

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СТУПЕНЧАТО-ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ У СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ЦИКЛИЧЕСКИМИ ВИДАМИ СПОРТА

А.Е. Чиков¹, Д.С. Медведев^{1,2}, С.Н. Чикова¹, С.В. Колмогоров³

¹Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России, г. Санкт-Петербург, Россия,

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, г. Санкт-Петербург, Россия,

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

Цель исследования. Изучение соотношения активности различных механизмов энергообеспечения в зависимости от длительности мышечной работы до отказа у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта. **Материалы и методы.** Выполнено 360 наблюдений у спортсменов в возрасте 18–35 лет, занимающихся циклическими видами спорта и имеющих спортивную квалификацию от 2-го взрослого разряда до КМС. В исследовании регистрировались показатели газообмена, ЧСС, уровня лактата в крови при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки на беговой дорожке с кардиореспираторной системой «Охусон Про» (Erich Jaeger, Германия). Анализировался вклад аэробных и анаэробных возможностей в зависимости от длительности выполнения нагрузки. Выборка разделена и ранжирована на 7 кластеров по величине вкладов отдельных механизмов энергообеспечения. **Результаты.** Выделенные кластеры отличаются по времени выполнения нагрузки. Увеличение длительности выполнения нагрузки от кластера к кластеру сопровождается закономерным ростом количественных значений оцениваемых показателей энергообеспечения. На этом фоне вклад анаэробных механизмов энергообеспечения имеет как однонаправленные изменения в виде снижения в одних кластерах, так и разнонаправленные изменения активностей лактатного и алактатного механизмов. **Заключение.** Увеличение длительности выполнения теста до отказа зависит не только от общего количества вырабатываемой энергии, главным образом активности аэробного механизма, но и от увеличения вклада алактатного и лактатного механизма энергообеспечения мышечной работы. Выявленные изменения в кластерах, по нашему мнению, можно расценивать как функционально сложившиеся типологические особенности соотношения активности различных механизмов энергообеспечения, обуславливающие физическую подготовленность.

Ключевые слова: энергообеспечение мышечной деятельности, механизмы энергообеспечения, длительность выполнения нагрузки, газоанализ, физическая работоспособность, спорт.

Введение. В настоящее время изучение закономерностей энергообеспечения мышечной работы получило новый импульс. С одной стороны, это связано с широким распространением современного оборудования, значительным повышением точности измерительной аппаратуры, накоплением большого количества данных, характеризующих энергообеспечение мышечной работы [1, 2]. С другой стороны, это обусловлено успехами в области моделирования энергообеспечения мышечной деятельности, появлением новых возможностей для качественного анализа получаемых данных [7, 13].

Концепция «энергетического подхода», начало которой положено в работах R. Margaria [15], позволяет изучать физическую работоспособность на основе оценки вкладов различных механизмов энергообеспечения. При реализации «энергетического» подхода изучают закономерности производства энергии: оценивается мощность, емкость и экономичность механизмов энергообеспечения. Дифференцированную оценку вкладов анаэробного и аэробного энергообеспечения можно проводить на основе регистрации показателей газоанализа и лактата в крови при выполнении внешней работы, в период которой

можно достичь максимальных значений данных биоэнергетических параметров [3, 6, 16].

Известно, что согласованность работы отдельных механизмов энергообеспечения позволяет обеспечить гибкость в удовлетворении энергетических потребностей организма спортсмена в зависимости от условий, предъявляемых соревновательной и тренировочной деятельностью. При этом необходимо учитывать, что различные механизмы энергообеспечения имеют и антагонистическое взаимодействие и, соответственно, могут лимитировать работоспособность [3, 8–12, 14].

Недостаточная изученность сопряжения различных механизмов энергообеспечения мышечной работы во время тренировочных и соревновательных нагрузок в спортивной деятельности не позволяет обоснованно учитывать этот фактор при составлении тренировочных программ. Специфичность спортивной подготовки требует оценки различных механизмов производства энергии в конкретных спортивных упражнениях и достаточно точный количественный расчет параметров нагрузок.

Цель исследования – изучение соотношения активности различных механизмов энергообеспечения в зависимости от длительности мышечной работы до отказа у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие спортсмены в возрасте 18–35 лет, занимающиеся циклическими видами спорта (биатлон, лыжные гонки) и имеющие спортивную квалификацию от 2-го взрослого разряда до КМС. Было выполнено 360 наблюдений за динамикой газообмена, ЧСС, уровня лактата в крови при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки на беговой дорожке до отказа или по достижении максимального расчетного ЧСС (вычисляется по формуле « $220 - \text{возраст}$ »). Выполнение теста проводилось с использованием беговой дорожки LE 580 CE H/P/COSMOS (Care Fusion, Великобритания) и кардиореспираторной системы «Oxuson Pro» (Erich Jaeger, Германия) по следующему протоколу: начальная скорость на первой ступени – 5 км/ч, длина ступени – 2 мин, высота ступени – 1,5 км/ч. У каждого обследуемого определялись количественные значения вклада аэробного, лактатного и алактатного механизмов ресинтеза АТФ при выполнении тестирования.

Вклад аэробного механизма (E_{aiO_2} , кДж) определялся на основе объема потребления кислорода сверх уровня покоя за период выполнения нагрузки по формуле:

$$E_{aiO_2} = (VO_{2\text{tot}} - VO_{2\text{res}} \cdot t) \cdot 20,9, \quad (1)$$

где $VO_{2\text{tot}}$ – объем потребления кислорода за время работы (л), $VO_{2\text{res}}$ – объем потребления кислорода в покое перед тестом (л/мин), t – время выполнения работы (мин).

Вклад лактатного (E_{aiLa} , кДж) механизма энергообеспечения рассчитывался на разнице концентраций лактата в капиллярной крови до и после теста (ΔLa , ммоль/л):

$$E_{aiLa} = \Delta La \cdot 0,0624 \cdot m / p, \quad (2)$$

где $0,0624 = 0,6 / 0,8 \cdot 0,09 \cdot 220 \cdot 4,187 \cdot 10^{-3}$ вычислен исходя из следующего: 0,6 – доля воды в теле человека, 0,8 – доля воды в крови, 0,09 г/мм – молекулярный вес молочной кислоты, 220 кал/г – теплотворность молочной кислоты, $4,187 \cdot 10^{-3} \text{ кДж/кал}$ – пересчетный коэффициент, m – масса тела человека, p – плотность тела человека принята за 1 кг/л.

Вклад алактатного (E_{aiaLa} , кДж) механизма энергообеспечения рассчитывался по объему потребления кислорода за первые две минуты в период восстановления сверх уровня покоя ($VO_{2\text{bor}}$), данный период характеризуется фракцией быстрого восстановления и эффективностью фосфагенного цикла:

$$E_{aiaLa} = (VO_{2\text{bor}} - 0,55 \cdot m / 70) \times 20,9 \cdot 0,6, \quad (3)$$

где 0,55 – «кислородный запас тела» (л) у человека массой 70 кг; 0,6 – эффективность «фосфагенного цикла».

Полученные данные обрабатывались в программе Statistica 10, разделение выборки на кластеры выполнялось на основе кластерного анализа методом К-средних. Полученные кластеры проверялись на нормальность распределения по критерию Шапиро–Уилко, достоверность различий считалась по критерию Стьюдента для несвязанных выборок, различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Для изучения особенностей энергообеспечения мышечной работы в зависимости от длительности выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, все спортсмены были разделены на 7 кластеров методом К-средних. Для кластеризации были использованы показатели E_{aiO_2} , E_{aiaLa} ,

EaiLa, характеризующие вклад аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения в общий энергетический «котел». Кластеры характеризуются разной длительностью выполнения нагрузки и количественными значениями аэробных и анаэробных возможностей (см. таблицу).

Из таблицы видно, что у спортсменов от кластера к кластеру наблюдается повышение общих энерготрат (Eai) при выполнении нагрузки с $478,8 \pm 20,02$ до $939,1 \pm 10,23$ кДж, аналогичная тенденция наблюдается в количественных значениях аэробных возможностей. В наблюдаемые изменения не укладывается динамика показателей от 2-го к 3-му кластеру: при увеличении длительности выполнения теста на 1 мин показатели энергообеспечения стабилизируются ($634,4 \pm 17,6$ и $628,1 \pm 15,18$ кДж соответственно), что обусловлено снижением активности анаэробных возможностей. Увеличение длительности выполнения теста, возможно, связано с явлениями механической экономизации работы организма [5, 17].

По результатам исследования следует, что активность анаэробных механизмов постепенно сменяется и вклад алактатного и лактатного механизмов характеризуются разнонаправленной динамикой. Так, от второго к третьему наблюдается снижение анаэробных показателей с $46,2 \pm 2,48$ до $42,2 \pm 2,17$ кДж алактатных (EaiaLa) и с $44,7 \pm 2,65$ до $41,4 \pm 2,26$ кДж лактатных (EaiLa). Статистически значимое ($p < 0,05$) снижение активности алактатного механизма происходит от четвертого кластера к шестому (с $51,8 \pm 1,95$ до $44,2 \pm 1,42$ кДж соответственно), в то же время лактатный механизм увеличивает свой

вклад в энергообеспечение от третьего к шестому с $41,4 \pm 2,26$ до $46,8 \pm 2,03$ кДж ($p < 0,05$). От шестого к седьмому кластеру тенденция меняется: резко повышается активность алактатного механизма ресинтеза АТФ с $44,2 \pm 1,42$ до $76,1 \pm 2,6$ кДж, а активность лактатного механизма снижается с $46,8 \pm 2,03$ до $38,1 \pm 1,57$ кДж ($p < 0,001$). Аналогичная динамика повышения активности алактатного механизма, но менее выраженная, наблюдается в четвертом кластере.

Выявленные особенности между показателями, характеризующими энергообеспечение в выделенных кластерах у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, позволили выделить две закономерности при увеличении длительности выполнения ступенчато-возрастающей работы до отказа: 1) вклад аэробных возможностей в общий энергетический «котел» повышается при одновременном снижении вклада анаэробных возможностей на всем междукластерном диапазоне длительности выполнения нагрузочного тестирования; 2) при сохранении первой закономерности наблюдается увеличение длительности выполнения тестирования от третьего к четвертому и от шестого к седьмому кластерам за счет повышения активности алактатного с одновременным снижением вклада лактатного механизмов.

Обращают на себя внимание показатели у спортсменов, отнесенных к седьмому кластеру, которые уступают по вкладу аэробных возможностей спортсменам шестого кластера и отличаются относительно низкой активностью лактатного механизма энергообеспечения. На наш взгляд, такие закономерности могут иметь две причины: 1) высокая емкость

Количественные показатели аэробных и анаэробных возможностей спортсменов разных кластеров
Quantitative indicators of aerobic and anaerobic capabilities of athletes from different clusters

Кластер Cluster	n	t, мин / min	Eai, кДж / kJ	EaiO ₂ , кДж / kJ	EaiaLa, кДж / kJ	EaiLa, кДж / kJ
1	67	$11,6 \pm 0,11^*$	$478,8 \pm 20,0^*$	$400 \pm 18,2^*$	$43,1 \pm 2,76$	$35,5 \pm 2,12^*$
2	56	$14 \pm 0,06^*$	$634,4 \pm 17,6$	543 ± 16	$46,2 \pm 2,48$	$44,7 \pm 2,65$
3	52	$15 \pm 0,04^*$	$628,1 \pm 15,2^*$	$544 \pm 13,8^*$	$42,2 \pm 2,17^*$	$41,4 \pm 2,26$
4	53	$16 \pm 0,03^*$	$726,2 \pm 16,5$	629 ± 15	$51,8 \pm 1,95$	$45,6 \pm 2,66$
5	30	$16,7 \pm 0,05^*$	$751,3 \pm 20,7$	$654 \pm 18,8$	$50,8 \pm 2,77^*$	$46,2 \pm 3,47$
6	38	$18,4 \pm 0,07^*$	$788,7 \pm 15,7^*$	$698 \pm 14,3^*$	$44,2 \pm 1,42^*$	$46,8 \pm 2,03^*$
7	64	$20,1 \pm 0,06$	$939,1 \pm 10,2$	$825 \pm 9,3$	$76,1 \pm 2,6$	$38,1 \pm 1,57$

Примечания. * – $p < 0,01$ изменения достоверны относительно предыдущего кластера.

Note. * – $p < 0.01$ changes are significant for the previous cluster.

креатинфосфатного механизма обеспечивает переход на более высокую интенсивность [12] с меньшей активацией лактатного механизма; 2) повышение скорости утилизации лактата непосредственно при выполнении нагрузки. И первая и вторая причины, в свою очередь, обеспечивают снижение негативного влияния ацидоза на работоспособность.

Заключение. Длительность выполнения теста физической работоспособности зависит не только от общего количества энергии за счет повышения активности аэробного, но и от активности алактатного и лактатного механизмов энергообеспечения [4]. Выявленные изменения в кластерах, по нашему мнению, можно расценивать как функционально сложившиеся особенности соотношения активности различных механизмов энергообеспечения, обуславливающие, в конечном счете, уровень подготовленности. При планировании тренировочных нагрузок с целью повышения энергообеспечения следует учитывать соотношение активностей механизмов энергообеспечения и учитывать выявленные закономерности.

Литература

1. *Аэробная и анаэробная работоспособность боксеров в специально подготовительном периоде тренировки* / А.С. Гронская, Я.Е. Бугаец, К.А. Гандилян // *Материалы IX Международной научно-практической конференции «Физическое воспитание, спорт, физическая реабилитация и рекреация: проблемы и перспективы развития»*, 2019. – С. 31–34.
2. *Влияние спортивной специализации на функциональные способности человека при велоэргометрической нагрузке* / Ю.Г. Солонин, Е.Р. Бойко, Н.Г. Варламова и др. // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. – 2017. – № 3 (31). – С. 47–51.
3. *Волков, Н.И. Физиологические критерии выносливости спортсменов* / Н.И. Волков, А.Н. Волков // *Физиология человека*. – 2004. – Т. 30, № 4. – С. 103–113.
4. *Грушин, А.А. Функциональные показатели работоспособности и спортивный результат у элитных лыжниц-гонимцев* / А.А. Грушин, А.Г. Баталов, В.Д. Сонькин // *Вестник спортивной науки*. – 2013. – № 3. – С. 3–9.
5. *Мехдиева, К.Р. Функциональное тестирование профессиональных спортсменов: специфическое или универсальное?* / К.Р. Мехдиева, А.В. Захарова // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 22–28.
6. *Модельные показатели функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонимцев высокой квалификации при подготовке к XXIV зимним Олимпийским играм 2022 г. в Пекине (Китай)* / А.И. Головачев, В.И. Колыхматов, С.В. Широкова, Н.Б. Новикова // *Теория и практика физ. культуры*. – 2019. – № 12. – С. 89–91.
7. *Модульная графическая модель энергетического метаболизма в клетках скелетной мышцы* / И.Н. Киселев, И.Р. Акбердин, А.Ю. Вертышев и др. // *Математ. биология и биоинформатика*. – 2019. – Т. 14, № 2. – С. 373–392.
8. *Мякинченко, Е.Б. Развитие локальной мышечной выносливости в циклических видах спорта* / Е.Б. Мякинченко, В.Н. Селуянов. – М.: ТВТ Дивизион, 2017. – 360 с.
9. *Розенфельд, А.С. Ацидоз – доминирующий фактор в ограничении мышечной активности* / А.С. Розенфельд, К.А. Рямова // *Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта*. – 2015. – № 10 (128). – С. 162–167.
10. *Сонькин, В.Д. Возрастное развитие тканевых источников энергообеспечения мышечной функции* / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева, Г.М. Маслова // *Вестник спортивной науки*. – 2009. – № 6. – С. 32–38.
11. *Тамбовцева, Р.В. Биохимическая характеристика бега на различные дистанции* / Р.В. Тамбовцева // *Евразийский союз ученых*. – 2015. – № 5–7 (14). – С. 36–39.
12. *Финальная концентрация лактата в крови в тесте с возрастающей нагрузкой и аэробная работоспособность* / Д.В. Попов, С.С. Мисина, Ю.С. Лемешева и др. // *Физиология человека*. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 102–109.
13. *A Four Compartment Model on Human Exercise Bioenergetics* / D. Sundström, M. Bäckström, P. Carlsson, M. Tinnsten // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 112. – P. 4–9.
14. *Korzeniewski, B. Theoretical studies on the regulation of anaerobic glycolysis and its influence on oxidative phosphorylation in skeletal muscle* / B. Korzeniewski, P. Liguzinski // *Biophysical Chemistry*. – 2004. – Vol. 110, no. 1–2. – P. 147–169.
15. *Margaria, R. Biomechanics and energetics of muscular exercise* / R. Margaria. – Oxford: Clarendon Press, 1976. – 184 p.
16. *Realization the functional preparedness of the ski athletes under the model conditions of*

competitive distance / R. Kropta, Y. Khmelnytska, I. Hruzevych et al. // Journal of Physical Education and Sport. – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. 164–169.

17. Toussaint, H. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming / H. Toussaint, M. Truijens // Animal Biology. – 2005. – Vol. 55. – P. 17–40.

Чиков Александр Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией спортивной гигиены, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г.п. Кузьмолловский, ст. Капитолово, корп. № 93. E-mail: chikov.alexandr@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0860-9171.

Медведев Дмитрий Станиславович, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры лечебной физкультуры и спортивной медицины, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова. 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41; заведующий отделом физиологической оценки и медицинской коррекции, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г.п. Кузьмолловский, ст. Капитолово, корп. № 93. E-mail: 79110982285@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7401-258X.

Чикова Светлана Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией клинической и функциональной диагностики, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г.п. Кузьмолловский, ст. Капитолово, корп. № 93. E-mail: chikova.svetlana@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1696-5101.

Колмогоров Сергей Валентинович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры спортивных дисциплин, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17. E-mail: svkolmogorov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9339-500X.

Поступила в редакцию 11 октября 2020 г.

DOI: 10.14529/hsm200407

FEATURES OF ENERGY SUPPLY OF MUSCLE WORK DEPENDING ON THE DURATION OF STEPWISE INCREASING LOAD IN CYCLICAL SPORTS ATHLETES

A.E. Chikov¹, chikov.alexandr@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0860-9171,
D.S. Medvedev^{1,2}, 79110982285@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7401-258X,
S.N. Chikova¹, chikova.svetlana@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1696-5101,
S.V. Kolmogorov³, svkolmogorov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9339-500X

¹Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russian Federation,

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation,

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

Aim. The paper aims to study energy supply mechanisms depending on the duration of stepwise increasing load to failure in cyclical sports athletes. **Materials and methods.** 360 observations were made on cyclical sports athletes (biathlon, cross-country skiing) aged 18–35 years. Indicators of gas exchange, heart rate, and blood lactate levels were recorded when performing a stepwise increasing load on the treadmill with the Oxycon Pro cardiorespiratory system (Erich

Jaeger, Germany). The contribution of aerobic and anaerobic capabilities depending on the duration of the load was analyzed. The sample was divided and ranked into 7 clusters based on the contribution of individual energy supply mechanisms. **Results.** The selected clusters differ in load execution time. The increase in the duration of load execution time from cluster to cluster is accompanied by a natural increase in the quantitative values of the estimated energy supply indicators, as well as by both unidirectional and multidirectional changes in the activity of alactate and lactate mechanisms of energy supply. **Conclusion.** Increasing the duration of the load to failure depends not only on the total amount of energy produced, mainly the activity of the aerobic mechanism, but also on the increase in the contribution of the alactate and lactate mechanisms of energy supply. The identified changes in clusters can be regarded as functional typological features of various energy supply mechanisms that determine physical fitness.

Keywords: energy supply of muscle activity, mechanisms of energy supply, exercise duration, gas analysis, physical performance, sports.

References

1. Gronskeya A.S., Bugayets Ya.E., Gandilyan K.A. [Aerobic and Anaerobic Efficiency of Boxers in a Special Preparatory Period of Training]. *Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Fizicheskoye vospitaniye, sport, fizicheskaya reabilitatsiya i rekreatsiya: problemy i perspektivy razvitiya"* [Materials of the IX International Scientific and Practical Conference. Physical Education, Sport, Physical Rehabilitation and Recreation: Problems and Development Prospects], 2019, pp. 31–34. (in Russ.)
2. Solonin Yu.G., Boyko E.R., Varlamova N.G. et al. [The Influence of Sports Specialization on the Functional Abilities of a Person during a Cycle Ergometric Load]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Izvestia of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 3 (31), pp. 47–51. (in Russ.)
3. Volkov N.I., Volkov A.N. [Physiological Criteria of Endurance of Athletes]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2004, vol. 30, no. 4, pp. 103–113. (in Russ.) DOI: 10.1023/B:HUMP.0000036344.25201.f0
4. Grushin A.A., Batalov A.G., Son'kin V.D. [Functional Indicators of Working Capacity and Sports Results among Elite Skier-Racer]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2013, no. 3, pp. 3–9. (in Russ.)
5. Mekhdiyeva K.R., Zakharova A.V. Functional Testing of Professional Athletes. Specific or Universal? *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 22–28. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm190103
6. Golovachev A.I., Kolykhatov V.I., Shirokova S.V., Novikova N.B. [Model Indicators of the Functional Capabilities of the Power Supply Systems of Highly Qualified Female Racers in Preparation for the XXIV Winter Olympic Games in 2022 in Beijing (China)]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2019, no. 12, pp. 89–91. (in Russ.)
7. Kiselev I.N., Akberdin I.R., Vertyshev A.Yu. et al. [Modular Graphic Model of Energy Metabolism in Skeletal Muscle Cells]. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika* [Mathematical Biology and Bioinformatics], 2019, vol. 14, no. 2, pp. 373–392. (in Russ.) DOI: 10.17537/2019.14.373
8. Myakinchenko E.B., Seluyanov V.N. *Razvitiye lokal'noy myshechnoy vynoslivosti v tsiklicheskikh vidakh sporta* [Development of Local Muscle Endurance in Cyclic Sports]. Moscow, TVT Divizion Publ., 2017. 360 p.
9. Rozenfel'd A.S., Ryamova K.A. [Acidosis is the Dominant Factor in Limiting Muscle Activity]. *Uchenyye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta* [Scientific Notes of the University P.F. Lesgaft], 2015, no. 10 (128), pp. 162–167. (in Russ.)
10. Son'kin V.D., Tambovtseva R.V., Maslova G.M. [Age-Related Development of Tissue Sources of Energy Supply of Muscle Function]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2009, no. 6, pp. 32–38. (in Russ.)
11. Tambovtseva R.V. [Biochemical Characteristics of Running at Different Distances]. *Evroziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2015, no. 5–7 (14), pp. 36–39. (in Russ.)
12. Popov D.V., Missina S.S., Lemesheva Yu.S. et al. [The Final Concentration of Lactate in the Blood in the Test with Increasing Load and Aerobic Performance]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2010, vol. 36, no. 3, pp. 102–109. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119710030138

13. Sundström D., Bäckström M., Carlsson P., Tinnsten M. A Four Compartment Model on Human Exercise Bioenergetics. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 112, pp. 4–9. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.167
14. Korzeniewski B., Liguzinski P. Theoretical Studies on the Regulation of Anaerobic Glycolysis and its Influence on Oxidative Phosphorylation in Skeletal Muscle. *Biophysical Chemistry*, 2004, vol. 110, no. 1–2, pp. 147–169. DOI: 10.1016/j.bpc.2004.01.011
15. Margaria R. *Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise*. Oxford: Clarendon Press, 1976. 184 p.
16. Kropta R., Khmelnytska Y., Hruzevych I. et al. Realization the Functional Preparedness of the Ski Athletes Under the Model Conditions of Competitive Distance. *Journal of Physical Education and Sport*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 164–169.
17. Toussaint H., Truijens M. Biomechanical Aspects of Peak Performance in Human Swimming. *Animal Biology*, 2005, vol. 55, pp. 17–40. DOI: 10.1163/1570756053276907

Received 11 October 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Особенности энергообеспечения мышечной работы в зависимости от длительности выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта / А.Е. Чиков, Д.С. Медведев, С.Н. Чикова, С.В. Колмогоров // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 62–68. DOI: 10.14529/hsm200407

FOR CITATION

Chikov A.E., Medvedev D.S., Chikova S.N., Kolmogorov S.V. Features of Energy Supply of Muscle Work Depending on the Duration of Stepwise Increasing Load in Cyclical Sports Athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 62–68. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200407