

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРНИТИНОВОГО ОБМЕНА ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ МЕТОДОМ ТАНДЕМНОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ю. Людина¹, salu_06@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4849-4735>

Ж.Е. Иванкова¹, shivank@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7733-2407>

А.С. Самойлов², fmbc.fmba@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

Н.В. Рылова², rilovanv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9248-6292>

Е.Р. Бойко¹, boiko60@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

¹ Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия

² Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Аннотация. Цель: провести сравнительный анализ уровня метаболитов карнитинового обмена у юношей в зависимости от уровня спортивной подготовки. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 12 спортсменов (плавание) и 7 подростков, не имеющих регулярной интенсивной физической нагрузки, в качестве контрольной группы. Профили свободного карнитина (C0) и ацилкарнитин в плазме крови были исследованы с помощью тандемной хромато-масс-спектрометрии. **Результаты.** Показатели карнитинового обмена у юных спортсменов и нетренированных юношей в пределах нормы. Анализ основных метаболических параметров и профилей ацилкарнитин в плазме крови показал отсутствие значимых отличий в показателях карнитинового обмена (свободного и связанного карнитина, ацилкарнитин) между двумя группами. Установлены значимые различия между коэффициентами ацилкарнитин/карнитин, измеренными в сравниваемых группах ($p = 0,018$). Показаны значимые положительные корреляции между содержанием связанного карнитина и уровнем C14 (тетрадеканоилкарнитин) ($r = 0,65$; $p = 0,022$), а также коэффициентом АК/С0 и уровнем C14 ($r = 0,72$; $p = 0,007$) в плазме крови спортсменов. **Заключение.** Дальнейшее исследование карнитинового обмена у спортсменов даст возможность прогнозирования состояния физической работоспособности и определит меры профилактики ухудшения состояния здоровья при интенсивных физических нагрузках.

Ключевые слова: юные спортсмены, свободный и связанный карнитин, ацилкарнитины, тандемная хромато-масс-спектрометрия

Для цитирования: Анализ показателей карнитинового обмена юных спортсменов методом тандемной хромато-масс-спектрометрии / А.Ю. Людина, Ж.Е. Иванкова, А.С. Самойлов и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 3. С. 39–46. DOI: 10.14529/hsm230305

LC/MS ANALYSIS OF CARNITINE METABOLISM IN YOUNG ATHLETES

A.Yu. Lyudinina¹, salu_06@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4849-4735>

Z.E. Ivankova¹, shivank@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7733-2407>

A.S. Samoylov², fmbc.fmba@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

N.V. Rylova², rilovanv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9248-6292>

E.R. Boyko¹, boiko60@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

¹ Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

² Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to compare the levels of carnitine metabolites depending on physical performance in young athletes. **Materials and methods.** The study involved 12 athletes and 7 young males who do not have any regular, intense physical activity as a control group. The levels of free carnitine (C0) and acylcarnitines in blood plasma were measured using liquid chromatography-mass spectrometry (LC/MS). **Results.** All parameters of carnitine metabolism in young athletes and untrained males are within the normal range. Analysis of the main metabolic parameters showed no significant intergroup differences in both free and bound carnitine and acylcarnitines. Significant differences were observed with respect to the acylcarnitine/carnitine ratio in the compared groups ($p = 0.018$). Positive correlations were found between bound carnitine and C14 (tetradecanoylcarnitine) ($r = 0.65$; $p = 0.022$), as well as between the AC/C0 ratio and C14 ($r = 0.72$; $p = 0.007$) in the blood plasma of athletes. **Conclusion.** Further study of carnitine metabolism in athletes will make it possible to predict their physical performance and prevent health deterioration due to intense physical exercise.

Keywords: young athletes, free and bound carnitine, acylcarnitines, liquid chromatography-mass spectrometry

For citation: Lyudinina A.Yu., Ivankova Z.E., Samoylov A.S., Rylova N.V., Boyko E.R. LC/MS analysis of carnitine metabolism in young athletes. *Human. Sport. Medicine*. 2023;23(3):39–46. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230305

Введение. Метаболические факторы играют центральную роль в утомлении во время длительных упражнений на выносливость. Мышечный и печеночный гликоген является основным источником энергии в начале и на поздних этапах гонки на выносливость [14], поддерживая сократительные свойства мышц и замедляя развитие утомления [5, 14]. Улучшить энергетические резервы можно за счет использования большего количества жирных кислот и карнитиновых производных, а также экономии гликогена [14].

Концентрация в крови метаболитов карнитинового обмена митохондриального происхождения отражает транспорт жирных кислот [3, 4, 11, 16]. L-карнитин играет основную физиологическую роль в митохондриальном β -окислении, в обмене ацильных и ацетильных групп с КоА в митохондриях, и, таким образом, в изменении соотношения ацил-КоА/КоА, и, соответственно, соотношения ацилкарнитин/карнитин, в образовании кето-

новых тел, в окислении жирных кислот в пероксисомах [6, 10].

Доказано, что для оценки особенностей клеточной энергетики (в зависимости от пола и вида физической нагрузки) необходимо изучать состояние карнитинового обмена. Большинство работ по карнитинового обмена в спорте посвящены изучению приема добавок, содержащих карнитин. Во многих исследованиях отмечается недостаточная эффективность перорального приема L-карнитина, которую связывают с его низкой биодоступностью и неспособностью увеличить запасы карнитина в мышцах [1, 2, 13]. Учитывая ограниченные исследования в области карнитинового обмена и практически полное отсутствие работ об уровне метаболитов карнитинового обмена в крови спортсменов, необходимы дальнейшие исследования для выяснения роли карнитина в повышении ФР. Кроме того, карнитин и ацилкарнитины могут быть биомаркерами митохондриального метаболизма и

служить для диагностики потенциала энергообмена клетки.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ уровня метаболитов карнитинового обмена у юношей в зависимости от уровня спортивной подготовки.

Материалы и методы. Были обследованы подростки (юноши, в возрасте от 15 до 18 лет, I–II группы здоровья). Среди них 12 человек, занимающихся плаванием (интенсивная физическая нагрузка не менее 12 часов в неделю – 3 и более раз в неделю в течение последних 6 или более месяцев). Группу контроля составили остальные 7 юношей (16 лет), не занимающихся интенсивной физической нагрузкой (занятия физической культурой 2 раза в неделю в рамках школьного расписания). Обследования проводились при согласии родителей.

Определение уровня свободного (C0) и связанного карнитина, ацилкарнитин (C8, C10, C12, C14:1, C16, C18, C18:1) проводилось методом tandemной хромато-масс-спектрометрии с ионизацией в электроспрее (tandemный хромато-масс-спектрометр Agilent 6410, США, производитель Agilent Technologies) в соответствии со стандартными протоколами. Биоимпедансметрия, кардиореспираторное нагрузочное тестирование проводилось на базе ФГБОУ ВПО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», г. Казань.

Статистическую обработку результатов осуществляли при помощи программы Statistica (версия 8.0, StatSoft, Inc. 2007). Учитывая немногочисленность исследуемых выборок и существенные индивидуальные различия в значениях определяемых показателей, проводили проверку данных на нормальность распределения с применением критерия Шапиро –

Уилка. Поскольку полученные данные не подчинялись нормальному закону распределения, использовали непараметрические методы сравнения – U-критерий Манна – Уитни. Результаты представлены в виде $M \pm SD$. Критическим уровнем значимости статистических гипотез принимали $p < 0,05$. Взаимосвязь признаков оценивалась с помощью метода ранговой корреляции Спирмена.

Результаты и обсуждение. В изучаемых группах было проведено морфофункциональное исследование, а также определение относительного и абсолютного значений МПК юношей, занимающихся плаванием, и у обследуемых из контрольной группы (табл. 1).

Отличий в массе тела мальчиков-спортсменов и контрольной группы обнаружено не было. Процентное содержание жира достоверно ниже на 42,5 % ($p = 0,001$) у пловцов по сравнению с контрольной группой. При сравнении относительного и абсолютного уровня МПК в исследуемых группах показано статистически значимые различия ($p = 0,001$). У спортсменов уровень МПК выше на 51,3 % как в относительных, так и в абсолютных значениях, что говорит о более эффективном энергообмене при аэробных нагрузках в циклических видах спорта и сопоставимо с данными литературы.

Основными характеристиками карнитинового обмена являются содержание свободного (C0) и связанного карнитина (AK), а также коэффициент их соотношения AK/C0.

Результаты сравнения показателей карнитинового обмена (свободного и связанного карнитина, их соотношения) у обследуемых представлены в табл. 2.

Анализ основных метаболических показателей и профилей ацилкарнитин в плазме

Таблица 1
Table 1

Сравнительная морфофункциональная характеристика обследуемых ($M \pm SD$)
Morphofunctional characteristics of the subjects ($M \pm SD$)

Группа Group	Масса тела, кг Body mass, kg	% жировой массы тела Fat mass, %	Относительное МПК Relative MOC	Абсолютное МПК Absolute MOC
Спортсмены Athletes n = 12	67,9 ± 7,27	13,57 ± 3,7*	60,44 ± 3,8	4,06 ± 0,4
Контроль Control group n = 7	69,43 ± 15,21	23,6 ± 6,38	39,95 ± 7,41	2,68 ± 0,21
Величина p P value	0,799	0,001	0,001	0,001

Таблица 2
Table 2

Показатели карнитинового обмена спортсменов и юношей из контрольной группы (M ± SD)
Carnitine metabolism in athletes and young males in the control group (M ± SD)

Группа Group	Свободный карнитин, мкмоль/л Free carnitine (C0), umol/l	Связанный карнитин, мкмоль/л Bound carnitine (BC), umol/l	AK/C0 BC/C0	Ацетилкарнитин, мкмоль/л Acetylcarnitine, umol/l	% ацетилкарнитина в свободном карнитине % acetylcarnitine in free carnitine, %
Спортсмены Athletes n = 12	37,3 ± 5,5	13,1 ± 2,8	0,36 ± 0,10	6,9 ± 2,1	0,5 ± 0,10
Контроль Control group n = 7	40,6 ± 6,6	11,1 ± 2,5	0,27 ± 0,03	5,7 ± 1,5	0,5 ± 0,04
Величина p P value	0,352	0,236	0,018	0,272	0,499

крови показал, что содержание свободного карнитина в группе детей, занимающихся плаванием, составило $37,3 \pm 5,5$ мкмоль/л, в контрольной группе – $40,6 \pm 6,6$ мкмоль/л ($p = 0,352$). Нормальный диапазон концентрации общего карнитина в плазме составляет 30–90 мкмоль, свободного карнитина – 26–52 мкмоль и ацилкарнитин – 2–10 мкмоль [15].

Содержание связанного карнитина в группе пловцов составило $13,1 \pm 2,7$ мкмоль/л, в контрольной – $11,1 \pm 2,5$ мкмоль/л. Статистически значимых отличий в показателях карнитинового обмена (свободного и связанного карнитина) между двумя группами обнаружено не было. Тем не менее, установлены значимые различия между коэффициентами АК/С0, измеренными в сравниваемых группах ($p = 0,018$). Так, у пловцов этот показатель выше на 31 % по сравнению с контролем. Этот коэффициент используется для дополнительной характеристики содержания АК и С0, а также эффективности клеточной энергетики. Дефицит L-карнитина возникает, когда его концентрация ниже 20 мкмоль или когда отношение АК/С0 выше 0,4 [9]. Снижение С0 может привести к снижению производительности. По результатам нашего исследования данный показатель укладывается в пределы нормы, но так как у пловцов соотношение АК/С0 достоверно выше, то это косвенно указывает на необходимость более эффективного использования карнитина и его ацильных производных в энергообеспечении.

Соответствующие соотношения ацилкарнитин показаны в табл. 3.

Значимых отличий в концентрациях ацил-

карнитин между исследуемыми группами обнаружено не было. Все указанные ацилкарнитины являются производными эндогенных жирных кислот. Вероятно, поэтому не было обнаружено значимых отличий в концентрациях ацилкарнитин между юношами исследованных групп.

С целью изучения вовлечения индивидуальных ацилкарнитин в карнитинный обмен был проведен корреляционный анализ. Результаты анализа представлены на рис. 1, 2. Показаны значимые положительные корреляции между содержанием связанного карнитина и уровнем ацилкарнитина-С14 в плазме крови ($r = 0,65$; $p = 0,022$) в группе спортсменов (см. рис. 1). Кроме того, показана прямая связь между коэффициентом АК/С0 и уровнем С14 ($r = 0,72$; $p = 0,007$) (см. рис. 2) в этой же исследуемой группе. L-карнитин играет основную физиологическую роль в митохондриальном β-окислении за счет транспорта длинноцепочечных жирных кислот из цитозоля в митохондрии [4, 11]. Миристиновая кислота (С14:0) относится к группе длинноцепочечных жирных кислот и, соответственно, транспортируется в митохондрии за счёт карнитинового механизма.

Вероятно, С14:0 наиболее вовлечена в процесс энергообеспечения физической работоспособности у юных спортсменов в видах спорта на выносливость. Известно, что L-карнитин модулирует соотношение ацилкоэнзима А/КоА, служит источником энергии в виде ацетилкарнитина [16]. Аэробные нагрузки (три контролируемые тренировки в неделю в течение 8–16 недель) улучшают митохонд-

Таблица 3
Table 3

Профиль ацилкарнитинов в плазме крови спортсменов и юношей из контрольной группы (M ± SD)
Blood plasma acylcarnitines in athletes and young males in the control group (M ± SD)

Ацилкарнитины, мкмоль/л Acetylcarnitine, umol/l	Спортсмены / Athletes n = 12	Контроль / Control group n = 7	Величина p P value
C8 октаноилкарнитин octanoylcarnitine	0,08 ± 0,12	0,05 ± 0,03	0,933
C10 деканоилкарнитин decanoylcarnitine	0,05 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,899
C12 додеканоилкарнитин dodecanoylcarnitine	0,15 ± 0,07	0,16 ± 0,08	0,375
C14 тетрадеканоилкарнитин tetradecanoylcarnitine	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,866
C16 гексадеканоилкарнитин hexadecanoylcarnitine	0,69 ± 0,29	0,75 ± 0,23	0,833
C18 стеароилкарнитин stearoylcarnitine	0,38 ± 0,16	0,41 ± 0,09	0,582
C14:1 тетрадеценонилкарнитин tetradecenoylcarnitine	0,25 ± 0,1	0,29 ± 0,09	0,352
C16:1 гексадеценонилкарнитин hexadecenoylcarnitine	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,04	0,703
C18:1 олеилкарнитин oleylcarnitine	0,68 ± 0,12	0,67 ± 0,15	0,933

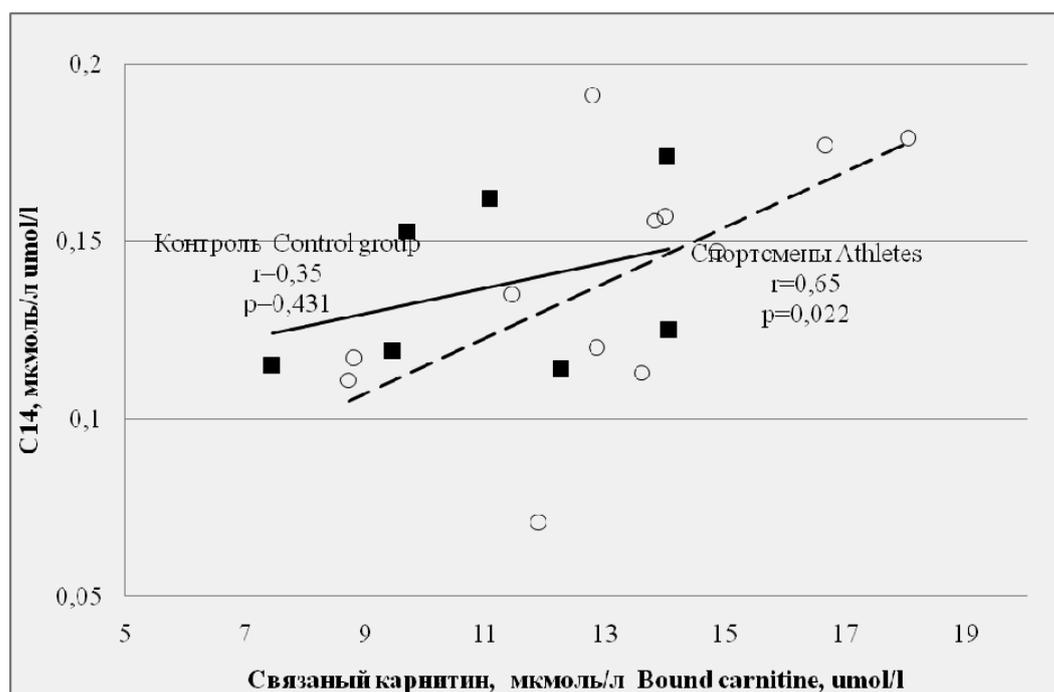


Рис. 1. Содержание C14 в зависимости от концентрации связанного карнитина в плазме крови юношей исследуемых групп
Fig. 1. C14 levels depending on the plasma concentration of bound carnitine in subjects

риальную биоэнергетику и активизируют белки, связанные с метаболизмом липидов, используя в основном пальмитоилкарнитин [17].

Ключевой адаптацией к аэробным нагрузкам является увеличение содержания митохондрий, что необходимо для удовлетворения

энергетических потребностей тренировки на выносливость [16]. Также известно, что аэробные нагрузки усиливают митохондриальную способность окислять жирные кислоты [12] и способствуют повышению запасов внутриклеточных триацилглицеринов [7].

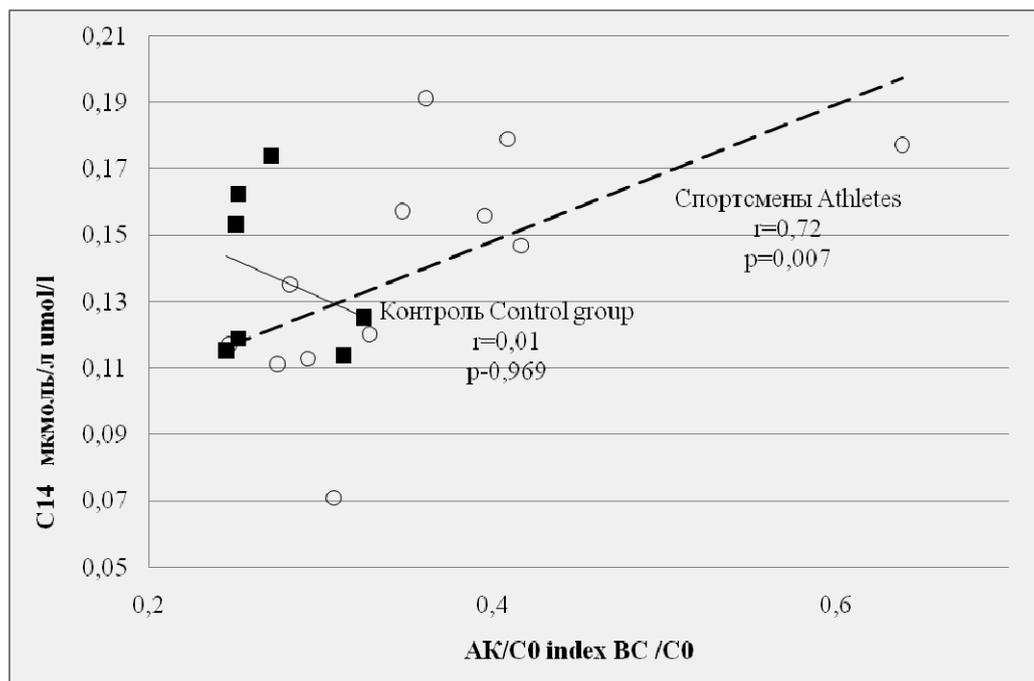


Рис. 2. Содержание в плазме крови C14 в зависимости от коэффициента АК/С0 у юношей исследуемых групп

Fig. 2. C14 plasma levels depending on the BC/C0 ratio in subjects

Ограничения исследования связаны с возрастом обследуемых юношей и их уровнем тренированности. Бесспорно, увеличение объёма выборки участников исследования привело бы к более значимым статистическим данным. Будущие исследования должны быть направлены на увеличение объёма выборки обследуемых лиц и повышение их спортивной квалификации.

Заключение. Таким образом, значимые положительные корреляции между содержанием связанного карнитина ($r = 0,65$; $p = 0,022$)

и коэффициентом АК/С0 ($r = 0,72$; $p = 0,007$) с уровнем C14 (тетрадеcanoилкарнитин) в плазме крови спортсменов позволяют предположить вовлечение миристиновой кислоты (C14:0) в процесс энергообеспечения физической работоспособности юных пловцов.

Исследование показателей карнитинового обмена, а также зависимостей между содержанием карнитина и его ацильных производных даёт возможность оценить состояние физической работоспособности юных спортсменов и состояние клеточного энергообеспечения.

Список литературы / References

1. AbuMoh'd M.F., Obeidat G., Alsababha W. Effect of Oral Supplementation with L-Carnitine on Performance Time in a 5000 m Race and Responses of Free Fatty Acid and Carnitine Concentrations in Trained-Endurance Athletes. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2021, vol. 10, iss. 2, pp. 5–11. DOI: 10.26773/mjssm.210901
2. Barnett C., Costill D.L., Vukovich M.D. et al. Effect of L-Carnitine Supplementation on Muscle and Blood Carnitine Content and Lactate Accumulation During High-Intensity Sprint Cycling. *International Journal of Sport Nutrition*, 1994, vol. 4, iss. 3, pp. 280–288. DOI: 10.1123/ijsn.4.3.280
3. Bene J., Hadzsiev K., Melegh B. Role of Carnitine and its Derivatives in the Development and Management of Type 2 Diabetes. *Nutrition and Diabetes*, 2018, vol. 8, p. 8. DOI: 10.1038/s41387-018-0017-1
4. El-Gharbawy A., Vockley J. Inborn Errors of Metabolism with Myopathy: Defects of Fatty Acid Oxidation and the Carnitine Shuttle System. *Pediatric Clinics of North America*, 2018, vol. 65, pp. 317–335. DOI: 10.1016/j.pcl.2017.11.006
5. Gandevia S.C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*, 2001, vol. 8, iss. 4, pp. 1725–1789. DOI: 10.1152/physrev.2001.81.4.1725

6. Hoppel Ch. The Role of Carnitine in Normal and Altered Fatty Acid Metabolism. *American Journal of Kidney Diseases: the Official Journal of the National Kidney Foundation*, 2003, vol. 41, pp. 4–12. DOI: 10.1016/s0272-6386(03)00112-4
7. Horowitz J.F., Klein S. Lipid Metabolism During Endurance Exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, vol. 72, suppl. 2, pp. 558–563. DOI: 10.1093/ajcn/72.2.558S
8. Irrcher I., Adhietty P.J., Joseph A.M. et al. Regulation of Mitochondrial Biogenesis in Muscle by Endurance Exercise. *Sports Medicine*, 2003, vol. 33, iss. 11, pp. 783–793. DOI: 10.2165/00007256-200333110-00001
9. Lennon D.L.F., Shrago E.R., Madden M. et al. Dietary Carnitine Intake Related to Skeletal Muscle and Plasma Carnitine Concentrations in Adult Men and Women. *Food Chemistry*, 1984, vol. 86, pp. 137–142. DOI: 10.1093/ajcn/43.2.234
10. Löster H., Mieke K., Punzel M. et al. Prolonged Oral L-carnitine Substitution Increases Bicycle Ergometer Performance in Patients with Severe, Ischemically Induced Cardiac Insufficiency. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 1999, vol. 13, pp. 537–546. DOI: 10.1023/A:1007883822625
11. McCann M.R., De la Rosa M.V.G., Rosania G.R., Stringer K.A. L-Carnitine and Acylcarnitines: Mitochondrial Biomarkers for Precision Medicine. *Metabolites*, 2021, vol. 11, iss. 1, p. 51. DOI: 10.3390/metabo11010051
12. Melanson E.L., MacLean P.S., Hill J.O. Exercise Improves Fat Metabolism in Muscle but Does not Increase 24-h Fat Oxidation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2009, vol. 37, iss. 2, pp. 93–101. DOI: 10.1097/JES.0b013e31819c2f0b
13. Novakova K., Kummer O., Bouitbir J. et al. Effect of L-Carnitine Supplementation on the Body Carnitine Pool, Skeletal Muscle Energy Metabolism and Physical Performance in Male Vegetarians. *European Journal of Nutrition*, 2016, vol. 55, iss. 1, pp. 207–217. DOI: 10.1007/s00394-015-0838-9
14. Petersen K., Hansen C.B., Aagaard P., Madsen K. Muscle Mechanical Characteristics in Fatigue and Recovery from a Marathon Race in Highly Trained Runners. *European Journal of Applied Physiology*, 2007, vol. 101, pp. 385–396. DOI: 10.1007/s00421-007-0504-x
15. Rebouche C.J. Carnitine Function and Requirements During the Life Cycle. *FASEB*, 1992, vol. 6, pp. 3379–3386.
16. Reuter S.E., Evans A.M. Carnitine and Acylcarnitines: Pharmacokinetic, Pharmacological and Clinical Aspects. *Clinical Pharmacokinetics*, 2012, vol. 51, pp. 553–572. DOI: 10.1007/BF03261931
17. Warren J.L., Hunter G.R., Gower B.A. et al. Exercise Effects on Mitochondrial Function and Lipid Metabolism during Energy Balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2020, vol. 52, iss. 4, pp. 827–834. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002190

Информация об авторах

Людина Александра Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии Института физиологии, Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

Иванова Жанна Евгеньевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии Института физиологии, Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

Самойлов Александр Сергеевич, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия.

Рылова Наталья Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной нутрициологии Центра спортивной медицины и реабилитации, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия.

Бойко Евгений Рафаилович, доктор медицинских наук, профессор, директор Института физиологии, Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

Information about the authors

Alexandra Yu. Lyudinina, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Ecological and Medical Physiology, Institute of Physiology, Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia.

Zhanna E. Ivankova, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Department of Ecological and Medical Physiology, Institute of Physiology, Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia.

Alexander S. Samoylov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, General Director, Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Natalia V. Rylova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Sports Nutrition, Center for Sports Medicine and Rehabilitation, Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Evgeniy R. Boyko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Physiology, Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia.

Вклад авторов:

Людинина А.Ю. – написание исходного текста; статистическая обработка материалов; концепция исследования.

Иванкова Ж.Е. – написание исходного текста; статистическая обработка материалов; перевод на английский язык, доработка текста.

Самойлов А.С. – научное руководство, итоговые выводы.

Рылова Н.В. – развитие методологии; участие в разработке материалов для исследования; доработка текста.

Бойко Е.Р. – научное руководство; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Lyudinina A.Yu. – writing the original text; statistical processing of data; research concept.

Ivankova Zh.E. – writing the original text; statistical processing of data; translation into English; text revision.

Samoilov A.S. – scientific guidance, final conclusions.

Rylova N.V. – development of methodology; participation in the development of research materials; text revision.

Boyko E.R. - scientific guidance; final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19.06.2023

The article was submitted 19.06.2023