию, с которым выполняется двигательное действие. Участие в сгибании или разгибании свойственно для кортикоспинальных нейронов, аксоны которых оканчиваются на спинальных α -мотонейронах [15]. Управление движением осуществляется посредством моторной программы в течение приблизительно первых 100 мс после момента инициации движения, а затем наступает сопоставление моторных программ и афферентных сигналов [16]. Если осуществляется медленное движение, то используется коррекционный механизм, предусматривающий внесение поправок в двигатель-

ное действие в ходе его непосредственной реализации.

В процессе адаптации к разнообразным тренировочным и соревновательным нагрузкам происходит накопление фонда моторных программ, способствующее расширению возможностей ЦНС спортсменов мгновенно создавать алгоритмы моторных актов, необходимых для успешного решения возникающих перед ними двигательных задач. Следует отметить, что формирование фонда моторных двигательных программ тесно связано со спецификой физических нагрузок, применяемых спортсменами сравниваемых групп. У баскетболистов такие программы формируются на базе нестандартной двигательной деятельности, предусматривающей передвижение с различной скоростью, сочетаемое с резким изменением направления движения и выполнением сложнокоординационных, точностных двигательных действий (технических приемов) в условиях меняющейся игровой ситуации. К тому же

игрок команды отслеживает, учитывает и прогнозирует действия не только соперников, но и своих партнеров, каждый из которых выполняет двигательные действия в рамках определенного амплуа. Разнонаправленность такой деятельности значительно затрудняет анализ ситуации, прогнозирование и реализацию игроком собственных действий. Напротив, у спринтеров и стайеров моторные программы создаются на базе повторного многократного выполнения циклов одних и тех же движений – беговых шагов. Все фазы движений в каждом его цикле воспроизводятся в стандартной последовательности. Граничный момент последней фазы цикла является началом последующего цикла. Относительная несложность стереотипных циклических движений, близких к естественным локомоциям, определяет меньшее участие ЦНС в таком виде двигательной деятельности, но при этом существенно изменяются вегетативные функции организма: кровообращение, внешнее дыхание и газообмен, биоэнергетика. Следовательно, в процессе адаптации к систематическим и длительным тренировкам у спортсменов исследуемых групп формируется фонд разнообразных моторных программ, но этот фонд специфичен для каждой группы спортсменов. Таким образом, специфика фонда сформированных моторных программ во многом и определяет координационную структуру выполняемых изометрических и концентрических сокращений, что находит отражение в соответствующих параметрах электрической активности мышц, обеспечивающих выполнение изучаемых двигательных действий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что регуляция изометрических и концентрических сокращений, отражающаяся в изменениях электрической активности мышц, зависит от спортивной специализации испытуемых. У баскетболистов, адаптированных к нестандартной двигательной деятельности, при выполнении изометрических и концентрических сокращений до отказа в завершающий период работы наблюдается снижение суммарной электрической активности исследуемых мышц в сравнении с начальным периодом. У бегунов, мышечная деятельность которых носит стереотипный характер, суммарная электроактивность остается практически неизменной на протяжении всей работы. Такие изменения свидетельствуют о различной организации активности двигательных единиц при выполнении изометрических и концентрических сокращений спортсменами, адаптированными к стереотипной или ситуационной мышечной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фарфель В.С.* Управление движениями в спорте. М.: Советский спорт, 2011. 202 с.
2. *Платонов В.Н.* Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте: общая теория и ее практические приложения. Киев: Олимпийская литература, 2015. Кн. 2. 752 с.
3. *Monda V., Valenzano A., Moscatelli F. et al.* Primary Motor Cortex Excitability in Karate Athletes: A Transcranial Magnetic Stimulation Study // *Front Physiol.* 2017. V. 8. P. 695.
4. *Виру А.А.* Гормональные механизмы адаптации и тренировки. Л.: Наука, 1981. 155 с.
5. *Volkov N.I.* Bioenergetics of Sport Activities. М.: ТРФКС, 2010. 141 p.
6. *Андриянова Е.Ю., Ланская О.В.* Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности // *Физиология человека.* 2014. Т. 40. № 3. С. 73.
7. *Ланская О.В., Ланская Е.В.* Особенности вызванных ответов скелетных мышц у представителей различных видов спорта при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы // *Наука и спорт: современные тенденции.* 2017. Т. 16. № 3. С. 39.
8. *Зенков Л.Р., Ронкин М.А.* Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2014. 488 с.
9. *Козловская И.Б.* Аfferентный контроль произвольных движений. М.: Наука, 1976. 295 с.
10. *Latash M.L., Zatsiorsky V.M.* Biomechanics and motor control: defining central concepts. NY.: Academic Press, 2016. 401 p.
11. *Фельдман А.Г.* Центральные и рефлекторные механизмы управления движениями. М.: Наука, 1979. 184 с.
12. *Николас Дж., Мартин Р., Валлас Б., Фукс П.* От нейрона к мозгу. Пер. с англ. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 672 с.
13. *Городничев Р.М., Шляхтов В.Н.* Физиология силы: монография. М.: Спорт, 2016. 232 с.
14. *Evarts E.V.* Representation of movement and muscle by pyramidal tract neurons of the precentral motor cortex // *Neurophysiological basis of normal and abnormal motor activities.* NY.: Raven Press, 1967. P. 215.
15. *Seki K., Perlmutter S.I., Fetz E.E.* Task-dependent modulation of primary afferent depolarization in cervical spinal cord of monkeys performing an instructed delay task // *J. Neurophysiol.* 2009. V. 102. № 1. P. 85.
16. *Shadmehr R., Smith M.A., Krakauer J.W.* Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control // *Annu. Rev. Neurosci.* 2010. V. 33. P. 89.

Different Types of Muscle Contraction Regulation in Athletes Adapted to Situational and Stereotyped Motor Activity

M. N. Popovskaya^a, S. A. Moiseev^{a, *}, S. M. Ivanov^a, and R. M. Gorodnichev^a

^a*Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sport, Velikie Luki, Russia*

**E-mail: sergey_moiseev@vlgafo.ru*

We studied the regulation of isometric and concentric muscle contractions in athletes adapted to stereotypical and situational motor activity. It was found that the total EMG amplitude of the studied muscles in basketball players during isometric and concentric contractions to the moment of voluntary failure in the terminal period of contractions was decreasing as compared with the baseline values, while the EMG amplitude in short- and long-distance runners was more stable throughout the whole contraction period. Such EMG dynamics was accompanied by certain changes in the amplitude and frequency of EMG turns. Thus, the muscle systems of basketball players and runners have different types of EMG-activity organization. The coordination structure of performed isometric and concentric contractions is probably determined by the specifics of the motor programs set, formed in athletes during adaptation to different types of training.

Keywords: electromyography, isometric and concentric muscle contraction types, adaptation, stereotype and situational motor activity.