

**БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ  
БЕГУНОВ НА СРЕДНИЕ ДИСТАНЦИИ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫХ  
И СПЕЦИАЛЬНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ**

**А.Б. РАФАЛОВИЧ,  
ФГБОУ ВО МГАФК, пос. Малаховка,  
Московская область, Россия,  
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, г. Москва;**  
**А.Л. ДРОЗДОВ,  
ФГБОУ ВО МГАФК, пос. Малаховка,  
Московская область, Россия**

**Аннотация**

Проведено сравнение биоэлектрической активности мышц при выполнении соревновательных и специально-подготовительных упражнений у квалифицированных бегунов на средние дистанции. Изучалась относительная (%) средняя амплитуда ЭМГ-сигнала трёх мышц нижних конечностей (прямой мышцы бедра, двуглавой мышцы бедра, икроножной мышцы) у бегунов при выполнении ими 11 упражнений, включающих бег с разной скоростью, а также многоскоки и бег в гору с различным уклоном. Обследование проводилось на тренажоре *Cosmos Quasar* с максимальной скоростью движения ленты 7 м/с. Выявлено, что увеличение скорости бега с 4,17 до 7 м/с приводит к росту ЭМГ-активности мышц ног в 2,8–3,9 раза, что согласуется с данными других исследований. Увеличение средней амплитуды ЭМГ-сигнала с ростом скорости бега связано с увеличением активности мышц как при взаимодействии с опорой, так и при выполнении маха. Выполнение упражнений «Многоскоки» и «Бег в гору» не приводит к достоверно значимым ( $p > 0,05$ ) увеличениям ЭМГ-характеристик (средней амплитуды) мышц нижних конечностей по сравнению с бегом с соревновательной скоростью на дистанциях 800 и 1500 м. Наибольшие значения средней амплитуды ЭМГ-сигнала наблюдаются в большинстве случаев при выполнении бега со скоростью выше соревновательной.

**Ключевые слова:** соревновательные и специально-подготовительные упражнения, квалифицированные бегуны на средние дистанции, биоэлектрическая активность мышц.

**BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE MUSCLES  
OF MIDDLE DISTANCE RUNNERS  
DURING COMPETITIVE AND SPECIAL TRAINING EXERCISES**

**A.B. RAFALOVICH,  
FSBEI HE MSAPE, pos. Malakhovka,  
Moscow oblast, Russia,  
VNIIFK, Moscow city;  
A.L. DROZDOV,  
FSBEI HE MSAPE, pos. Malakhovka,  
Moscow oblast, Russia**

**Abstract**

We compared the bioelectric activity of muscles when performing competitive and special preparatory exercises in qualified middle distance runners. The relative (%) average amplitude of the EMG signal of the three muscles of the lower extremities (rectus femoris, biceps femoris, calf muscle) of the runners was studied when they performed 11 exercises, including running at different speeds, as well as bounding run and running uphill with a different slope. The survey was carried out on a *Cosmos Quasar* treadban with a maximum belt speed of 7 m/s. An increase in running speed from 4.17 to 7 m/s leading to an increase in EMG activity of the leg muscles by 2.8–3.9 times was identified that was consistent with other studies. An increase in the average amplitude of the EMG signal with an increase in running speed was associated with an increase in muscle activity both in interaction with the support and when performing a swing. The performance of the exercises “bounding” and “running uphill” didn’t lead to significantly significant ( $p > 0.05$ ) increases in EMG characteristics (average amplitude) of the muscles of the lower extremities compared to running with a competitive speed of 800 and 1500 m. The largest values of the average amplitude of the EMG signal were observed in most cases when running at a speed higher than the competitive one.

**Keywords:** competitive and special preparatory exercises, qualified middle distance runners, bioelectric muscle activity.

## Введение

Задача подбора специально-подготовительных упражнений постоянно решается спортсменами и тренерами, а также специалистами-исследователями во многих видах спорта. Наиболее распространенный подход к поиску и выбору таких упражнений состоит в оценке их «полезности» для достижения лучшего результата в соревновательных упражнениях. С этой целью проводятся сравнения специально-подготовительных упражнений с соревновательными по различным параметрам (биомеханическим, физиологическим, ЭМГ и др.). Несмотря на возможные отличия от «соревновательной» техники, выполнение подготовительных упражнений может быть более эффективным для совершенствования функциональных возможностей спортсмена.

Проведенное нами анкетирование тренеров, осуществляющих подготовку бегунов на средние дистанции, входящих в состав сборных команд России, показало, что бег в гору и «многоскоки» (прыжки с ноги на ногу) являются одними из наиболее часто применяемых подготовительных упражнений в различные периоды подготовки. Предполагается, что эти упражнения используются для совершенствования и поддержания уровня скоростно-силовых возможностей бегунов на средние дистанции, что связано, в том числе с функциональными возможностями нервно-мышечного аппарата спортсменов. В связи с этим представляет интерес сравнение ЭМГ-активности мышц при беге с различной скоростью (в том числе соревновательной) и выполнении перечисленных выше упражнений.

При обследовании бегунов в большей степени изучаются электромиограммы мышц нижних конечностей [1, 2]. Как показал обзор иностранных научных статей [3], наблюдается рост ЭМГ-активности мышц ног с увеличением скорости бега. Аналогичные результаты показаны и в работах российских исследователей [4].

Амплитудные и частотные характеристики ЭМГ-сигналов, полученных с помощью поверхностной электромиографии, у разных людей различаются. Корректность сравнения обеспечивается нормированием ЭМГ-сигналов по отношению к некоторой стандартной нагрузке. Для этой цели принято применять процедуру MVC (*maximal voluntary contraction*), при которой числовые значения амплитуды, полученные после применения алгоритма сглаживания, делятся на среднюю амплитуду максимального произвольного сокращения, тем самым получаются процентные величины от максимального произвольного сокращения [5]. Процедура MVC требует значительных затрат времени и проводится для каждого испытуемого на отдельной измерительной сессии. В исследованиях часто применяют более оперативные методы нормализации [2, 6], когда в качестве образцовой нагрузки выбираются специально подобранные упражнения.

На показатели ЭМГ-активности мышц влияют: сила, функциональное состояние мышцы, толщина жирового слоя, применяемое оборудование, методы обработки и пр. [7]. ЭМГ-характеристики также достаточно сильно зависят от специализации [8] и квалификации [9] бегунов,

что необходимо учитывать при сравнительном анализе этих показателей.

**Цель исследования** – сравнение характеристик биоэлектрической активности мышц при выполнении соревновательных и специально-подготовительных упражнений у квалифицированных бегунов на средние дистанции.

## Материалы и методы исследования

Изучалась биоэлектрическая активность трех мышц нижних конечностей квалифицированных бегунов на средние дистанции: прямой мышцы бедра, двуглавой мышцы бедра и икроножной мышцы, вносящих основной вклад в выполнение бегового шага [1, 2, 10, 11] при выполнении соревновательных и специально-подготовительных упражнений. Обследование проводилось на тренбане Cosmos Quasar (Германия) с максимальной скоростью движения ленты 7 м/с. В исследовании приняли участие 10 бегунов на средние дистанции (I разряд, КМС). Регистрация биопотенциалов исследуемых мышц осуществлялась с помощью четырехканального миографа «Callibri Muscle Tracker» (Россия) с беспроводными датчиками. Обработка первичных данных проводилась в специализированной программе, поставляемой в комплекте с миографом.

Для проведения тестирования были выбраны 11 упражнений: семь из них – равномерный бег с тренировочными и соревновательными скоростями от 4,17 до 7,0 м/с на горизонтальной ленте тренбана; три упражнения – бег со скоростью 5,55 м/с при положительных углах наклона (6, 8 и 10%) ленты тренбана (бег в гору) и одно упражнение – «Многоскоки» (прыжки с ноги на ногу) на горизонтальной ленте (табл. 1).

Следует отметить, что на момент тестирования участвовавших в исследовании спортсменов, которое проходило в подготовительный период, скорость бега 7 м/с либо соответствовала верхнему диапазону текущей соревновательной скорости бега на 800 м, либо превышала её для большинства из них. По отношению к текущей соревновательной скорости семь упражнений «горизонтального» бега можно условно разделить на: соревновательные (на 1500 м – 6,25 м/с и на 800 м – 6,67 м/с), тренировочные со скоростью ниже соревновательной (4,17–5,88 м/с) и тренировочные со скоростью выше соревновательной (7 м/с).

Каждый испытуемый перед началом тестирования на тренбане выполнял разминку и опробовал предстоящие упражнения. В рамках тестирования они последовательно выполняли все 11 выбранных упражнений. Чтобы исключить влияние процессов утомления на изучаемые показатели, продолжительность выполнения каждого упражнения составляла не более 10 с, а отдых между упражнениями составлял 1,5–2 мин. Очередность выполнения тестовых упражнений представлена в табл. 1.

Беспроводные датчики крепились на правой нижней конечности с использованием одноразовых твердогелевых клейких электродов. Размещение электродов на мышцах производилось в соответствии с метрологическими правилами Европейского метрологического стандарта

поверхностной миографии [12]. Электроды оставались в неизменном положении при выполнении всех 11 упражнений. Оценка уровня активности исследуемых мышц в каждом упражнении проводилась по средней амплитуде

ЭМГ-сигнала. Учитывая его вариативность, в каждом упражнении для каждой мышцы анализировалась средняя амплитуда сигнала, усредненная за шесть циклов движения (двойных шагов).

Таблица 1

#### Упражнения, используемые в исследовании

№ упражнения	Тип упражнения	Скорость ленты (м/с)	Наклон ленты (%)
1	Горизонтальный бег	4,17	0
2	Горизонтальный бег	4,76	0
3	Горизонтальный бег	5,55	0
4	Горизонтальный бег	5,88	0
5	Горизонтальный бег	6,25	0
6	Горизонтальный бег	6,67	0
7	Горизонтальный бег	7,00	0
8	Многоскоки	5,55	0
9	Бег в гору	5,55	8
10	Бег в гору	5,55	10
11	Бег в гору	5,55	6

Для анализа использовались не абсолютные, а относительные значения ЭМГ-сигнала мышц. Нормирование амплитуд сигналов проводилось по упражнению с наименьшей скоростью бега – «горизонтальный» бег со скоростью 4,17 м/с. Средняя амплитуда сигнала каждой мышцы в этом упражнении принималась за 100%. Амплитуда ЭМГ-сигнала мышц в других упражнениях выражалась в процентах от амплитуды в первом упражнении. Для выявления достоверности различий средних значений ЭМГ-активности мышц в разных упражнениях использовался *t*-критерий Стьюдента для зависимых выборок.

#### Результаты исследования

Данные по средней амплитуде ЭМГ-сигнала (%) каждой из трёх мышц при выполнении 11 упражнений представлены на рис. 1–3. Цифрами 5 и/или 6 над столбцами диаграммы обозначены тренировочные упражнения, в которых выявлены достоверные различия средних значений ( $p < 0,05$ ) ЭМГ-показателей при сравнении с соревновательными упражнениями 5 и 6.

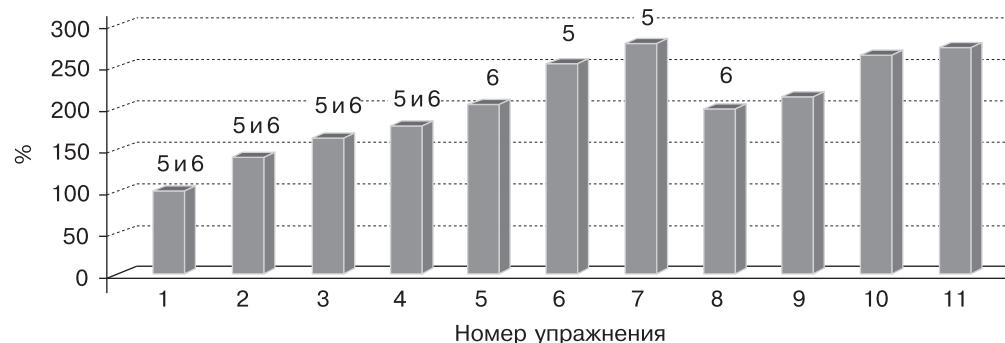
Увеличение скорости бега с 4,17 до 7 м/с приводит почти к трехкратному увеличению средней амплитуды ЭМГ-сигнала двуглавой мышцы бедра. ЭМГ-активность этой мышцы при выполнении бега с соревновательной скоростью на 800 м сопоставима ( $p > 0,05$ ) с бегом со скоростью выше соревновательной и бегом в гору с уклоном

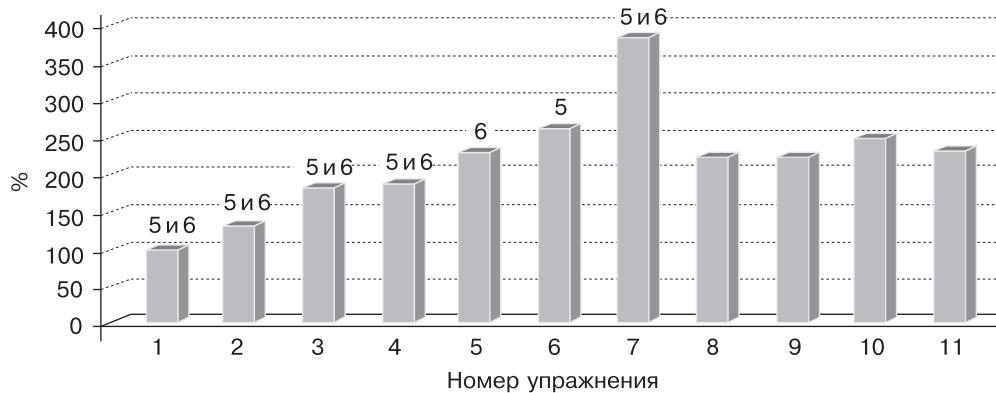
6–10%. При выполнении бега с соревновательной скоростью на 1500 м наблюдается сопоставимость с многоскоками и бегом в гору с уклоном 6–10%. У большинства обследованных бегунов наибольшие показатели ЭМГ-активности наблюдаются в беге со скоростью 7 м/с.

Средняя амплитуда ЭМГ-сигнала прямой мышцы бедра при выполнении упражнения 7 (7 м/с) почти в 4 раза превосходит аналогичный показатель в упражнении 1 (4,17 м/с). ЭМГ-активность этой мышцы при выполнении бега с соревновательной скоростью на 800 и 1500 м сопоставима ( $p > 0,05$ ) с многоскоками и бегом в гору с уклоном 6–10%. Наибольшая ЭМГ-активность прямой мышцы бедра наблюдается при выполнении бега со скоростью выше соревновательной ( $p < 0,05$ ).

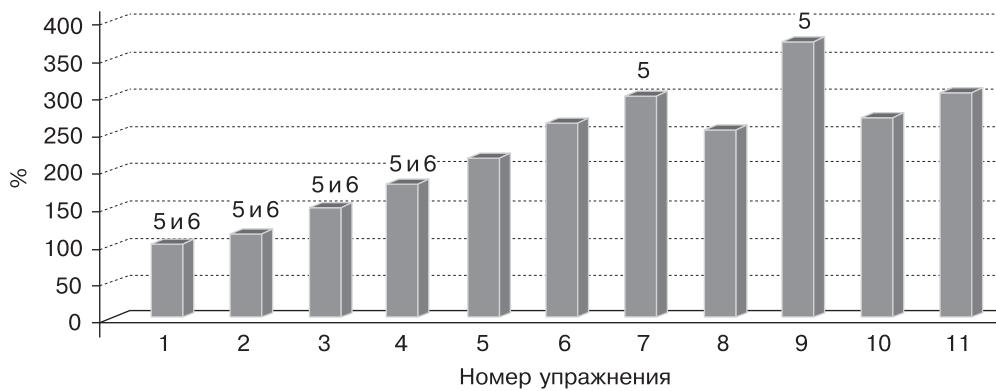
ЭМГ-активность икроножной мышцы возрастает в три раза при выполнении бега со скоростью 7 м/с по сравнению с упражнением 1. ЭМГ-активность этой мышцы при выполнении бега с соревновательной скоростью на 800 м сопоставима ( $p > 0,05$ ) с бегом со скоростью выше соревновательной, многоскоками и бегом в гору с уклоном 6–10%; при выполнении бега с соревновательной скоростью на 1500 м – с многоскоками и бегом в гору с уклоном 6 и 10%. У большинства обследованных спортсменов наибольшие значения средней амплитуды ЭМГ-сигнала наблюдаются при выполнении бега в гору с уклоном 8%.

**Рис. 1.**  
Средняя амплитуда  
ЭМГ-сигнала  
двуглавой мышцы  
бедра





**Рис. 2.**  
Средняя амплитуда  
ЭМГ-сигнала  
прямой мышцы  
бедра



**Рис. 3.**  
Средняя амплитуда  
ЭМГ-сигнала  
икроножной  
мышцы

### Обсуждение результатов исследования

При росте скорости бега от 4,17 до 7 м/с у всех мышц средняя амплитуда ЭМГ-сигнала увеличивается в три и более раза, что согласуется с результатами других исследований [3]. Рост средней амплитуды от 1-го до 7-го упражнения обусловлен как ростом максимальных амплитуд в моменты взаимодействия ноги с опорой, так и ростом амплитуды во время маха. На малых скоростях расслабление мышц после опорной фазы индицируется низкими уровнями ЭМГ-сигнала между пиками. С ростом скорости амплитуда сигнала во время маха растёт, и могут возникать промежуточные пики. У некоторых спортсменов для отдельных мышц кривая ЭМГ-сигнала во время маха при больших скоростях имеет вдвое больше пиков на изучаемом отрезке (шесть циклов) по сравнению с упражнением с минимальной скоростью бега. С ростом скорости не только увеличивается электрическая активность мышц нижних конечностей, но и меняется ее характер за счет увеличения ЭМГ-амплитуды во время маха.

Согласно результатам проведенного исследования, наибольшая ЭМГ-активность наблюдается:

- у двуглавой мышцы бедра при выполнении бега с соревновательной скоростью на 800 м (6,67 м/с) и со скоростью выше соревновательной (7,0 м/с), а также бега в гору с уклоном 6 и 10%;
- у прямой мышцы бедра при выполнении бега со скоростью выше соревновательной (7 м/с);
- у икроножной мышцы при выполнении бега в гору с уклоном 6 и 8% и бега со скоростью выше соревновательной (7 м/с).

Бег со скоростью выше соревновательной, по сравнению с многоскоками и бегом в гору, вызывает большую (прямая мышца бедра) или сопоставимую (двуглавая мышца бедра, икроножная мышца) ЭМГ-активность исследуемых мышц. Это соотношение наблюдается у большинства испытуемых.

При беге в гору средняя амплитуда ЭМГ-сигнала близка (двуглавая и прямая мышца бедра) или превосходит (икроножная мышца) без выявленных достоверных различий ( $p > 0,05$ ) по сравнению со средней амплитудой при беге с соревновательной скоростью. На рисунках видно, что отсутствует монотонность динамики ЭМГ-активности мышц при увеличении угла наклона ленты тредбана. Увеличение угла наклона при беге в гору не приводит к достоверно значимому увеличению ЭМГ-активности мышц нижних конечностей у испытуемых бегунов на средние дистанции ( $p > 0,05$ ). При этом следует отметить, что с увеличением угла наклона биомеханические характеристики техники бега всё больше отличаются от аналогичных характеристик в соревновательном упражнении.

При выполнении многоскоков наблюдается наименьшая, по сравнению с бегом в гору, ЭМГ-активность всех исследуемых мышц. И хотя достоверно значимые различия выявлены лишь в некоторых случаях (двуглавая мышца бедра – с упр. 10 и 11, икроножная мышца – с упр. 9), данная тенденция характерна для большинства испытуемых. Многоскоки по значениям ЭМГ-характеристик сопоставимы или уступают бегу с соревновательной скоростью на 1500 (двуглавая и передняя мышцы бедра) и 800 м (икроножная мышца).

## Выводы

С ростом скорости бега увеличивается средняя амплитуда и меняется характер ЭМГ-активности мышц нижних конечностей (двуглавая мышца бедра, прямая мышца бедра, икроножная мышца).

Выполнение упражнений «Многоскоки» и «Бег в гору» – наиболее популярных подготовительных упражнений бегунов на средние дистанции – не приводит к до-

стоверно значимым увеличениям ЭМГ-характеристик (средней амплитуды) мышц нижних конечностей по сравнению с бегом на 800 и 1500 м с соревновательной скоростью.

Для большинства обследованных спортсменов ЭМГ-активность мышц бедра выше при беге со скоростью, превышающей соревновательную.

## Литература

1. Kyröläinen H. Changes in muscle activity with increasing running speed // J. Sports Sci. – 2005. – No. 23 (10). – Pp. 1101–1109.
2. Ball N., Scurr J.C. Efficacy of current and novel electromyographic normalization methods for lower limb high-speed muscle actions // European Journal of Sport Science. – 2011. – No. 11 (6). – Pp. 447–456.
3. Howard R., Conway R., Harrison A. Muscle activity in sprinting: a review // Sports Biomechanics. – 2017. – February (1–17).
4. Захарова С.И., Калинин А.В. Электромиографические особенности перенапряжения опорно-двигательной системы легкоатлетов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2012. – № 4 (86). – С. 43–47.
5. Massó N., Ferran R., Daniel R. Surface electromyography applications in the sport // Apunts. Med. Esport. – 2010. – No. 45 (165). – Pp. 121–130.
6. Yumna A-K., Tucker R., Derman W., Lamberts R. Alternative methods of normalising EMG during running // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2011. – No. 4 (21). – Pp. 579–586.
7. Esposito F., Limonta E., Cè E., Gobbo M. Electrical and mechanical response of finger flexor muscles during voluntary isometric contractions in elite rock-climbers // European J. Applied Physiology. – 2009. – No. 105. – Pp. 81–92.
8. Квашук П.В., Воронов А.В., Семаева Г.Н., Маслова И.Н. Особенности применения дополнительных стимулов, увеличивающих сопротивление водной среды, для развития специальных силовых качеств гребцов на байдарках и каноэ высокой квалификации // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 9. – С. 5–8.
9. Ланская Е.В., Ланская О.В. Электрическая активность скелетных мышц при спринтерском и стайерском беге // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2016. – № 1. – С. 408–410.
10. Хэ Ч., Су Ш., Давыдова Н.С., Лукашевич Д.А., Васюк В.Е., Давыдов М.В. Оценка стабильности двигательного паттерна гребцов-каноистов на основе амплитудно-временного анализа электромиографических профилей мышц // Российский журнал биомеханики. – 2022. – № 3. – С. 68–77.
11. Willer J., Allen S.J., Burden R.J., Folland J.P. Neuromechanics of Middle-Distance Running Fatigue: A Key Role of the Plantarflexors? // Med. Sci. Sports Exerc. – 2021. – No. 10 (53). – Pp. 2119–2130.
12. Stegeman D., Hermens H. Standards for surface electromyography // The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). – 2007. – Pp. 108–112.

## References

1. Kyröläinen H. Changes in muscle activity with increasing running speed // J. Sports Sci. – 2005. – No. 23 (10). – Pp. 1101–1109.
2. Ball N., Scurr J.C. Efficacy of current and novel electromyographic normalization methods for lower limb high-speed muscle actions // European Journal of Sport Science. – 2011. – No. 11 (6). – Pp. 447–456.
3. Howard R., Conway R., Harrison A. Muscle activity in sprinting: a review // Sports Biomechanics. – 2017. – February (1–17).
4. Zakharova S.I., Kalinin A.V. Electromyography peculiarities of overstrain in musculoskeletal system for track and field athletes // Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University. – 2012. – No. 4 (86). – Pp. 43–47.
5. Massó N., Ferran R., Daniel R. Surface electromyography applications in the sport // Apunts. Med. Esport. – 2010. – No. 45 (165). – Pp. 121–130.
6. Yumna A-K., Tucker R., Derman W., Lamberts R. Alternative methods of normalising EMG during running // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2011. – No. 4 (21). – Pp. 579–586.
7. Esposito F., Limonta E., Cè E., Gobbo M. Electrical and mechanical response of finger flexor muscles during voluntary isometric contractions in elite rock-climbers // European J. Applied Physiology. – 2009. – No. 105. – Pp. 81–92.
8. Kvashuk P.V., Voronov A.V., Semaeva G.N., Maslova I.N. Features of the use of additional incentives that increase the resistance of the aquatic environment for the development of special strength qualities of highly qualified rowers on kayaks and canoes // Theory and Practice of Physical Culture. – 2021. – No. 9. – Pp. 5–8.
9. Lanskaya E.V., Lanskaya O.V. Electrical activity of skeletal muscles during sprinting and stayer running // Health – the Basis of Human Potential: Problems and Solutions. – 2016. – No. 1. – Pp. 408–410.
10. He Q., Su S., Davydova N.S., Lukashevich D.A., Vasyuk V.E., Davydov M.V. Assessment of the stability of the movement pattern of canoe paddlers based on amplitude-time analysis of muscle electromyography profiles // Russian Journal of Biomechanics. – 2022. – No. 3. – Pp. 68–77.
11. Willer J., Allen S.J., Burden R.J., Folland J.P. Neuromechanics of Middle-Distance Running Fatigue: A Key Role of the Plantarflexors? // Med. Sci. Sports Exerc. – 2021. – No. 10 (53). – Pp. 2119–2130.
12. Stegeman D., Hermens H. Standards for surface electromyography // The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). – 2007. – Pp. 108–112.