

## **Musculus soleus крыс при физической нагрузке и действии L-карнитина и креатинфосфата**

**И. А. Хуторская<sup>1\*</sup>, В. П. Балашов<sup>1</sup>, Л. А. Балыкова<sup>1</sup>,  
Г. Ф. Шаймарданова<sup>2-3</sup>, А. Р. Васильева<sup>2</sup>, С. В. Гущина<sup>1</sup>,  
Т. В. Ломонова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Казанский ГМУ» Минздрава России  
(г. Казань, Россия)

<sup>3</sup>КИББ «Казанский научный центр РАН» (г. Казань, Россия)  
\*[alfa200890@yandex.ru](mailto:alfa200890@yandex.ru)

*Введение.* Исследование влияния препаратов метаболического типа действия на гистохимические характеристики камбаловидной мышцы является актуальным в рамках решения задачи по обеспечению тренировочного процесса в Российской Федерации не допинговыми лекарственными препаратами с целью безопасной коррекции последствий интенсивной физической нагрузки у атлетов.

*Материалы и методы.* Динамическую физическую нагрузку у крыс ( $n = 24$ ) моделировали плаванием «до отказа» с отягощением 10 % от массы тела (20 сут. 1 раз/день). Подопытные животные были распределены на 4 группы (по 6 особей в каждой): № 1 – интактный контроль, № 2 – плавание + изотонический раствор NaCl, № 3 и № 4 – плавание + соответственно L-карнитин и креатинфосфат по 100,0 мг/кг ежедневно однократно внутривнутрибрюшинно. Объектом исследования служили камбаловидные мышцы (m. soleus). Типирование мышечных волокон проводили по выраженности гистохимической активности сукцинатдегидрогеназы (СДГ) и щелочестойкой аденозинтрифосфатазы (АТФ-азы) миозина. Оценивали процентное содержание мышечных волокон и методом прямой морфометрии определяли их диаметр. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью *t*-критерия Стьюдента.

*Результаты исследования.* Плавание животных «до отказа» не оказывает влияния на соотношение волокон с различными фенотипами в составе камбаловидной мышцы. Данный показатель является генетически детерминированным и не модифицируется L-карнитином и креатинфосфатом. Динамическая физическая нагрузка способствует развитию гипертрофии мышечных волокон различного типа. Исследуемые препараты метаболического типа действия либо не оказывают влияния на формирование гипертрофии, обусловленной физической нагрузкой (в большей степени креатинфосфат) либо уменьшают выраженность гипертрофии (в большей степени L-карнитин) в условиях динамической физической нагрузки.

*Обсуждение и заключения.* Полученные данные свидетельствуют, что L-карнитин и креатинфосфат при длительности применения в 20 сут. не обладают анаболическим эффектом в отношении камбаловидной мышцы. С учетом данных литературы об их способности эффективно корректировать ряд негативных последствий интенсивных физических нагрузок у атлетов, они могут рассматриваться в качестве средств помощи спортсменам различного уровня как лекарственные средства, не обладающие анаболическими свойствами.

**Ключевые слова:** камбаловидная мышца, L-карнитин, креатинфосфат, физическая нагрузка, сукцинатдегидрогеназа, аденозинтрифосфатаза миозина



**Для цитирования:** Musculus soleus крыс при физической нагрузке и действии L-карнитина и креатинфосфата / И. А. Хуторская [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 3. С. 440–451. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201703.440-451

**Благодарности:** Выражаем благодарность анонимным рецензентам.

## Musculus soleus of rats at physical activity and L-carnitine and creatine phosphate effect

I. A. Khutorskaya<sup>a\*</sup>, V. P. Balashov<sup>a</sup>, L. A. Balykova<sup>a</sup>,  
G. F. Shaymardanova<sup>b-c</sup>, A. R. Vasilyeva<sup>b</sup>, S. V. Gushchina<sup>a</sup>,  
T. V. Lomonova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

<sup>b</sup>Kazan State Medical University (Kazan, Russia)

<sup>c</sup>Kazan Science Centre of the Russian Academy of Sciences (Kazan, Russia)

\*alfa200890@yandex.ru

**Introduction.** The study of the effect of metabolic drugs on the histochemical characteristics of soleus muscle is relevant for solving the problem of providing the training process in Russia with non-doping drugs for safe correction of the consequences of intense physical activity in athletes.

**Materials and Methods.** Dynamic physical activity in rats (n = 24) was simulated by swimming “to the limit” with weighting of 10 % of body weight (20 days, 1 time per day). The experimental animals were divided into four groups (6 animals each): № 1 – control, № 2 – swimming + isotonic NaCl solution, № 3 and № 4 – swimming + L-carnitine or creatine phosphate 100.0 mg/kg daily intraperitoneally. The object of the study was musculus soleus. Differentiation of muscle fibers was carried out by the intensity of histochemical activity of succinate dehydrogenase (SDG) and alkaline stable adenosine triphosphate (ATP) of myosin. The percentage of muscle fibers was evaluated and their diameter was defined by the direct morphometry. The obtained data were treated statistically by Student’s T-test.

**Results.** Swimming of the animals “to the limit” do not affect the ratio of fibers with different phenotypes in the soleus muscle. This indicator is genetically determined and was not modified by L-carnitine and creatine phosphate. Dynamic physical activity promotes the development of hypertrophy of muscle fibers of various types. The investigated medicaments of the metabolic type either do not influence on the formation of exercise-induced hypertrophy (predominantly creatine phosphate) or reduce the intensity of the hypertrophic process (predominantly L-carnitine) under dynamic physical activity.

**Discussion and Conclusions.** The obtained data indicate L-carnitine and creatine phosphate do not have an anabolic effect. Taking into account the relevant data on ability of L-carnitine and creatine phosphate to effectively correct a negative effects of intensive physical exercises, these medicaments can be considered as a medications without anabolic properties for various levels athletes.

**Keywords:** musculus soleus, L-carnitine, creatine phosphate, physical activity, succinate dehydrogenase, adenosine triphosphate of myosin

**For citation:** Khutorskaya I. A., Balashov V. P., Balykova L. A., Shaymardanova G. F., Vasilyeva A. R., Lomonova T. V. Musculus soleus of rats at physical activity and L-carnitine and creatine phosphate effect. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(3):440–451. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201703.440-451

**Acknowledgements:** We thank the anonymous reviewers.

## Введение

Потребности спортивной и реабилитационной медицины стимулируют поиск оригинальных лекарственных препаратов, не включенных в реестр допинговых средств ВАДА, защищающих организм атлетов при изнуряющих тренировочных и соревновательных нагрузках. В этом плане привлекают к себе внимание препараты метаболического типа действия, зарекомендовавшие себя как эффективные корректоры стрессорных и ишемических повреждений различных органов и систем организма [1–2]. К препаратам данного типа принадлежат в т. ч. L-карнитин и креатинфосфат [3–4]. Главными достоинствами метаболических средств являются идентичность их структуры природным биологически активным веществам и, следовательно, незначительная токсичность и высокая безопасность для организма [4]. Следует признать, что в настоящее время хорошо изучено действие L-карнитина и креатинфосфата на сердечно-сосудистую, иммунную и другие системы как в условиях эксперимента, так и при реальных спортивных нагрузках различного уровня [1; 5–6]. Однако в мировой литературе недостаточно освещены особенности действия подобных препаратов на скелетную мышечную ткань при моделировании физической нагрузки. При решении подобных задач необходимо учитывать наличие гетероморфности мышечных волокон в составе скелетных мышц млекопитающих. Принимая во внимание, что в большей степени физическую работоспособность атлетов обеспечивает аэробный тип энергопродукции, целью нашего исследования явилось изучение влияния L-карнитина и креатинфосфата на гистохимическую характеристику камбаловидной мышцы крыс, которая является мышцей оксидативного типа.

## Обзор литературы

Скелетные мышцы млекопитающих и человека неоднородны по гистохимической, функциональной и метаболической природе. Состав их мышечных волокон детерминирован генетически и уникален для каждого биологического вида и конкретной мышцы. В зависимости от силы, скорости сокращения и развития утомления мышечные волокна подразделяются на быстрые (белые, гликолитические) и медленные (красные, оксидативные). Также между ними выделяют промежуточный тип мышечных волокон<sup>1</sup>. Медленные мышцы несут основную нагрузку у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, которые требуют большой выносливости.

Камбаловидная мышца у всех млекопитающих в основном образована медленными мышечными волокнами, тогда как содержание волокон быстрого типа минимально [7–9]. В связи с этим орган является весьма удобным объектом исследования адаптации волокон медленного типа к изменяющимся условиям внешней среды [10–12].

## Материалы и методы

Эксперименты выполнялись на белых лабораторных крысах с массой тела 250–300 г. Животные содержались в стандартных условиях вивария при свободном доступе к воде и корму. Для моделирования динамической физической нагрузки животных ежедневно подвергали плаванию «до отказа» с дополнительной нагрузкой, составляющей 10 % от массы тела [13–14] в течение 20 сут.

Подопытные животные (n = 24) были разделены на 4 группы (по 6 особей в каждой). Крысы, находящиеся в условиях стандартной двигательной активности составили контрольную группу № 1. Крысы групп № 2–4 подвергались ежедневной аналогичной динамической нагрузке и получали различную фарма-

<sup>1</sup> Ямщиков Н. В., Григорьева Ю. В., Ардашкин А. П. Морфологические аспекты прижизненного и посмертного повреждения скелетных мышц : монография. Самара : Офорт, 2011. 143 с.



кологическую поддержку: группа № 2 – изотонический раствор хлорида натрия; группы № 3 и № 4 – соответственно L-карнитин («Элькар») и креатинфосфат («Неотон») в дозах по 100,0 мг/кг. Препараты вводили ежедневно однократно внутривенно в объеме 0,5 мл за 15–20 мин. до начала плавания. Через 1 сут. после последней тренировки животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом, и препарировали камбаловидные мышцы (*m. soleus*), которые замораживали в жидком азоте.

Замороженный материал помещали в криостат-микротом OTF5000 (Bright, Великобритания) при  $-20^{\circ}\text{C}$  и готовили серию поперечных срезов толщиной 13 мкм, которые подсушивали на воздухе и проводили гистохимическое окрашивание для определения активности щелочестойкой аденозинтрифосфатазы (АТФ-азы) миозина и сукцинатдегидрогеназной (СДГ) активности мышц<sup>2</sup> [15].

Фотосъемку микропрепаратов осуществляли с помощью микроскопа Eclipse Ni и цифровой камеры DS-Fi1 (Nicon, Япония) с программным обеспечением Nis.ElementsD.4.20.00. Количес-

венно производили подсчет типированных мышечных волокон, оценивали их процентное содержание в мышце, методом прямой морфометрии определяли диаметр волокон. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью t-критерия Стьюдента.

### Результаты исследования

Гистохимическое исследование камбаловидной мышцы крыс группы № 1 (рис 1, а) выявило присутствие в ее составе двух типов мышечных волокон: медленных (тип I) и быстрых (тип II). Анализ полученных результатов показал, что как и у других млекопитающих [8; 16] преимущественным типом мышечных волокон являются волокна I типа [17–18]. Данная морфологическая картина была неизменной у животных всех четырех экспериментальных групп (рис 1).

Количественный учет результатов АТФ-азной активности волокон представлен в табл. 1. Он свидетельствует о генетической предопределенности фенотипа мышечных волокон и неспособности физической нагрузки и изучаемых нами лекарственных средств модулировать данный показатель.

Таблица 1

Table 1

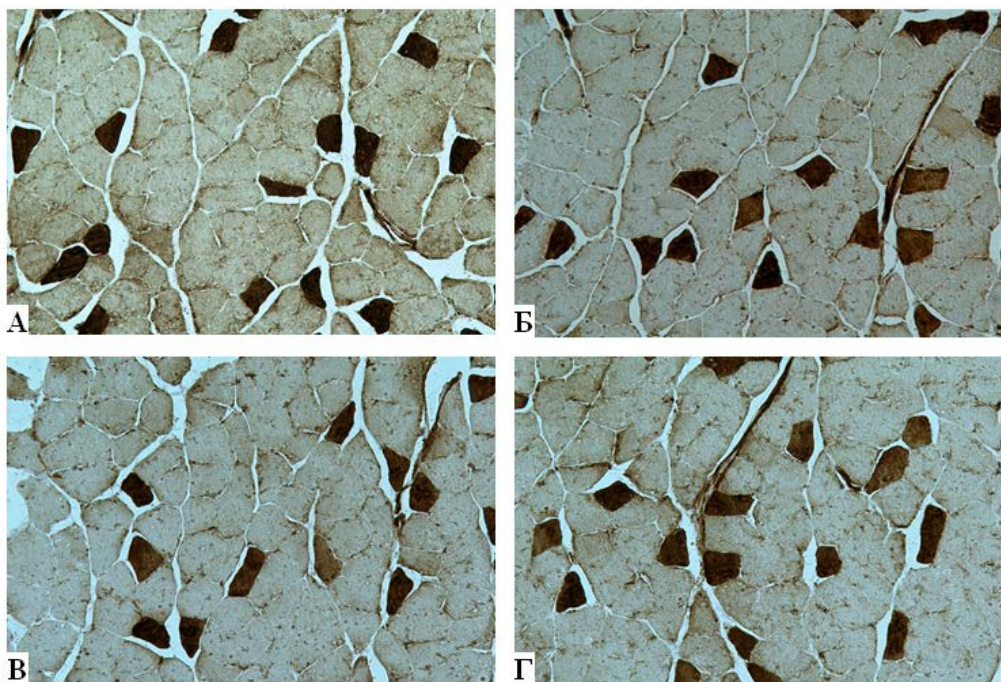
### АТФ-азная активность и диаметр мышечных волокон *musculus soleus* крыс

#### ATP-ase activity and diameter of muscle fibers of *musculus soleus* in rats

№ группы / Number of group	I тип (медленные волокна) / I type (slow fibers)		II тип (быстрые волокна) / II type (fast fibers)	
	Доля, % / Proportion, %	Диаметр, мкм / Diameter, mkm	Доля, % / Proportion, %	Диаметр, мкм / Diameter, mkm
№ 1	94,7 ± 2,15	37,07 ± 0,923	5,3 ± 2,15	44,44 ± 0,695
№ 2	91,7 ± 3,15	42,09 ± 0,680 <sup>#</sup>	8,3 ± 3,15	51,85 ± 0,646 <sup>#</sup>
№ 3	94,6 ± 1,63	40,03 ± 1,337	5,4 ± 1,63	49,96 ± 0,815 <sup>#</sup>
№ 4	91,4 ± 2,86	42,89 ± 0,851 <sup>#</sup>	8,6 ± 2,86	48,90 ± 0,800 <sup>*#</sup>

Примечание: <sup>#</sup> – отличия, достоверные при сравнении с группой № 1 ( $p < 0,05$ ); <sup>\*</sup> – отличия, достоверные при сравнении с группой № 2 ( $p < 0,05$ ) / Note: <sup>#</sup> – differences, significant when compared with group № 1 ( $p < 0,05$ ); <sup>\*</sup> – differences, significant when compared with group № 2 ( $p < 0,05$ )

<sup>2</sup> Пирс Э. Гистохимия. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 962 с.



Р и с. 1. Musculus soleus крыс при гистохимическом выявлении АТФ-азы миозина (x 200): светлые мышечные волокна – I тип, темные мышечные волокна – II тип; а) группа № 1; б) группа № 2; в) группа № 3; г) группа № 4

F i g. 1. Musculus soleus of rats with histochemical detection of myosin ATPase (x 200): Light muscle fibers – I type, dark muscle fibers – II type; A – group № 1; B – group № 2; C – group № 3; D – group № 4

Однако, как показали наши исследования, динамическая физическая нагрузка способствует гипертрофии обоих типов мышечных волокон в составе камбаловидной мышцы. Следует отметить, что диаметр быстрых волокон меняется в несколько большей степени (+16,7 %) чем аналогичный показатель у волокон медленного типа (+13,5 %).

Оба фармакологических препарата способны модулировать процесс формирования гипертрофии мышечных волокон в составе камбаловидной мышцы. На фоне курсового применения L-карнитина не происходило статистически достоверного увеличения диаметра мышечных волокон I типа. Можно констатировать, что в отношении медленных волокон препарат блокирует развитие гипертрофии, опосредованной регулярной физической

нагрузкой. Диаметр волокон II типа на фоне коррекции препаратом, содержащим L-карнитин, также был несколько меньшим, чем у крыс группы № 2, однако статистически большим, чем у крыс без моделирования физической нагрузки. Следовательно, в отношении быстрых волокон L-карнитин лишь ограничивает степень выраженности гипертрофического процесса. Креатинфосфат не оказывал влияния на формирование гипертрофии медленных волокон камбаловидной мышцы. Его эффект на диаметр волокон II типа был однонаправленным с эффектом L-карнитина.

Далее мы оценили сукцинатдегидрогеназную активность мышечных волокон камбаловидной мышцы. Все волокна в составе m. soleus являются гистохимически активными. Однако



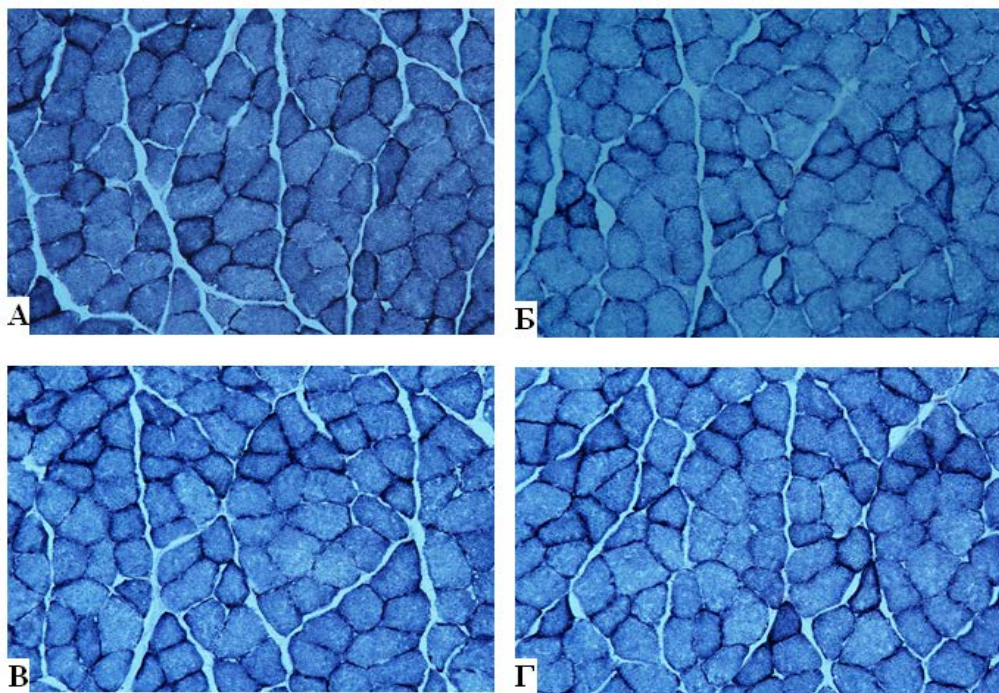
по выраженности активности сукцинатдегидрогеназы мышечные волокна были дифференцированы нами на 2 типа: волокна с высокой и промежуточной активностью (рис. 2, а). Как и в случае с АТФ-азой миозина ни один из факторов исследуемых нами не влиял на соотношение данных типов волокон в составе мышцы по ходу эксперимента (рис. 2). Статистически данный вывод подтвержден материалами, представленными в табл. 2.

Выполненный нами морфометрический анализ свидетельствует, что диаметр мышечных волокон с высокой активностью сукцинатдегидрогеназы меньше, чем с промежуточной активностью данного фермента (табл. 2).

Динамическая физическая нагрузка не сопровождается увеличением

диаметра мышечных волокон с высокой активностью, но способствует гипертрофии волокон с промежуточной активностью сукцинатдегидрогеназы. Препараты L-карнитин и креатинфосфат не способствуют изменениям диаметра волокон с высокой активностью фермента у крыс групп № 3 и № 4 по сравнению с животными группы № 2. Однако диаметр волокон с высокой активностью СДГ на фоне терапии креатинфосфатом статистически превосходил диаметр аналогичных волокон животных группы контроля № 1.

Эффект креатинфосфата в отношении волокон с промежуточной активностью был аналогичным, тогда как L-карнитин, напротив, ограничивал выраженность гипертрофии таких волокон.



Р и с. 2. Musculus soleus крыс при гистохимическом выявлении сукцинатдегидрогеназы (x 200): интенсивно окрашенные волокна – с высокой активностью фермента, средне окрашенные волокна – с промежуточной активностью фермента; а) группа № 1; б) группа № 2; в) группа № 3; г) группа № 4

F i g. 2. Musculus soleus of rats with histochemical detection of succinate dehydrogenase (x 200): intensively colored fibers – with high enzyme activity, medium-colored fibers – with intermediate enzyme activity. A – group № 1; B – group № 2; C – group № 3; D – group № 4

Т а б л и ц а 2

Table 2

**Активность СДГ и диаметр мышечных волокон musculus soleus крыс****Activity of SDG and diameter of muscle fibers of musculus soleus in rats**

№ группы / Number of group	Высокая активность / High activity		Промежуточная активность / Intermediate activity	
	Доля, % / Proportion, %	Диаметр, мкм / Diameter, mkm	Доля, % / Proportion, %	Диаметр, мкм / Diameter, mkm
№ 1	19,9 ± 1,57	43,59 ± 0,599	80,1 ± 1,57	50,71 ± 0,557
№ 2	19,3 ± 1,93	44,73 ± 0,515	80,7 ± 1,93	54,65 ± 0,586 <sup>#</sup>
№ 3	20,8 ± 1,61	44,63 ± 0,682	79,2 ± 1,61	52,47 ± 0,555 <sup>**</sup>
№ 4	21,3 ± 1,34	46,04 ± 0,655 <sup>#</sup>	78,7 ± 1,34	54,49 ± 0,681 <sup>#</sup>

Примечание: <sup>#</sup> – отличия, достоверные при сравнении с группой № 1 ( $p < 0,05$ ); \* – отличия, достоверные при сравнении с группой № 2 ( $p < 0,05$ ) / Note: <sup>#</sup> – differences, significant when compared with group № 1 ( $p < 0,05$ ); \* – differences, significant when compared with group № 2 ( $p < 0,05$ )

**Обсуждение и заключения**

Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о том, что плавание животных «до отказа» не оказывает влияния на соотношение волокон с различными фенотипами в составе камбаловидной мышцы. Данный показатель является генетически детерминированным и не может быть модифицирован лекарственными препаратами метаболического типа действия. Однако диаметр мышечных волокон, во многом зависящий от активности экспрессии генов мышечных белков, способен подвергаться заметному изменению. Динамическая физическая нагрузка способствует развитию гипертрофии мышечных волокон различного типа. Метаболические средства, содержащие L-карнитин и креатинфосфат, либо не оказывают влияния на формирование гипертрофии (в большей степени креатинфосфат) либо ослабляют интенсивность гипертрофического процесса (в большей степени L-карнитин) в условиях

динамической физической нагрузки и фармакологической коррекции продолжительностью 20 сут. В мировой литературе описан анаболический эффект L-карнитина и креатинфосфата [19] и даны рекомендации по использованию препаратов при циклических видах спорта. Однако в этих работах предлагается более длительный курс приема препаратов и как правило, более высокие дозы.

Таким образом, 20-суточный курс L-карнитина и креатинфосфата при эквивалентной длительности физической нагрузки не обладает анаболическим эффектом в отношении камбаловидной мышцы. С учетом данных литературы об их способности эффективно корректировать ряд негативных последствий интенсивных физических нагрузок у атлетов [6; 20], они могут рассматриваться в качестве средств помощи спортсменам различного уровня как лекарственные средства, не обладающие свойствами допинга. Преимуществом данных препаратов может яв-



ляться их способность предупреждать деструктивное действие физической нагрузки и стресса на мышечные во-

локна [21–23]. При этом протекторный эффект проявляется в меньших дозах и в значительно более ранние сроки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Энерготропные препараты в детской спортивной медицине / Н. В. Рылова [и др.] // Профилактическая и клиническая медицина. 2014. Т. 53, № 4. С. 132–140. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23460397>
2. Патогенетические аспекты формирования дезадаптационных изменений сердечно-сосудистой системы, опосредованных физическими нагрузками / Л. А. Балькова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 336–348. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.336-348.
3. Исследование влияния препаратов метаболического типа действия на толерантность к физическим нагрузкам в эксперименте / М. И. Альяшева [и др.] // Вопросы курортологии физиотерапии и лечебной физической культуры. 2007. № 4. С. 15–17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9901915>
4. **Безуглая В. В.** Перспективы применения метаболитотропных препаратов в системе стресс-протекции сердечно-сосудистой системы // Спортивная медицина: наука и практика. 2014. № 1. Приложение. С. 22–24. DOI 10.17238/ISSN2223-2524
5. **Sharma S., Black S. M.** Carnitine homeostasis, mitochondrial function, and cardiovascular disease // Drug Discovery Today Disease Mechanisms. 2009. Vol. 6, no. 1-4. P. 31–39. DOI: 10.1016/j.ddmec.2009.02.001
6. Изменения сердечно-сосудистой и иммунной систем у юных спортсменов: положительные эффекты L-карнитина / Л. А. Балькова [и др.] // Педиатрия : приложение к журналу «Consilium Medicum». 2014. № 4. С. 20–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846784>
7. **Зырянова Т. Ю., Марков А. Г.** Сравнение характеристик мышечных волокон скелетных мышц мышей линии C57BL/6J и нокаутных по гену CD97 // Вестник Санкт-Петербургского университета (Сер. 11 «Медицина»). 2013. № 2. С. 201–210. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19410163>
8. **Punkt K.** Fibre types in skeletal muscles // Advances in anatomy, embryology, and cell biology. 2002. Vol. 162. P. 1–112. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11892240>
9. **Валиуллин В. В., Девятаев А. М., Зивевский С. А.** Гипотиреоз ослабляет развитие денервационных изменений в быстрой и медленной скелетных мышцах морской свинки // Морфология. 2009. Т. 136, № 4. С. 27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13080421>
10. **James R. S., Altringham J. D., Goldspink D. F.** The mechanical properties of fast and slow skeletal muscles of the mouse in relation to their locomotory function // The Journal of Experimental Biology. 1995. Vol. 198. P. 491–502. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7699317>
11. L-Carnitine supplement reduces skeletal muscle atrophy induced by prolonged hindlimb suspension in rats / J. Jang [et al.] // Applied Physiology, Nutrition and Metabolism. 2016. Vol. 41. P. 1240–1247. DOI: 10.1139/apnm-2016-0094
12. Muscle composition after 14-day hindlimb unloading in rats: effects of two herbal compounds / H. Zhang [et al.] // Aviation Space and Environmental Medicine. 2007. Vol. 78, no. 10. P. 926–931. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17955939>
13. **Бархина Т. Г., Криштоп В. В., Полянская Л. И.** Морфофункциональная характеристика щитовидной железы в условиях динамической и статической физических нагрузок // Вестник Ивановской медицинской академии. 2006. Т. 11, № 1-2. С. 27–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12807843>
14. Анализ конформационных состояний гемопорфирина гемоглобина при различных видах физических нагрузок в эксперименте / И. А. Хуторская [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, № 3 С. 55–61. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26674043>
15. **Guth L., Samaha F. I.** Procedure for the histochemical demonstration of actomyosin ATPase // Experimental Neurology. 1970. Vol. 28. P. 365–367. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4248172>



16. Методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека / А. В. Самсонова [и др.] // Труды кафедры биомеханики университета имени П. Ф. Лесгафта. 2012. № 6. С. 18–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22563311>
17. Effects of running exercise during recovery from hindlimb unloading on soleus muscle fibers and their spinal motoneurons in rats / A. Ishihara [et al.] // Journal of Neuroscience Research. 2004. Vol. 48. P. 119–127. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14741386>
18. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads / R. S. Staron [et al.] // Journal of Histochemistry and Cytochemistry. 1984. Vol. 32, № 2. P. 146–152. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6229571>
19. The effects of creatine long-term supplementation on muscle morphology and swimming performance in rats / A. Yildiz [et al.] // Journal of Sports Science and Medicine. 2009. Vol. 8, no. 4. P. 516–522. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761556/pdf/jssm-08-516.pdf>
20. Increasing skeletal muscle carnitine availability does not alter the adaptations to high-intensity interval training / C. E. Shannon [et al.] // Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 2017. Mar 27. DOI: 10.1111/sms.12885
21. Effects of prolonged L-carnitine administration on delayed muscle pain and CK release after eccentric effort / M. A. Giamberardino [et al.] // International Journal of Sports Medicine. 1996. Vol. 17. P. 320. DOI: 10.1055/s-2007-972854
22. The effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on hormonal responses to resistance exercise and recovery / W. J. Kraemer [et al.] // The Journal of Strength & Conditioning Research. 2003. Vol. 17. P. 455. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12930169>
23. **Karlic H., Lohninger A.** Supplementation of L-Carnitine in fithletes: does it make sense? // Nutrition. 2004. Vol. 20, no. 7-8. P. 709–715. DOI: 10.1016/j.nut.2004.04.003

*Поступила 28.06.2017; принята к публикации 26.07.2017; опубликована онлайн 29.09.2017*

*Об авторах:*

**Хуторская Ирина Александровна**, ассистентка кафедры цитологии, гистологии и эмбриологии с курсами медицинской биологии и молекулярной биологии клетки, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5553-0525>**, [alfa200890@yandex.ru](mailto:alfa200890@yandex.ru)

**Балашов Владимир Павлович**, заведующий кафедрой цитологии, гистологии и эмбриологии с курсами медицинской биологии и молекулярной биологии клетки, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор биологических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9419-1498>**, [bvp63@yandex.ru](mailto:bvp63@yandex.ru)

**Балыкова Лариса Александровна**, директор Медицинского института, заведующая кафедрой педиатрии, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2290-0013>**, [larisabalikova@yandex.ru](mailto:larisabalikova@yandex.ru)

**Шаймарданова Гульнара Фердинантовна**, научный сотрудник лаборатории молекулярных основ патогенеза КИББ «Казанский научный центр РАН» (420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31, а/я 30), доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ГБОУ ВПО «Казанский ГМУ» Минздрава России (420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49), доктор биологических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4472-6674>**, [gulnara\\_kzn@rambler.ru](mailto:gulnara_kzn@rambler.ru)

**Васильева Алина Рустемовна**, студентка ГБОУ ВПО «Казанский ГМУ» Минздрава России (420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9779-6823>**, [alfa200890@yandex.ru](mailto:alfa200890@yandex.ru)

**Гущина Светлана Валентиновна**, профессор кафедры цитологии, гистологии и эмбриологии с курсами медицинской биологии и молекулярной биологии клетки, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор биологических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2314-4774>**, [sguschin@mail.ru](mailto:sguschin@mail.ru)



**Ломонова Татьяна Владимировна**, лаборантка кафедры цитологии, гистологии и эмбриологии с курсами медицинской биологии и молекулярной биологии клетки, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6601-5043>**, [t.lomova@mail.ru](mailto:t.lomova@mail.ru)

*Вклад соавторов:*

И. А. Хуторская: проведение экспериментальной работы, подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; В. П. Балашов: научное руководство, определение замысла и методологии статьи, критический анализ и доработка текста; Л. А. Балькова: изучение концепции, критический анализ и доработка текста; Г. Ф. Шаймарданова: сбор литературных данных и доказательств и их формализованный анализ, курирование данных; А. Р. Васильева: верстка, редактирование текста, работы по статистической обработке данных; С. В. Гущина: сбор литературных данных на иностранных языках и их анализ, перевод информации для статьи на английский язык; Т. В. Ломонова: проведение экспериментальной работы, статистическая обработка данных.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Rylova N. V., Biktimirova A. A., Samoilov A. S., Nazarenko A. S. Energotropic drugs in pediatric sport medicine. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* = Preventive and clinical medicine. 2014; 53(4):132–140. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23460397> (In Russ.)
2. Balykova L. A., Ivyanskiy S. A., Gromova Ye. V., Varlashina K. A., Shchekina N. V., Davydova P. A. Pathogenesis aspects of formation of the disadaptation changes of cardiovascular system, coursed by intensive physical. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 26(3):336–348. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.336-348 (In Russ.)
3. Almyasheva M. I., Balashov V. P., Ivyanskiy S. A., Markelova I. A., Kulkova N. P., Balykova L. A. Experimental study of the effects of metabolic drugs on exercise tolerance. *Voprosy kurortologii fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kultury* = Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Training. 2007; 4:15–17. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9901915> (In Russ.)
4. Bezuglaya V. V. Prospects for the use of metabolotropic drugs in the system of stress-protection of the cardiovascular system. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* = Sports Medicine: Research and Practice. 2014; 1 (application):22–24. DOI 10.17238/ISSN2223-2524 (In Russ.)
5. Sharma S., Black S. M. Carnitine homeostasis, mitochondrial function, and cardiovascular disease. *Drug Discovery Today Disease Mechanisms*. 2009; 6(1-4):31–39. DOI: 10.1016/j.ddmec.2009.02.001
6. Balykova L. A., Ivyanskiy S. A., Shirokova A. A., Urzyaeva A. N., Shchekina N. V. Changes in the cardiovascular and immune system in young athletes: the positive effects of L-carnitine. *Pediatrics. Prilozheniye k zhurnalu "Consilium Medicum"* = Pediatrics. Supplement to Consilium Medicum. 2014; 4:20–24. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846784> (In Russ.)
7. Zyryanova T. Yu., Markov A. G. [Comparison of the characteristics of muscle fibers of skeletal muscles of C57BL / 6J mice and CD97 knockout mice]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta: Meditsina* = St Petersburg University Bulletin: Medicine. 2013; 2:201–210. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19410163> (In Russ.)
8. Punkt K. Fibre types in skeletal muscles. *Advances in Anatomy, Embryology, and Cell Biology*. 2002; 162:1–112. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11892240>
9. Valiullin V. V., Devyataev A. M., Zizevsky S. A. Hypothyroidism weakens the development of denervation changes in fast and slow skeletal muscle of guinea pig. *Morfologiya* = Morphology. 2009; 136(4):27a. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13080421> (In Russ.)
10. James R. S., Altringham J. D., Goldspink D. F. The mechanical properties of fast and slow skeletal muscles of the mouse in relation to their locomotory function. *Journal of Experimental Biology*. 1995; 198:491–502. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7699317>

11. Jang J., Park J., Chang H., Lima K. L-Carnitine supplement reduces skeletal muscle atrophy induced by prolonged hindlimb suspension in rats. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2016; 41:1240–1247. DOI: 10.1139/apnm-2016-0094
12. Zhang H., He Z., Gao Y., Hinghofer-Szalkay H. G., Fan X. Muscle composition after 14-day hindlimb unloading in rats: effects of two herbal compounds. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 2007; 78(10):926–931. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17955939>
13. Barkhina T. G., Krishtop V. V., Polyanskaya L. I. Morphofunctional characteristics of the thyroid gland under conditions of dynamic and static physical activity. *Vestnik Ivanovskoy meditsinskoy akademii* = *Ivanovo Medical Academy Bulletin*. 2006; 11(1-2):27–31. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12807843> (In Russ.)
14. Khutorskaya I. A., Balashov V. P., Balykova L. A., Bystrova E. V., Balashov A. V. Analysis of conformational states of hemoglobin hemoporphyrin at different types of physical loads in the experiment. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* = *Journal of New Medical Technologies*. 2016; 23(3):55–61. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26674043> (In Russ.)
15. Guth L., Samaha F. I. Procedure for the histochemical demonstration of actomyosin ATPase. *Experimental Neurology*. 1970; 28:365–367. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4248172>
16. Samsonova A. V., Barnikova I. E., Borisevich M. A., Vakhnin A. V. Methods for evaluating the composition of muscle fibers in human skeletal muscles. *Trudy kafedry biomekhaniki universiteta im. P. F. Lesgafta* = *Proceedings of Chair of Biomechanics of Lesgaft University*. 2012; 6:18–27. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22563311> (In Russ.)
17. Ishihara A., Kawano F., Ishioka N., Oishi H., Higashibata A., Shimazu T., et al. Effects of running exercise during recovery from hindlimb unloading on soleus muscle fibers and their spinal motoneurons in rats. *Journal of Neuroscience Research*. 2004; 48:119–127. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14741386>
18. Staron R. S., Hikida R. S., Hagerman F. C., Dudley G. A., Murray T. F. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 1984; 32(2):146–152. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6229571>
19. Yildiz A., Ozdemir E., Gulturk S., Erdal S. The effects of creatine long-term supplementation on muscle morphology and swimming performance in rats. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2009; 8(4):516–522. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761556/pdf/jssm-08-516.pdf>
20. Shannon C. E., Ghasemi R., Greenhaff P. L., Stephens F. B. Increasing skeletal muscle carnitine availability does not alter the adaptations to high-intensity interval training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2017. DOI: 10.1111/sms.12885
21. Giamberardino M. A., Dragani L., Valente R., Di Lisa F., Saggini R., Vecchiet L. Effects of prolonged L-carnitine administration on delayed muscle pain and CK release after eccentric effort. *International Journal of Sports Medicine*. 1996; 17:320. DOI: 10.1055/s-2007-972854
22. Kraemer W. J., Volek J. S., French D. N., Rubin M. R., Sharman M. J., Gómez A. L., et al. The effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on hormonal responses to resistance exercise and recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2003; 17:455. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12930169>
23. Karlic H., Lohninger A. Supplementation of L-carnitine in athletes: Does it make sense? *Nutrition*. 2004; 20(7-8):709–715. DOI: 10.1016/j.nut.2004.04.003

*Submitted 28.06.2017; revised 26.07.2017; published online 29.09.2017*

*About the authors:*

**Irina A. Khutorskaya**, Assistant of Chair of Cytology, Histology and Embryology with Courses of Medical Biology and Molecular Biology of Cell, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5553-0525>, [alfa200890@yandex.ru](mailto:alfa200890@yandex.ru)

**Vladimir P. Balashov**, Head of Chair of Cytology, Histology and Embryology with Courses of Medical



Biology and Molecular Biology of Cell, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Biology), Professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9419-1498>**, [bvp63@yandex.ru](mailto:bvp63@yandex.ru)

**Larisa A. Balykova**, Director of the Medical Institute, Head of Chair of Pediatrics, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Medicine), Professor, Corresponding Member of RAS, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2290-0013>**, [larisabalykova@yandex.ru](mailto:larisabalykova@yandex.ru)

**Gulnara F. Shaymardanova**, Researcher of Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Science Centre of the Russian Academy of Sciences (2/31 Lobachevskogo St., Kazan 420111, Russia), Assistant of Chair of Histology, Cytology and Embryology, Kazan State Medical University (49 Butlerova St., Kazan, Russia), Dr.Sci. (Biology), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4472-6674>**, [gulnara\\_kzn@rambler.ru](mailto:gulnara_kzn@rambler.ru)

**Alina R. Vasilyeva**, Student of Kazan State Medical University (49 Butlerova St., Kazan 420012, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9779-6823>**, [alfa200890@yandex.ru](mailto:alfa200890@yandex.ru)

**Svetlana V. Gushchina**, Professor of Chair of Cytology, Histology and Embryology with Courses of Medical Biology and Molecular Biology of Cell, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Biology), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2314-4774>**, [sguschin@mail.ru](mailto:sguschin@mail.ru)

**Tatyana V. Lomonova**, Laboratory Assistant, Histology and Embryology with Courses of Medical Biology and Molecular Biology of Cell, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6601-5043>**, [t.lomova@mail.ru](mailto:t.lomova@mail.ru)

*Contribution of the co-authors:*

I. A. Khutorskaya: conducting the experimental work, writing the draft, analyzing the relevant literature; V. P. Balashov: managing the research project, developing the theoretical framework and methods of research, critical reviewing the final text; L. A. Balykova: developing the theoretical framework, critical the final text; G. F. Shaymardanova: reviewing the relevant literature and data processing; A. R. Vasilyeva: formatting the final text, statistical data processing; S. V. Gushchina: reviewing the relevant literature and analyzing the data; T. V. Lomonova: carried out experimental work, statistical data processing.

*All authors have read and approved the final version of the manuscript.*