

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

УДК: 612.1

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original Article



Особенности карнитинового обмена у юных спортсменов

А.С. Самойлов¹, А.В. Жолинский², Н.В. Рылова^{1,*}, И.В. Большаков¹

¹ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

²ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить показатели карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций.

Материалы и методы: в данном исследовании приняли участие 46 человек с разным уровнем физической активности в возрасте от 15 до 18 лет. Первую группу составили 18 девочек, профессионально занимающихся хоккеем на траве (средний возраст — 16,17 ± 0,31 года). Во вторую группу включены спортсмены-пловцы общим количеством 21 человек (10 девушек и 11 мальчиков, средний возраст — 17,00 ± 0,26 года). В группу контроля вошли 7 юношей со стандартным режимом двигательной активности, не занимающихся спортом (возраст испытуемых — 16 лет). В процессе исследования применялся метод жидкостной тандемной хромато-масс-спектрометрии с ионизацией в электроспрее. Материал для исследования — капиллярная кровь. В результате анализа материала определялись концентрации связанного карнитина (ацилкарнитин) и свободного карнитина в мкмоль/л.

Результаты: сравнительный анализ крови между тремя группами продемонстрировал различия показателей свободного карнитина. Было показано, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем в группах спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми ($p > 0,05$). Установлено, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами ($p < 0,001$).

Заключение: снижение показателей свободного карнитина в группе спортсменов-хоккеистов, возможно, является следствием долговременной адаптации организма к условиям, в которых главным энергетическим субстратом для работающих мышц является глюкоза. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения точных механизмов развития данного явления.

Ключевые слова: карнитин, ацилкарнитин, спортсмены, дети, окисление жирных кислот

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Самойлов А.С., Жолинский А.В., Рылова Н.В., Большаков И.В. Особенности карнитинового обмена у юных спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):40–44. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

Поступила в редакцию: 22.04.2022

Принята к публикации: 30.08.2022

Online first: 25.09.2022

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Features of carnitine metabolism in young athletes

Alexander S. Samoilov¹, Andrey V. Zholinsky², Natalia V. Rylova^{1,*}, Ivan V. Bolshakov¹

¹Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

²Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: to study the indicators of carnitine metabolism in young athletes of various specializations.

Materials and methods: This study involved 46 people with different levels of physical activity aged 15 to 18 years. The first group consisted of 18 girls professionally involved in field hockey (mean age, 16.17 ± 0.31 years). The second group included 21 swimmers (10 girls and 11 boys, mean age 17.00 ± 0.26 years). The control group included 7 young men with a standard mode of motor activity, not involved in sports (the age of the subjects was 16 years). In the course of the study, the method of liquid tandem chromatography-mass spectrometry with ionization in an electrospray was used.

The material for research is capillary blood. As a result of the analysis of the material, the concentrations of bound carnitine (acylcarnitines) and free carnitine were determined in $\mu\text{mol/l}$.

Results: Comparative blood analysis between the three groups showed differences in free carnitine levels. It was shown that the concentration of free carnitine in the blood plasma of field hockey athletes was significantly lower than in the groups of swimmers and non-athletes ($p < 0.001$). At the same time, the values of indicators of bound carnitine did not differ significantly between all subjects. We also studied that the values of the carnitine coefficient were significantly higher in the group of hockey players compared to other groups ($p < 0.001$).

Conclusion: The decrease in free carnitine levels in the group of hockey players is probably the result of long-term adaptation of the body to conditions in which glucose is the main energy substrate for working muscles. Further studies are needed to clarify the exact mechanisms of development of this phenomenon.

Keywords: carnitine, acylcarnitine, athletes, children, fatty acid oxidation

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

For citation: Samoilov A.S., Zholinsky A.V., Rylova N.V., Bolshakov I.V. Features of carnitine metabolism in young athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):40–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

Received: 22 April 2022

Accepted: 30 August 2022

Online first: 25 September 2022

Published: 1 February 2023

***Corresponding author**

1. Введение

Карнитин представляет собой производное аминокислот метионина и лизина. Данное вещество играет важную роль в энергетическом обеспечении тканей и органов человеческого организма. Основной функцией карнитина является транспорт длинноцепочечных жирных кислот из цитозоля в митохондриальный матрикс, где в они в последующем подвергаются β -окислению [1, 2]. Продукты β -окисления (две молекулы углерода) затем используются в цикле Кребса для производства аденозинтрифосфата (АТФ). Митохондриальное окисление жирных кислот является важным путем поддержания энергетического гомеостаза в организме, особенно во время голодания и выполнения продолжительных физических упражнений аэробного характера [3]. Другими установленными функциями карнитина являются обеспечение целостности клеточных мембран, стабилизация физиологического соотношения кофермент А/ацетил-КоА в митохондриях, снижение продукции лактата, регуляция протеолиза и синтеза белка [4]. Также было показано, что данное соединение обладает противовоспалительной и антиоксидантной активностью [5].

Карнитин эндогенно синтезируется в печени, почках и головном мозге при участии витамина С, витамина В₆, ниацина и восстановленного железа в качестве кофакторов. При этом биосинтез карнитина составляет лишь 25 % от суточной потребности, остальное количество поступает с пищей. Основным источником является красное мясо, в 100 г которого может содержаться до 140–190 мг карнитина. Напротив, продукты растительного происхождения содержат незначительное количество данного вещества [6]. Существуют также биологически активные добавки, содержащие карнитин, которые применяются многими спортсменами для улучшения переносимости физических нагрузок, повышения производительности, уменьшения чувства усталости и снижения массы тела [7]. Однако следует отметить, что биодоступность карнитина из пищевых источников составляет в среднем

54–86 %, в то время как биодоступность добавок карнитина составляет по разным данным от 9 до 25 % [6].

Было исследовано, что общее содержание карнитина в организме человека составляет около 300 мг/кг, при этом около 95 % хранится внутриклеточно в сердце и скелетных мышцах, а остальная часть — в печени, почках и плазме. В состоянии покоя карнитиновый пул скелетных мышц распределяется следующим образом: 80–90 % свободного карнитина, 10–20 % короткоцепочечных ацилкарнитинов (с числом атомов углерода менее 10) и около 5 % длинноцепочечных ацилкарнитинов (с числом атомов углерода более 10). Количество циркулирующего карнитина в плазме составляет всего 0,5 % от общего количества данного вещества в организме [4]. В крови человека карнитин в основном находится в свободной форме (70–80 %) и в форме ацилкарнитинов (20–30 %), большая часть которых представлена ацетил-карнитином. В норме уровень свободной формы карнитина в плазме крови составляет 20–60 мкмоль/л [8]. Довольно информативно определение соотношения связанной формы карнитина и свободного карнитина (карнитиновый коэффициент). В норме данное соотношение не превышает 0,6. Высокие значения коэффициента свидетельствуют об относительной недостаточности свободного карнитина [8].

Изменения содержания отдельных форм карнитина в крови наблюдаются при различных заболеваниях. Было исследовано, что повышенные уровни ацилкарнитинов наблюдаются у пациентов с диабетом 2-го типа, сердечной недостаточностью, а также у взрослых среднего и пожилого возраста с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями. Данная закономерность обусловлена тем, что снижение доступности кислорода ухудшает окисление жирных кислот и ведет к последующему накоплению ацил-КоА и ацилкарнитинов в митохондриях [9]. К снижению содержания свободного карнитина и увеличению карнитинового коэффициента приводят такие состояния, как гиповитаминоз витаминов С и В, генетические заболевания (первичный

системный дефицит карнитина, дефекты в обмене аминокислот и липидов), нарушения почечной реабсорбции (диета с повышенным содержанием белков и жиров, беременность), снижение потребления карнитина, почечная недостаточность и другие [10]. Также на уровень содержания карнитина в крови предположительно может влиять характер физической активности человека.

Цель исследования: изучить показатели карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций.

2. Материалы и методы

В данном исследовании приняли участие 46 человек с разным уровнем физической активности в возрасте от 15 до 18 лет. Первую группу составили 18 девочек, профессионально занимающихся хоккеем на траве (средний возраст — $16,17 \pm 0,31$ года). Во вторую группу включены спортсмены-пловцы общим количеством 21 человек (10 девушек и 11 мальчиков, средний возраст — $17,00 \pm 0,26$ года). В группу контроля вошли 7 юношей со стандартным режимом двигательной активности, не занимающихся спортом (возраст испытуемых — 16 лет). Перед исследованием все участники были устно проинформированы о целях и методах исследования. Проводился опрос по анкете, включающей информацию о данных личного характера (ФИО), наличии хронических заболеваний и уровне физической активности. Каждый испытуемый подписал информированное добровольное согласие. В процессе исследования применялся метод жидкостной тандемной хромато-масс-спектрометрии с ионизацией в электроспрее. Материал для исследования — капиллярная кровь. В результате анализа материала определялись концентрации связанного карнитина (ацилкарнитинов) и свободного карнитина в мкмоль/л.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программ Microsoft Office Excel и Rstudio (версия 1.1.463) на языке R. Проверку выборки на нормальность распределения проводили с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для проверки гипотезы о гомогенности дисперсий между группами использовался тест Бартлетта. Анализ данных был осуществлен методами параметрической статистики (однофакторный дисперсионный анализ и критерий Тьюки для множественных сравнений). В случае нарушения предположения о нормальности распределения в группах сравнения и гомогенности дисперсии между выборками применялись методы непараметрического статистического анализа. В этом случае для выявления различий в значениях параметров между группами использовался ранговый однофакторный дисперсионный анализ (критерий Краскела — Уоллиса), а для попарных сравнений применялся критерий Манна — Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования состояния карнитинового обмена у юных спортсменов представлены в таблице.

Нами установлено, что содержание свободного и связанного карнитина, а также значения карнитинового коэффициента во всех группах были в пределах референсных значений. Сравнительный анализ крови между тремя группами продемонстрировал различия показателей свободного карнитина. Было показано, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем в группах спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми. Также нами было исследовано, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами ($p < 0,001$). Принимая во внимание гендерную неоднородность исследуемых групп, был проведен анализ показателей карнитинового обмена в группе пловцов, в состав которой включены как лица мужского, так и женского пола. Нами не было обнаружено различий в содержании свободного и связанного карнитина между пловцами разного пола ($p > 0,05$), что указывает на незначимость данного фактора в нашем исследовании.

К возможным причинам снижения содержания свободного карнитина в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с пловцами и группой контроля можно отнести гиповитаминоз витаминов В и С, диету с повышенным содержанием белков и жиров, сниженное потребление карнитина с пищей. Также следует отметить, что хоккей на траве является высокоинтенсивным видом спорта. Основной целью тренировок является развитие скоростно-силовых характеристик, что сопряжено со значительными анаэробными нагрузками. Снижение показателей свободного карнитина в данной группе спортсменов возможно является следствием долговременной адаптации организма к условиям, в которых главным энергетическим субстратом для работающих мышц является глюкоза. Конкретные механизмы данного явления и его потенциальные риски нуждаются в дальнейших исследованиях. Также существует необходимость исследования вопроса о дополнительной дотации добавок карнитина для спортсменов, подвергающихся высоким анаэробным нагрузкам.

4. Выводы

Таким образом, нами установлено, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем у спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми. Установлено, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе

Таблица

Показатели, характеризующие состояние карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций ($M \pm m$)

Table

Indicators characterizing the state of carnitine metabolism in young athletes of various specializations ($M \pm m$)

Показатель/Indicator	Группы исследуемых/Study groups			Критерий/ Criterion	p
	Хоккей на траве/ Field hockey (n = 18)	Плавание/ Swimming (n = 21)	Контрольная группа/ Control group (n = 7)		
Свободный карнитин, мкмоль/л/ Free carnitine, $\mu\text{mol/l}$	26,77 \pm 0,98	38,41 \pm 0,92	40,57 \pm 2,50	F*	< 0,001
Ацилкарнитины, мкмоль/л/ Acylcarnitines, $\mu\text{mol/l}$	12,36 \pm 0,52	12,56 \pm 0,56	11,14 \pm 0,93	F*	>0,05
Карнитиновый коэффициент/ Carnitine ratio	0,46 \pm 0,02	0,33 \pm 0,02	0,27 \pm 0,01	H**	< 0,001

Примечание: F* — критерий Фишера, H** — критерий Краскела — Уоллиса.

Note: F* — Fisher's test, H** — Kruskal — Wallis test.

спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами. К возможным причинам снижения содержания свободного карнитина и повышения значений карнитинового коэффициента в группе спортсменов-хоккеистов можно отнести гиповитаминоз витаминов В и С, сниженное потребление карнитина с пищей. Однако

в данном случае снижение уровня свободного карнитина, вероятно, связано с долговременной адаптацией организма к анаэробным нагрузкам. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения точных механизмов развития данного явления.

Вклад авторов:

Самойлов Александр Сергеевич — концепция и дизайн исследования.

Жолинский Андрей Владимирович — дизайн исследования и редактирование текста.

Рылова Наталья Викторовна — сбор и обработка материала, редактирование текста.

Большаков Иван Владимирович — написание текста, статистическая обработка.

Authors' contributions:

Alexander S. Samoilo — study concept and design.

Andrey V. Zholinsky — study design and text editing.

Natalia V. Rylova — collection and processing of material, text editing.

Ivan V. Bolshakov — text preparation, statistical data processing.

Список литературы

1. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K., Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2018;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
2. Adeva-Andany M.M., Calvo-Castro I., Fernández-Fernández C., Donapetry-García C., Pedre-Piñeiro A.M. Significance of l-carnitine for human health. IUBMB Life. 2017;69(8):578–594. <https://doi.org/10.1002/iub.1646>
3. Knottnerus S.J.G., Bleeker J.C., Wüst R.C.I., Ferdinands S., IJlst L., Wijburg F.A., et al. Disorders of mitochondrial long-chain fatty acid oxidation and the carnitine shuttle. Rev. Endocr. Metab. Disord. 2018;19(1):93–106. <https://doi.org/10.1007/s11154-018-9448-1>
4. Gnoni A., Longo S., Gnoni G.V., Giudetti A.M. Carnitine in Human Muscle Bioenergetics: Can Carnitine Supplementation Improve Physical Exercise? Molecules. 2020;25(1):182. <https://doi.org/10.3390/molecules25010182>
5. Sawicka A.K., Renzi G., Olek R.A. The bright and the dark sides of L-carnitine supplementation: a systematic review. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2020;17(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00377-2>
6. Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A. l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. Nutrients. 2018;10(3):349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>

References

1. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K., Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2018;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
2. Adeva-Andany M.M., Calvo-Castro I., Fernández-Fernández C., Donapetry-García C., Pedre-Piñeiro A.M. Significance of l-carnitine for human health. IUBMB Life. 2017;69(8):578–594. <https://doi.org/10.1002/iub.1646>
3. Knottnerus S.J.G., Bleeker J.C., Wüst R.C.I., Ferdinands S., IJlst L., Wijburg F.A., et al. Disorders of mitochondrial long-chain fatty acid oxidation and the carnitine shuttle. Rev. Endocr. Metab. Disord. 2018;19(1):93–106. <https://doi.org/10.1007/s11154-018-9448-1>
4. Gnoni A., Longo S., Gnoni G.V., Giudetti A.M. Carnitine in Human Muscle Bioenergetics: Can Carnitine Supplementation Improve Physical Exercise? Molecules. 2020;25(1):182. <https://doi.org/10.3390/molecules25010182>
5. Sawicka A.K., Renzi G., Olek R.A. The bright and the dark sides of L-carnitine supplementation: a systematic review. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2020;17(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00377-2>
6. Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A. l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. Nutrients. 2018;10(3):349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>

7. Pooyandjoo M., Nouhi M., Shab-Bidar S., Djafarian K., Olyaeemanesh A. The effect of l-carnitine on weight loss in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Obes. Rev.* 2016;17:970–976. <https://doi.org/10.1111/obr.12436>

8. Иванова И.И., Гнусаев С.Ф., Ильина А.А. Клинические проявления нарушений клеточного энергообмена при соматических заболеваниях у детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* 2018;63(2):27–33. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-2-27-33>

9. Gander J., Carrard J., Gallart-Ayala H., Borreggine R., Teav T., Infanger D., et al. Metabolic Impairment in Coronary Artery Disease: Elevated Serum Acylcarnitines Under the Spotlights. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:792350. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.792350>

10. Сизова Ж.М., Ших Е.В., Махова А.А. Применение L-карнитина в общей врачебной практике. *Терапевтический архив.* 2019;91(1):114–120. <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>

7. Pooyandjoo M., Nouhi M., Shab-Bidar S., Djafarian K., Olyaeemanesh A. The effect of l-carnitine on weight loss in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Obes. Rev.* 2016;17:970–976. <https://doi.org/10.1111/obr.12436>

8. Ivanova I.I., Gnusaev S.F., Ilyina A.A. Clinical manifestations of cellular energy metabolism disorders in somatic diseases in children. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2018;63(2):27–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-2-27-33>

9. Gander J., Carrard J., Gallart-Ayala H., Borreggine R., Teav T., Infanger D., et al. Metabolic Impairment in Coronary Artery Disease: Elevated Serum Acylcarnitines Under the Spotlights. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:792350. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.792350>

10. Sizova Zh.M., Shikh E.V., Makhova A.A. The use of L-carnitine in general medical practice. *Terapevticheskiy arkhiv = Therapeutic archive.* 2019;91(1):114–120. (In Russ.). <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>

Информация об авторах:

Самойлов Александр Сергеевич, д.м.н., генеральный директор ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н., директор ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, Москва, ул. Большая Дорогомилловская ул., 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Рылова Наталья Викторовна*, д.м.н., профессор, заведующая лабораторией спортивной нутрициологии Центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-6292> (nrilova@fmbcfmba.ru)

Большаков Иван Владимирович, ординатор кафедры восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-1337> (julymbo04@gmail.com)

Information about the authors:

Samoilov Alexander Sergeevich, MD, D.Sc. (Medicine), General Director Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

Zholinsky Andrey Vladimirovich, MD, PhD (Medicine) Director of the Federal Scientific and Practical Center for Sports Medicine and Rehabilitation, FMBA, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Rylova Natalya Viktorovna*, MD, D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Laboratory of Sports Nutrition of the Center for Sports Medicine and Rehabilitation Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-6292> (nrilova@fmbcfmba.ru)

Bolshakov Ivan Vladimirovich, Resident of the Department of Restorative Medicine, Sports Medicine, Balneology and Physiotherapy with a Nursing Course, Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-1337> (julymbo04@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author