

ПОКАЗАТЕЛИ УТОМЛЕНИЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОЙ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ У СПОРТСМЕНОВ 17–22 ЛЕТ

Т.В. Попова¹, Ю.И. Корюкалов², Ю.Б. Кораблева¹

¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
Институт спорта, туризма и сервиса, г. Челябинск;

² ООО «Нейротехнологии», Челябинск

Аннотация. Цель настоящего исследования состояла в изучении функциональных особенностей двигательного аппарата мышц рук при локальной работе до утомления у спортсменов ациклических видов спорта. Материал и методы. Испытуемыми являлись студенты университета, занимающиеся ациклическими видами спорта, в которых большая нагрузка приходится на мышцы конечностей, пресса и спины. Контрольную группу составили студенты того же возраста и пола, не занимающиеся спортом. В качестве локальной нагрузки испытуемые выполняли работу по подъему на пальцевом эргографе среднего груза до утомления или удержание на эргографе или на кистевом динамометре груза в 1/3 от максимального на заданном уровне. Во время нагрузки регистрировали электроэнцефалограмму и рассчитывали показатели работоспособности. Результаты исследования показали, что работоспособность мышц рук у спортсменов была выше, чем у нетренированных. Выявлены также различия в организации утомления на ЭЭГ, особенно в области медленноволновой активности тета- и альфа-волн. Сделано заключение о возможности применения тестов с локальной нагрузкой для оценки общей тренированности организма.

Ключевые слова: спортсмены, локальные нагрузки, утомление, электроэнцефалограмма.

FATIGUE SYMPTOMS UNDER LOCAL EXERCISE IN ATHLETES AGED 17–22 YEARS

T.V. Popova¹, Yu.I. Koryukalov², Yu.B. Korableva¹

¹ FSAEI HE "South Ural State University (National Research University)", Institute of sports, tourism and service, Chelyabinsk;

² LLC "Neurotechnology", Chelyabinsk

Abstract. The paper aims to identify functional features of hand muscles under local exercise to fatigue in acyclic sports. Materials and methods. University students from acyclic sports, where the largest load is distributed between the extremities, abdominal and back muscles, participated in the experiment. The control group involved non-athletes of the same age and gender. The subjects were tested on a finger ergograph or hand dynamometer (lifting an average weight to fatigue or holding a weight of 1/3 of submaximal at a given height). EEG data were recorded and work capacity was calculated under exercise. The results of the study showed that hand performance in athletes was higher than that of non-athletes. EEG differences were found in terms of fatigue symptoms, especially in slow-wave theta and alpha activity. The conclusion was drawn on the use of local exercise for a comprehensive assessment of physical fitness.

Keywords: athletes, local loads, fatigue, electroencephalogram.

В научной литературе признается мнение о преимуществе центральных механизмов утомления при работе малых мышечных групп [10, 12]; публикуются также доказательства роли гуморальных сдвигов в развитии утомления при работе различных групп мышц [7, 6, 15].

Механизмы утомления как на центральном, так и периферическом уровне до сих пор привлекают интерес и являются предметом дискуссии в физиологии. Так, выявлены особенности биоэлектрической активности мышц и головного мозга у спортсменов [2, 6]. Автор [16] показал морфофункциональные различия мышц у нетренированных лиц и подвергающихся физическим нагрузкам.

Многие авторы отмечают, что сосредоточение и переживание осуществляемой мышечной работы

ускоряют ощущение усталости и развитие утомления [17], а кратковременное умственное напряжение инициирует реакции торможения, снижая последующие показатели выносливости и ускоряя утомление [18, 19]. Исследование [13] предоставило прямые нейрофизиологические доказательства того, что формирование заданного усилия преимущественно зависит от центральных моторных команд.

Вопрос же об изменениях функциональных свойств разных мышц у лиц, регулярно испытывающих действие общих физических нагрузок на определенные мышечные группы, остается малоизученным. Результаты таких исследований имеют значение для поиска эффективных средств управления процессами утомления и влияния на спортивные результаты.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В изучении функциональных особенностей двигательного аппарата мышц рук при локальной работе до утомления у спортсменов ациклических видов спорта.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемыми являлись 26 студентов университета в возрасте от 17 до 23 лет, занимающихся ациклическими видами спорта (рукопашный бой, бокс, кикбоксинг; от I разряда до мс). В этих видах спорта большая нагрузка приходится на мышцы конечностей, пресса и спины. Контрольную группу (30 человек) составили студенты того же возраста и пола, не занимающиеся спортом.

В качестве локальной динамической нагрузки испытуемые выполняли работу по подъему на пальцевом эргографе груза в 1/3 от «среднего» (по Weber) в темпе 60 движений в мин; в качестве локальных статических усилий испытуемые удерживали на эргографе или на кистевом динамометре груз в 1/3 от максимального на заданном уровне до появления утомления (невозможность удержания заданного усилия). Эти условия обеспечивают среднюю интенсивность нагрузки для всех возрастных групп [1]. При динамической работе учитывали объем работы в кгм, выносливость (время работы до утомления) и время появления ощущения усталости. Статическая выносливость (СВ) определялась продолжительностью удержания груза (усилия) на одном уровне, в с.

При статистической обработке результатов применяли параметрический анализ расчета доверительных интервалов с использованием 95%-й доверительной вероятности и критерия t-Стюдента [12].

При помощи прибора «Нейрон-Спектр» осуществляли многоканальную регистрацию ЭЭГ с 8-чашечных электродов, соединенных с ушными электродами и локализованных в соответствии с системой 10–20. Шаг по частоте составлял 0,25 Гц, производили отбор эпох

по 2,5 с. Электроэнцефалография включала периодометрический, когерентный, корреляционный (на основе авто- и кросс-корреляционной функции) и спектральный анализ.

Для выявления межуровневых различий спектра мощности ЭЭГ применялся непараметрический критерий Уилкоксона для зависимых выборок.

Исследование проводилось на основе добровольного информированного согласия в соответствии с протоколом, утвержденным Комитетом по этике Российской академии наук.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

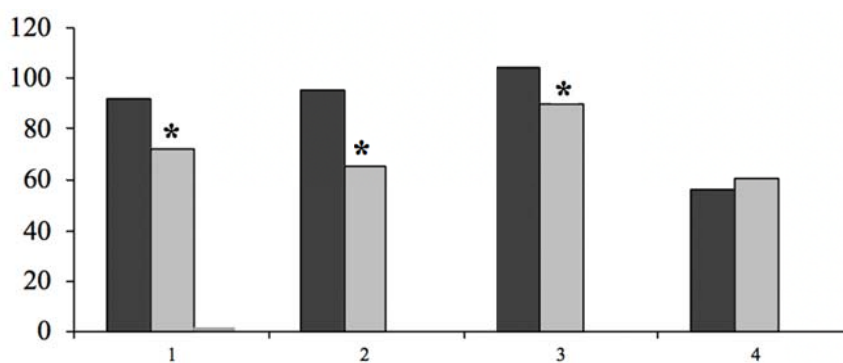
Результаты показали, что общая спортивная тренировка, начиная со второго года спортивного стажа, приводит к повышению показателей работоспособности интактных групп мышц. Например, статическая выносливость кисти и объем работы на эргографе Моссо у студентов университета, занимающихся спортом, были больше, чем у нетренированных испытуемых (табл., рис. 1).

Эти данные свидетельствуют, что показатели работоспособности малых групп мышц можно использовать в качестве одного из критериев тренированности двигательного аппарата у лиц разного возраста.

Показатели статической выносливости кисти у студентов

Группы	Статическая выносливость кисти, с
Юноши-спортсмены	50,54 ± 5,01
Девушки-спортсмены	46,42 ± 3,05
Юноши нетренированные	44,25 ± 2,03*
Девушки нетренированные	45,35 ± 6,30*

*Достоверные различия между спортсменами и нетренированными испытуемыми при $p < 0,05$.



*Достоверные различия между группами

Рис. 1. Показатели работоспособности при динамической работе: черный цвет – спортсмены, серый цвет – нетренированные; 1 – мощность (кгс·м/с 100), 2 – количество работы (кг м 10), 3 – выносливость (с), 4 – появление усталости (с)

Анализ биоэлектрической активности мозга также выявил определенные различия у спортсменов и испытуемых контрольных групп. Для спортсменов (рис. 2), в отличие от нетренированных, в фоновой записи с открытыми глазами свойственно наличие альфа-волн, характеризующихся значительным индексом в перед-

них отделах полушарий; ЭЭГ-показатели локальной работы характеризовались незначительными изменениями альфа- и тета-волн. Напротив, у нетренированных при локальной работе (ЛН) отмечено повышение индекса бета-волн и рост индекса тета-волн при развитии усталости (рис. 3).

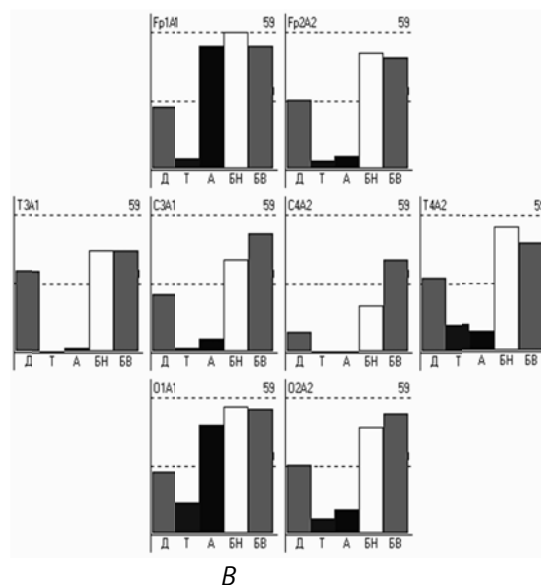
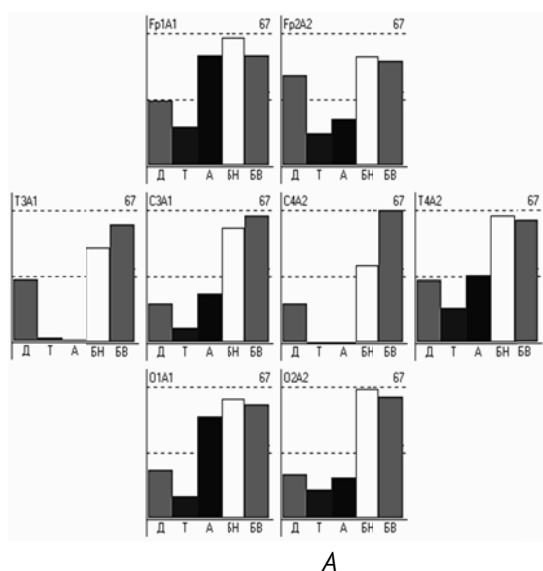


Рис. 2. Показатели ЭЭГ у спортсменов при ЛН (периодометрия, индекс ритма, %):
А – фоновая запись до ЛН, В – проба с ЛН (время ЛН – 1 мин 55 с)

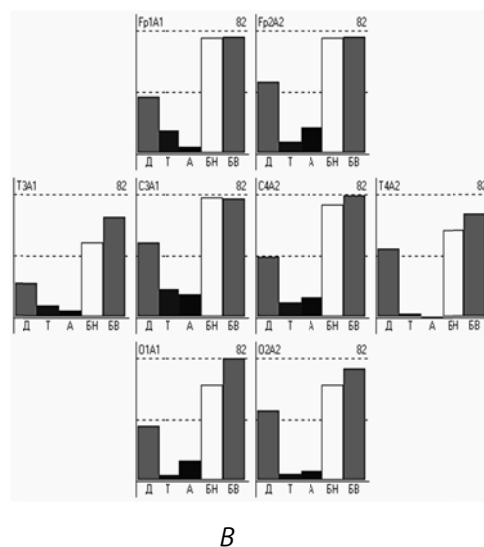
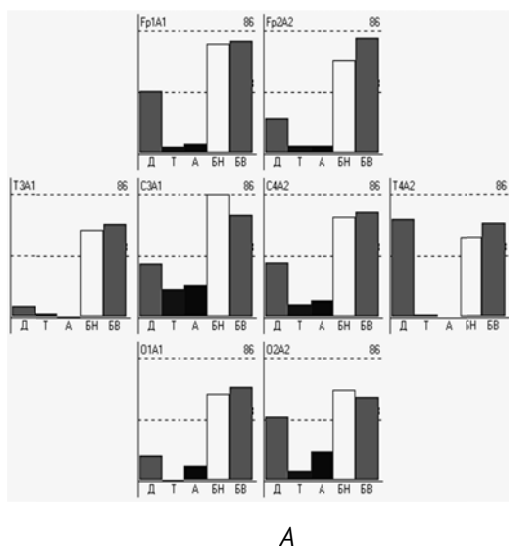


Рис. 3. Показатели ЭЭГ у нетренированных при ЛН (периодометрия, индекс ритма, %):
А – фоновая запись до ЛН, В – проба с ЛН (время ЛН – 55 с)

Наши результаты свидетельствуют, что при локальной работе отмечается повышение спектральной мощности медленных альфа- и тета-волн, а при развитии утомления наблюдается их депрессия и увеличение частоты биотоков. У спортсменов эти изменения

развиваются медленней, чем у нетренированных; а после нагрузки у них происходит быстрое восстановление нейродинамических показателей, что обусловлено повышением функционального уровня двигательного аппарата.

Судя по результатам исследования, показатели работоспособности малых групп мышц можно использовать в качестве одного из критериев тренированности двигательного аппарата у лиц разного возраста. Особенно удобным в этом отношении является показатель статической выносливости мышц, который можно измерить при помощи динамометра. Автор [5] объясняет изменения функциональных свойств активных и интактных мышц при физических тренировках появлением адаптационных изменений, возникающих в ответ на нагрузку.

Можно предположить, что первичные реакции в коре больших полушарий сопровождаются изменениями афферентных сигналов из ретикулярной формации и гипоталамуса [9], что приводит к усилению тормозного процесса в коре (лобные и центральные отделы) и отказу от работы. Доминирование альфа-и тета-волн в передних отделах полушарий при локальной работе соответствует теории возвратного торможения в цепи нейронов коры, протекающего с участием дизэнцефальных структур [2].

Авторы [8] показали, что при утомлении увеличивается медленноволновая активность в области тета-и альфа-волн. Предполагается, что при утомлении мозг замедляет деятельность, а попытки сохранять оптимальный уровень функций приводят к увеличению бета-волн. Представляют интерес данные, что умственная или психическая усталость снижает показатели скорости и выносливости при беге [21]. Выявлено также нарушение в координации работы мышц синергистов и антагонистов в развитии утомления [20].

Таким образом, данные, полученные в работе, свидетельствуют, что функциональные изменения различных мышц при общих физических нагрузках могут быть связаны с центральными механизмами, организующими адаптивные реакции и в нейромышечном аппарате.

Однако по нашему мнению и мнению многих авторов [14], необходимы дальнейшие детальные исследования в области физиологии механизмов утомления при разных типах нагрузок на мышцы, что особенно актуально для физиологии труда и спорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в работе данные свидетельствуют, что показатели работоспособности и электрической активности мозга при нагрузке у отдельных малых групп мышц могут служить одним из критериев общей тренированности организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферова Т.В. Возрастные особенности реакции кровообращения на локальную работу мышц статического и динамического характера // Успехи физиологических наук. – 1988. – Т.19, № 4. – С. 54.

2. Баёва Н.А., Тристан В.Г. Значение «ведущей» репрезентативной сенсорной системы для успешности прохождения ЭЭГ-БОС-тренинга // Биопрограммирование в медицине и спорте: Материалы IV Всероссийской конференции 8–9 апреля 2002 года. – Омск: ИМББ СО РАМН, СибГАФК, 2002. – С. 43–45.

3. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Добронравова И.С. Роль регуляторных структур мозга в формировании ЭЭГ человека // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 5. – С. 19–34.

4. Виноградова О.Л. Изменения показателей силы и выносливости при физической тренировке различной направленности // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90, № 8. – С. 368–369.

5. Коряк Ю.А. Нейромышечные изменения под влиянием семисуточной механической разгрузки мышечного аппарата у человека // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 9. – С. 1–14.

6. Попова Т.В., Корюкалов Ю.И., Коурова О.Г. Особенности работоспособности и утомления при локальной работе мышц у высококвалифицированных спортсменов // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 128–130.

7. Bangsbo J., Madsen K., Kiens B., Richter E.A. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man // Journal of Physiology. – 1996. – Vol. 495, no. 2. – P. 587–596.

8. Boord P., Craig A., Tran Y., Nguyen H. Discrimination of left and right leg motor imagery for brain-computer interfaces // Engineering and Computing. – 2010. – Vol. 8 (4). – P. 343–350.

9. Camillo Di G., Franca D., Charles M. Tipton Angelo Mosso and muscular fatigue: 116 years after the first congress of physiologists: IUPS commemoration Advances in Physiology Education. – 2006. – Vol. 30 (2). – P. 51–57. – URL: <https://doi.org/10.1152/advan.00041.2005>.

10. Davis J.M. Carbohydrates, branched-chain amino acids, and endurance: the central fatigue hypothesis // Int J Sport Nutr. – 1995. – No. 5 (Suppl). – P. 29–38.

11. Deley G., Millet G. Y., Borrani F., et al. Effects of two types of fatigue on the VO(2) slow component // Int. J. Sports Med. – 2006. – No. 27. – P. 475–482.

12. Assessing the Fit of the Model // Applied Logistic Regression / D.W. Hosmer, S. Lemeshow, R.X. Sturdivant (eds.). – Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2013. – P. 153–226.

13. Morree H. M., Klein C., Marcora S. M. Perception of effort reflects central motor command during movement execution // Psychophysiology. – 2012. – No. 49. – P. 1242–1253.

14. Noakes T.D. Commentary: Role of hydration in health and exercise // British Medical Journal. – 2012. – No. 344. – P. 4171.

15. Ortenblad N., Westerblad H., Nielsen J. Muscle glycogen stores and fatigue // The Journal of Physiology. – 2013. – Vol. 591 (18). – P. 4405–4413.

16. Pääsuke M., Ereline J., Gapeyeva H. Contractile changes in knee extensor muscles after high-intensity isokinetic exercise in male power-lifters and untrained subjects // Physiological and biochemical basis of educational technology and adaptation to different in magnitude physical stress. Vol. I: Materials of the International Scientific-Practical Conference (29–30 November 2012). – Kazan: Povolzhskaya GAFCS&T, 2012. – P. 276.

17. Pageaux B., Lepers R. Fatigue induced by physical and mental exertion increases perception of effort and impairs subsequent endurance performance // Frontiers in Physiology. – 2016. – Vol. 7 (2). – P. 1–9.

18. Pageaux B. The psychobiological model of endurance performance: an effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance // *Sports Med.* – 2014. – No. 44. – P. 1319–1320.

19. Pageaux B., Marcora S.M., Rozand V., Lepers R. Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise // *Front. Hum. Neurosci.* – 2015. – No. 9. – P. 67.

20. Enoka R.M., Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function // *J. Appl. Physiol.* – 2008. – No. 586. – P. 11–23. – URL: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>.

21. Smith M.R., Marcora S.M., Coutts A.J. Mental fatigue impairs intermittent running performance // *medicine & science // Sports & Exercise.* – 2015. – Vol. 47 (8). – P. 1682–1690. – DOI: 10.1249/MSS.0000000000000592.

REFERENCES

1. Alferova T.V. Vozrastnye osobennosti reakcii krovoobrashheniya na lokal'nyu rabotu myshc staticheskogo i dinamicheskogo haraktera [Age-related features of the blood circulation reaction to the local work of static and dynamic muscles]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk [Advances in physiological sciences]*, 1988, vol. 19, no. 4, pp. 54–60. (In Russ.; abstr. in Engl.).

2. Baeva N.A., Tristan V.G. Znachenie «vedushhej» reprezentativnoj sensornoj sistemy dlja uspehnosti prohozhdeniya EEG-BOS-treninga [The value of the "leading" representative sensory system for the success of EEG-BOS training]. *Biouprovlenie v medicene i sporte: Materialy IV Vserossijskoj konferencii 8–9 aprеля 2002 [Bio-reinforcement in medicine and sports: Materials of the IV All-Russian Conference on April 8–9, 2002]*. Omsk: IMBB SB RAMS, SibGAFK, 2002, pp. 43–45. (In Russ.; abstr. in Engl.).

3. Boldyreva G.N., Sharova E.V., Dobronravova I.S. Rol' reguljatornyh struktur mozga v formirovanii EEG cheloveka [The role of regulatory structures of the brain in the formation of human EEG]. *Fiziologija cheloveka [Human Physiology]*, 2000, vol. 26, no. 5, pp. 19–34. (In Russ.; abstr. in Engl.).

4. Vinogradova O.L. Izmenenija pokazatelej sily i vyнослиvosti pri fizicheskoj trenirovke razlichnoj napravlenosti [Changes in strength and endurance indicators during physical training of various directions]. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova [I. M. Sechenov Russian Journal of Physiology]*, 2004, vol. 90, no. 8, pp. 368–369. (In Russ.; abstr. in Engl.).

5. Korjak Ju.A. Neyromyshechnyye izmeneniya pod vliyaniem semisutochnoy me-khanicheskoy razgruzki myshechnogo apparata u cheloveka [Neuromuscular changes under the influence of seven-day mechanical unloading of the muscular apparatus in humans]. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]*, 2008, no. 9, pp. 1–14. (In Russ.; abstr. in Engl.).

6. Popova T.V., Koryukalov Yu.I., Kourova O.G. Osobennosti rabotosposobnosti i utomleniya pri lokal'noy rabote myshts u vysokokvalifitsirovannykh sportsmenov [Features of working capacity and fatigue during local muscle work in highly qualified athletes]. *Fiziologija cheloveka [Human Physiology]*, 2015, vol. 41, no. 6, pp. 128–130. (In Russ.; abstr. in Engl.).

7. Bangsbo J., Madsen K., Kiens B., Richter E.A. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *Journal of Physiology*, 1996, vol. 495, no. 2, pp. 587–596.

8. Boord P., Craig A., Tran Y., Nguyen H. Discrimination of left and right leg motor imagery for brain-computer interfaces. *Engineering and Computing*, 2010, vol. 8 (4), pp. 343–350.

9. Camillo Di G., Franca D., Charles M. Tipton Angelo Mosso and muscular fatigue: 116 years after the first congress of physiologists: IUPS commemoration *Advances in Physiology Education*, 2006, vol. 30 (2), pp. 51–57. URL: <https://doi.org/10.1152/advan.00041.2005>.

10. Davis J.M. Carbohydrates, branched-chain amino acids, and endurance: the central fatigue hypothesis. *Int J Sport Nutr*, 1995, no. 5 (Suppl), pp. 29–38.

11. Deley G., Millet G. Y., Borrani F., et al. Effects of two types of fatigue on the VO(2) slow component. *Int. J. Sports Med*, 2006, no. 27, pp. 475–482.

12. Assessing the Fit of the Model. *Applied Logistic Regression*. D.W. Hosmer, S. Lemeshow, R.X. Sturdivant (eds.). Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2013. P. 153–226.

13. Morree H. M., Klein C., Marcora S. M. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 2012, no. 49, pp. 1242–1253.

14. Noakes T.D. Commentary: Role of hydration in health and exercise. *British Medical Journal*, 2012, no. 344, p. 4171.

15. Ortenblad N., Westerblad H., Nielsen J. Muscle glycogen stores and fatigue. *The Journal of Physiology*, 2013, vol. 591 (18), pp. 4405–4413.

16. Pääsuke M., Ereline J., Gapeyeva H. Contractile changes in knee extensor muscles after high-intensity isokinetic exercise in male power-lifters and untrained subjects. *Physiological and biochemical basis of educational technology and adaptation to different in magnitude physical stress. Vol. I: Materials of the International Scientific-Practical Conference (29–30 November 2012)*. Kazan: Povolzhskaya GAFCS&T, 2012. P. 276.

17. Pageaux B., Lepers R. Fatigue induced by physical and mental exertion increases perception of effort and impairs subsequent endurance performance. *Frontiers in Physiology*, 2016, vol. 7 (2), pp. 1–9.

18. Pageaux B. The psychobiological model of endurance performance: an effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance. *Sports Med*, 2014, no. 44, pp. 1319–1320.

19. Pageaux B., Marcora S.M., Rozand V., Lepers R. Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. *Front. Hum. Neurosci.*, 2015, no. 9, p. 67.

20. Enoka R.M., Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J. Appl. Physiol.*, 2008, no. 586, pp. 11–23. URL: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>.

21. Smith M.R., Marcora S.M., Coutts A.J. Mental fatigue impairs intermittent running performance // *medicine & science. Sports & Exercise*, 2015, vol. 47 (8), pp. 1682–1690. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000592.

Контактная информация

Попова Татьяна Владимировна – д. б. н., профессор, ведущий эксперт Научно-исследовательского центра спортивной науки Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет, e-mail: tati.popova2010@yandex.ru