

УДК 612.741:796.012

РЕГУЛЯЦИЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКОГО МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ У СПОРТСМЕНОВ, АДАПТИРОВАННЫХ К ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАЗНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

М.Н. Поповская, С.А. Моисеев, И.И. Таран, А.М. Пухов, Р.М. Городничев

ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», Великие Луки, Россия
Для связи с авторами: e-mail: gorodnichev@vlgafc.ru

Аннотация:

В работах по изучению механизмов и закономерностей адаптации организма человека к двигательной деятельности разного характера описаны изменения конкретных параметров, характеризующих состояние определенных функциональных систем организма спортсменов. Однако остаются малоизученными вопросы, связанные с изменением координационной структуры многократно повторяемых двигательных действий у лиц, специализирующихся в определенном виде спорта.

Цель исследования заключалась в изучении механизмов регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений у спортсменов, адаптированных к мышечной работе разной направленности. В эксперименте приняли участие 3 группы спортсменов в возрасте от 18 до 24 лет: 8 баскетболистов, 8 спринтеров, 8 стайеров, спортивной квалификации от 1-го разряда до КМС. Испытуемые многократно выполняли мышечное сокращение концентрического типа (подошвенное сгибание стопы) до произвольного отказа. Концентрическое сокращение осуществлялось с усилием в 90% от индивидуального максимума с заданным темпом и амплитудой в трех подходах. Регистрировались амплитуда и частота турнов электрической активности *m. gastrocnemius* и *m. tibialis anterior*. Наиболее высокая амплитуда ЭМГ *m. gastrocnemius*, регистрируемая в течение всего периода работы до отказа в каждом из трех подходов, наблюдалась у спринтеров и составила 627,4 мкВ. Выявленные особенности регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений у спортсменов трех групп связаны со спецификой их тренировочной и соревновательной деятельности. Адаптация к специфичным тренировочным и соревновательным нагрузкам приводит к изменениям механизмов регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений, что проявляется в модификации моторной команды, используемой спортсменами в их реализации. Установлено, что у спринтеров в конце периода работы в каждом из подходов наблюдается увеличение электрической активности *m. gastrocnemius*, что, вероятно, отражает реализацию моторной команды, предусматривающей активацию высокопороговых быстрых двигательных единиц.

Ключевые слова: концентрическое сокращение, электрическая активность, моторная команда, регуляция, спринтеры, стайеры, баскетболисты.

CONCENTRIC MUSCLE CONTRACTION REGULATION IN ATHLETES, ADAPTED TO VARIOUS TYPES OF MOTOR ACTIVITY.

M.N. Popovskaya, S.A. Moiseev, I.I. Taran, A.M. Pukhov, R.M. Gorodnichev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sport», Velikiye Luki, Russia

Abstract:

All the previous studies on mechanisms and patterns of the human body adaptation to different types of motor activities describe evolution of specific parameters characterizing the state of certain functional systems of athletes' body. However, there is a lack of studies focused on variation of the coordination structure of repetitive motor actions in athletes practicing favored sports.

The research purpose was to study the regulation mechanisms of repetitive concentric muscle contractions in athletes adapted to the different types of muscle activity. Three groups of athletes aged 18 - 24 years took part in our research: 8 basketball players, 8 sprinters and 8 stayers with high sport qualification. The test group performed concentric muscle contractions (plantar flexion of foot) to failure. The concentric muscle contraction was carried out in three sets with determined period and amplitude with 90% of the individual maximum effort. The amplitude and frequency of the turns of the electrical muscle activity (EMG) of *m. gastrocnemius*

and m. tibialis anterior was registered. Sprinter athletes showed the highest average EMG amplitude of m. gastrocnemius registered throughout the 3 sets period of training to failure, which was equal to 627,4 μ V. Revealed regulation features of repetitive concentric muscle contractions in athletes of all three groups are related to the specifics of their training and competitive activities. Adaptation to specific training and competitive loads leads to the evolution of regulation mechanisms of repetitive concentric muscle contractions, which is reflected in the modification of motor commands used by athletes for its implementation. It was found that electrical activity of m. gastrocnemius of sprinters increases at the end of the each set. This fact probably reflects the implementation of motor command providing for activation of high-threshold rapid motor units.

Keywords: Concentric contraction, electrical activity, motor command, regulation, sprinters, stayers, basketball players.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование механизмов и закономерностей адаптации организма человека к двигательной деятельности разного характера является одной из важнейших проблем современной физиологии [1, 2, 3]. Адаптация к мышечной деятельности рассматривается как сложный процесс, происходящий на различных уровнях организации человеческого организма [1, 4, 5]. Динамика конкретных физиологических и биохимических процессов, лежащих в основе приспособления организма спортсменов к мышечной деятельности различного характера, описана во многих публикациях. В литературе имеются сведения о гормональных перестройках в процессе приспособления к мышечным нагрузкам [6], об изменениях биоэнергетических параметров при циклической работе в разных зонах мощности [7], функциональной пластичности моторной системы у представителей различных видов спорта [8, 9]. Вместе с тем следует отметить, что во всех этих работах говорится об изменениях конкретных параметров, характеризующих состояние определенных функциональных систем организма спортсменов. Остаются недостаточно изученными вопросы, связанные с изменением координационной структуры многократно повторяемых двигательных действий у лиц, специализирующихся в определенном виде спорта. Поэтому цель нашего исследования заключалась в изучении механизмов регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений у спортсменов, адаптированных к мышечной работе разной направленности.

МАТЕРИАЛЫ

И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В эксперименте приняли участие 3 группы спортсменов в возрасте от 18 до 24 лет:

8 баскетболистов, 8 спринтеров (бегунов на короткие дистанции), 8 стайеров (бегунов на длинные дистанции). Длина тела и масса тела в среднем по группе составляли: у баскетболистов – 185,5 \pm 1,8 см и 81,5 \pm 2,1 кг, у спринтеров – 182,0 \pm 1,2 см и 77,4 \pm 1,9 кг, у стайеров – 181,2 \pm 2,5 см и 76,8 \pm 2,3 кг соответственно. Спортсмены в период исследования имели спортивную квалификацию 1-й разряд, КМС. Все испытуемые дали письменное информированное согласие на участие в исследованиях в соответствии с Хельсинской декларацией и нормами международного права.

Испытуемые многократно выполняли мышечное сокращение концентрического типа (подшвенное сгибание стопы) до произвольного отказа, располагаясь в положении сидя на мультисуставном лечебно-диагностическом комплексе «Biodex Multi-Joint System Pro-3» (USA). Угол в коленном суставе составлял 90°, голова находилась на подлокотнике кресла, руки скрещены на животе, коленный сустав фиксировался, стопа опиралась на платформу комплекса.

Многократное концентрическое сокращение осуществлялось с усилием в 90% от индивидуального максимума произвольного сокращения (МПС). Перемещение в голеностопном суставе равнялось 30 градусам. Темп работы задавался метрономом и составлял одно движение в секунду.

Испытуемые делали 3 подхода, в каждом из которых выполняли работу до отказа. Отдых между подходами продолжался 5 минут. Определялось количество реализаций в каждом подходе, а во время выполнения концентрических сокращений непрерывно регистрировались амплитуда и частота турнов электрической активности (ЭМГ) m.

gastrocnemius и *m. tibialis anterior*. За турн ЭМГ принималась величина колебаний 100 мкВ и более. ЭМГ мышц голени регистрировали поверхностными накожными электродами по традиционной методике при помощи 8-канального электронейромиографа «Нейро-МВП-8» [10].

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе Microsoft Excel 2007 и Statistica 10. Достоверность различий определяли с помощью One way ANOVA с post-hoc анализом Fisher.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что в среднем по группе величина максимального произвольного сокращения была больше у баскетболистов – $195,4 \pm 9,5$ Н•м. У спринтеров и стайеров величина МПС практически не отличалась – $162,8 \pm 11,1$ и $161,0 \pm 11,9$ Н•м, соответственно, но была несколько ниже в сравнении с таковой у баскетболистов. Межгрупповые различия у представителей 3 видов спорта не достигали статистически значимого уровня.

Достоверных различий в количестве кон-

центрических сокращений в каждом из трех подходов между группами, специализирующимися в различных видах спорта, также не отмечалось. Спринтеры выполняли несколько больше реализаций – 33,2, баскетболисты – 30,3, стайеры – 30,2.

У испытуемых всех трех групп при выполнении многократно повторяемых концентрических сокращений наблюдалась реципрокно организованная электрическая активность исследуемых мышц (рисунок 1).

Наиболее высокая амплитуда ЭМГ *m. gastrocnemius*, регистрируемая в течение всего периода работы до отказа в каждом из трех подходов, наблюдалась у спринтеров. Так, в первом подходе она составила у них 627,4 мкВ, у баскетболистов – 550,3 мкВ, у стайеров – 557,5 мкВ.

В таблице 1 представлены данные, отражающие изменения электрической активности рабочих мышц в различные периоды выполнения концентрических мышечных сокращений до отказа в каждом из трех подходов у спортсменов, адаптированных к мышечной деятельности различного характера. Средняя амплитуда *m. gastrocnemius* при многократном сгибании стопы у баскетболистов

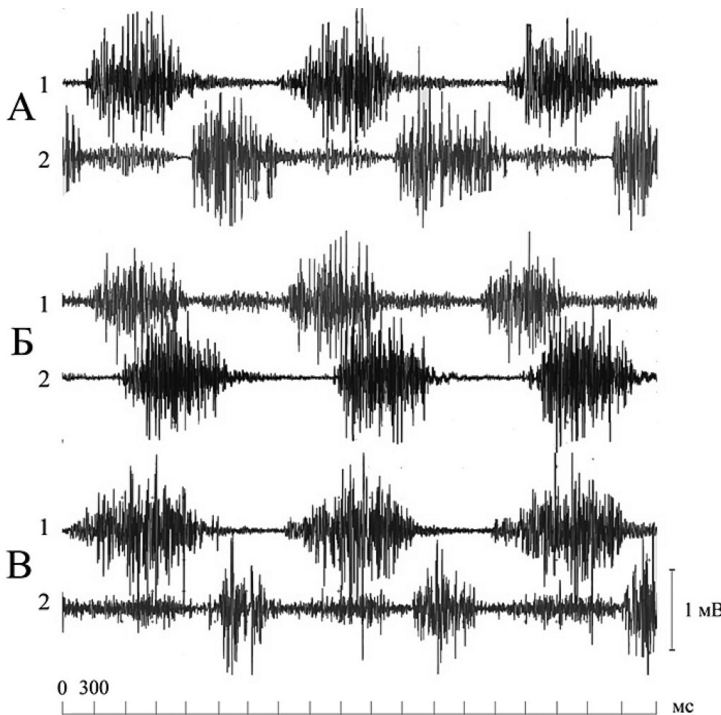


Рисунок 1 – Образцы электромиограмм скелетных мышц при выполнении концентрических сокращений у представителей разных видов спорта. 1 – *gastrocnemius medialis*, 2 – *tibialis anterior*; А – баскетболисты, Б – спринтеры, В – стайеры

в разные периоды работы достоверно не отличалась, а лишь проявляла тенденцию к незначительному увеличению к середине и некоторому снижению в конце периода в первом и втором подходах. Вместе с тем у баскетболистов во всех трех подходах наблюдалось достоверное снижение электрической активности *m. tibialis anterior* в конце работы до отказа.

У спринтеров средняя амплитуда *m.gastrocnemius* повышалась во всех трех попытках от начала к окончанию работы. При этом следует отметить, что в третьей попытке наблюдалось достоверное увеличение средней амплитуды в конце работы на 53,6 мкВ ($p < 0,05$). Следует также отметить, что средняя амплитуда *m. tibialis anterior* несущественно повышалась в середине и снижалась при окончании работы. При этом выявлено достоверное увеличение средней амплитуды в середине периода работы в сравнении с началом на 31,9 мкВ.

Анализ данных третьей группы испытуемых (стайеры) позволил выявить, что во всех подходах электроактивность *m. gastrocnemius* проявляла тенденцию к повышению в середине и в конце периода работы в сравнении с ее величиной в начале периода ($p > 0,05$). Средняя амплитуда *m. tibialis anterior* в первой попытке практически не изменялась, во второй попытке наблюдалось незначительное увеличение амплитуды в середине и в конце периода работы.

На наш взгляд, выявленные особенности регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений у спортсменов трех

групп связаны со спецификой их тренировочной и соревновательной деятельности. Баскетболисты адаптированы к перемещению по спортивной площадке с резким изменением направления движений и мощности работы, сочетаемому с выполнением сложнокоординационных двигательных действий (технических приемов), обусловленных возникающей игровой ситуацией. Для бегунов на короткие и длинные дистанции характерно непрерывное выполнение стереотипных циклов одних и тех же движений, характеризующихся относительно простой координационной структурой. Известно, что рабочие мышцы спринтеров проявляют во время бега более значительные по величине и скорости усилия в сравнении с таковыми стайеров и баскетболистов [10]. В связи с этим повышение амплитуды электрической активности *m. gastrocnemius* у спринтеров при окончании периода работы в отличие от представителей других групп может быть связано с управляющей стратегией, используемой ЦНС спринтеров для активации соответствующего пула двигательных единиц, осуществляющих подошвенное сгибание стопы. Вероятно, их моторная программа, реализуемая при завершении периода работы, предусматривает активацию высокопороговых двигательных единиц, характеризующихся значительной силой, высокой скоростью сокращения, а также высокой частотой импульсации. Эти характеристики и приводят к повышению электрической активности *m. gastrocnemius* в конце работы до произвольного отказа.

Таблица 1 – Средняя амплитуда ЭМГ (мкВ) исследуемых мышц при выполнении многократных концентрических сокращений (M±m)

Испытуемые	Подходы	Gastrocnemius medialis			Tibialis anterior		
		Начало	Середина	Окончание	Начало	Середина	Окончание
Баскетболисты	1	641,6±77,9	648±74,0	631,1±73,5	573,0±54,8	536,7±63,6	447,1±72,9*
	2	628,3±68,8	636,4±66,03	613,4±64,8	526,2±44,0	526,4±60,1	475,7±62,1*
	3	597,7±68,7	597,2±57,5	606,4±62,4	514,5±49,3	463,4±63,9*	454,7±66,5*
Спринтеры	1	728,3±136,5	752,4±120,2	754,04±136,3	449,5±48,1	481,4±51,4*	430,4±60,5
	2	668,05±97,6	709,9±116,5	716,6±122,4	426,8±22,1	434,5±35,6	413,5±43,2
	3	663,7±95,4	684,7±118,5	717,3±133,1*	421,4±28,8	463,8±31,5	424,2±43,2
Стайеры	1	625,6±43,9	660,36±46,3	635,5±36,7	349,8±82,2	335,9±79,2	338,1±81,5
	2	673,5±58,6	690,3±49,1	686,4±45,9	316,3±46,2	333,2±60,5	328,7±51,8
	3	634,3±46,7	675,1±50,4	674,8±45,9	322,5±58,9	333,8±56,8	319,3±44,1

Примечание: * – достоверность различий при $P < 0,05$

У баскетболистов в конце работы (до отката) наблюдалось достоверное снижение электрической активности *tibialis anterior*, хотя у испытуемых других групп электроактивность данной мышцы практически не изменялась. Возможно, такая модификация моторной команды, предусматривающей изменение реципрокных взаимоотношений мышц-антагонистов, является отражением более высокой способности баскетболистов модифицировать сформированные ранее нейрональные связи в сравнении со спринтерами и стайерами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солодков, А. С. Адаптация в спорте: состояние, проблемы, перспективы / А. С. Солодков // Физиология человека. – 2000. – Т. 26. – №6. – С. 87-93.
2. Павлов, С. Е. Адаптация / С. Е. Павлов. – М.: Парус, – 2000. – 282 с.
3. Андриянова, Е. Ю. Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности / Е. Ю. Андриянова, О. В. Ланская // Физиология человека. – 2014. – Т. 40. – № 3. – С. 73- 85.
4. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте / В. Н. Платонов. – Киев: Олимпийская литература. – Кн.1. – 2015. – 680 с.
5. Casamento-Moran A. Motor plan differs for young and older adults during similar movements / A. Casamento-Moran, Y. T. Chen, N. Lodha, B. Yacoubi, E.A. Christou // J Neurophysiol. – 2017. – 117(4). – P. 1483-1488.

LIST OF REFERENCES

1. Solodkov A. S. Adaptation in sport: status, problems, prospects. Human physiology. - 2000, -Vol. 26, № 6, P. 87-93.
2. Pavlov S. E. Adaptation. - M.: Parus, - 2000. – 282 p.
3. Andriyanova E. Y. Mechanisms of motor plasticity of the spinal nerves in the framework of long-term adaptation to sports activity / E. Y. Andriyanova, O. V. Lanskaya // Human Physiology. - 2014. - Vol. 40, No. 3. - P. 73 - 85.
4. Platonov V. N. The system of athletes training in Olympic sport. - Kiev. - Olympic literature, Book 1. - 2015. - 680 p.
5. Casamento-Moran A. Motor plan differences for young and older adults during similar movements / A. Casamento-Moran, Y. T. Chen, N. Lodha, B. Yacoubi, E. A. Christou // J Neurophysiol. - 2017. - 117 (4). - P. 1483-1488.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Адаптация к специфичным тренировочным и соревновательным нагрузкам приводит к изменениям механизмов регуляции многократно повторяемых концентрических сокращений. Это проявляется в модификации моторной команды, используемой спортсменами в их реализации. У спринтеров в конце периода работы в каждом из подходов наблюдается увеличение электрической активности *m. gastrocnemius*, что, вероятно, отражает реализацию моторной команды, предусматривающей активацию высокопороговых быстрых двигательных единиц.

6. Виру, А. А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки / А. А. Виру. – Л.: Наука, 1981. – 155 с.
7. Volkov, N. I. Bioenergetics of Sport Activities / N. I. Volkov. – Moscow, TPFS. – 2010. – 141 p.
8. Ланская, О. В. Особенности вызванных ответов скелетных мышц у представителей различных видов спорта при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы / О. В. Ланская, Е. В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – Т.16. – № 3. – С. 39-46.
9. Monda V. Primary Motor Cortex Excitability in Karate Athletes: A Transcranial Magnetic Stimulation Study / V. Monda, A. Valenzano, F. Moscatelli et al. // Primary Motor Cortex Excitability in Karate Athletes: A Transcranial Magnetic Stimulation Study. Front Physiol. – 2017. – Sep. 12;8. – P. 695.
10. Городничев, Р. М. Физиология силы / Р. М. Городничев, В. Н. Шляхтов. – М.: Спорт. – 2016. – 232 с.
6. Viru A. A. Hormonal mechanisms of adaptation and training / A. A. Viru. - L.: Nauka, 1981. - 155 p.
7. Volkov N. I. Bioenergetics of Sports Activities. - Moscow, TPFS. - 2010. - 141 p.
8. Lanskaya O. V. Features of the motor evoked potentials recorded from skeletal muscles under magnetic and electric stimulation of the central and peripheral structures of nervous system in various sports / O. V. Lanskaya, E. V. Lanskaya // Science and sport: Modern tendencies. - 2017. - Vol. 16, No. 3. - P. 39-46.
9. Monda V. Primary Motor Cortex Excitability in Karate Athletes: a Transcranial Magnetic Stimulation Study / V. Monda, A. Valenzano, F. Moscatelli et al. // Primary Motor Cortex Excitability in Karate Athletes: a Transcranial Magnetic Stimulation Study. Front Physiol. - 2017. - Sep 12; 8. - 695 p.
10. Gorodnichev R. M. The force physiology / R. M. Gorodnichev, V. N. Shlyakhtov. - Moscow: Sport, - 2016. - 232 p.