

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ L-КАРНИТИНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Аннотация. Цель исследования состоит в анализе научных данных о роли L-карнитина в повышении работоспособности и эффективности восстановления спортсменов, а также изучить механизмы его воздействия на различные аспекты функционирования организма, такие как энергетический обмен, кровообращение, состояние мышечной ткани, эндокринную регуляцию и поддержание здоровья сердечно-сосудистой системы. В статье обобщены имеющиеся знания о положительном влиянии L-карнитина на производительность и восстановление спортсменов высокого уровня, подчеркиваются биологические механизмы, лежащие в основе этого эффекта, и выявлены возможные перспективы дальнейших исследований. **Материалы и методы исследования.** Проведен анализ современных научных данных, демонстрирующих влияние L-карнитина на снижение маркеров повреждения мышечной ткани и окислительного стресса, вызванных интенсивными тренировками. **Результаты.** Особое внимание уделено влиянию L-карнитина на энергетический обмен в миокарде, улучшение микроциркуляции и уменьшение воспалительных процессов, что в совокупности способствует более эффективному восстановлению сердечно-сосудистой системы. Приведены сведения о влиянии L-карнитина на нейроэндокринную систему, в частности, на гормональный баланс и снижение утомляемости, что позволяет повысить функциональную готовность спортсмена к последующим тренировкам и соревнованиям. Рассматриваются различные формы L-карнитина (тарtrat L-карнитина, ацетил-L-карнитин) и их специфическое влияние на процессы восстановления. **Заключение.** На основании анализа литературных данных делается вывод о целесообразности включения L-карнитина в рацион спортсменов, испытывающих высокие физические нагрузки, с целью оптимизации процессов восстановления, снижения риска перетренированности и повышения общей функциональной подготовленности.

Ключевые слова: *L-карнитин, восстановление, спортсмены, мышечная боль, окислительный стресс, усталость*

Zvyagina E. V., Petrushkina N. P.

Ural State University of Physical Education

Russia, Chelyabinsk

zv-aev@mail.ru

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF L-CARNITINE EFFECT ON THE EFFECTIVENESS OF THE TRAINING PROCESS (REVIEW OF LITERATURE)

Abstract. The aim of the study is to analyze scientific data on the role of L-carnitine in enhancing athletic performance and recovery efficiency, as well as investigate its mechanisms of action on various aspects of body functioning such as energy metabolism, blood

circulation, muscle tissue condition, endocrine regulation, and cardiovascular health maintenance. The article summarizes existing knowledge about the positive effects of L-carnitine on high-level athletes' performance and recovery, emphasizes biological mechanisms underlying these effects, and identifies potential directions for further research. Materials and methods. An analysis was conducted of contemporary scientific data demonstrating the influence of L-carnitine on reducing markers of muscle damage and oxidative stress caused by intense training. Results. Special attention is given to the impact of L-carnitine on myocardial energy metabolism, improved microcirculation, and reduced inflammatory processes, which collectively contribute to more effective cardiovascular system recovery. Information is provided regarding the effect of L-carnitine on the neuroendocrine system, particularly hormonal balance and fatigue reduction, enabling increased athlete readiness for subsequent trainings and competitions. Various forms of L-carnitine (L-carnitine tartrate, acetyl-L-carnitine) are considered along with their specific influences on recovery processes. Conclusion. Based on an analysis of literature data, it is concluded that including L-carnitine in the diet of athletes experiencing heavy physical loads is advisable to optimize recovery processes, reduce overtraining risks, and enhance overall functional preparedness.

Keywords: *L-carnitine, recovery, athletes, muscle pain, oxidative stress, fatigue*

Актуальность. L-карнитин был открыт в 1905 году учёными В.С. Гулевиным и Р.П. Кримбергом, которые выделили его из мышечной ткани. L-карнитин – аминокислота, функционально называемая родственной витаминам группы В [2]. В спорте высоких достижений L-карнитин используется в первую очередь как источник энергии. Во время интенсивных физических упражнений организм восстанавливает АТФ из различных источников, включая углеводы и жирные кислоты. Хорошо известно, что при длительных аэробных нагрузках после истощения источников углеводов в качестве дополнительного источника энергии используются жиры, в чем активно участвует L-карнитин. Чем эффективнее этот процесс, тем дольше сохраняется работоспособность. В спортивной практике L-карнитин, участвуя в энергетических процессах, происходящих в митохондриях, повышает физическую выносливость и способность организма к восстановлению [3].

Вместе с тем эффекты применения L-карнитина распространяются и на функции многих висцеральных систем, таким образом он участвует в поддержании гомеостаза и способен обеспечивать комплексное воздействие на организм.

Цель исследования – проанализировать современные научные публикации, посвященные роли L-карнитина в повышении работоспособности и эффективности восстановления спортсменов, а также изучению механизмов его воздействия на различные аспекты функционирования организма, такие как энергетический обмен, кровообращение, состояние мышечной ткани, кровь, нервная эндокринную регуляцию и поддержание здоровья сердечно-сосудистой системы.

Методы исследования. Для подготовки обзора изучены современные научные публикации, доступные в российских и международных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, eLibrary и Google Scholar. Основные критерии отбора статей: тема-

тическая направленность работ, их клинический характер, включающие проспективные исследования, мета-анализы, систематические обзоры и качественные исследования, посвящённые изучению метаболических аспектов использования L-карнитина среди спортсменов. Период рассмотрения материалов охватывал 2000–2025 гг.

Результаты. Применение L-карнитина сопровождается повышением выносливости в видах спорта с преобладающим анаэробным механизмом энергообеспечения, в частности, таких как тяжёлая атлетика, бодибилдинг и пауэрлифтинг, требующих больших силовых затрат. Тренировочные упражнения, свойственные представителям разных видов спорта, ускоряют метаболизм L-карнитина, а его применение, в свою очередь, увеличивает порог субмаксимальных физических усилий [4].

В видах спорта с аэробным механизмом энергообеспечения мышечной деятельности L-карнитин необходим для повышения общей и специальной выносливости. Считается, что максимальный прирост энергетических ресурсов достигается при сочетании приема L-карнитина с повышенным количеством жиров в рационе, что позволит избежать потери веса во время занятий спортом [1].

Повышенные тренировочные нагрузки усиливают потребность в энергии, что стимулирует повышенный метаболизм жирных кислот и, как следствие, повышенное использование L-карнитина [5]. В связи с этим основная функция L-карнитина, рассматриваемая в контексте спортивной физиологии и биохимии, заключается в том, что он способствует транспорту жирных кислот из жировых депо в мышеч-

ные клетки, где они преобразуются в энергию путем транспортировки длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии через их внутреннюю мембрану. Жирные кислоты без помощи карнитина не способны проникать через мембраны клеточных митохондрий [2].

Таким образом, являясь основным транспортным агентом жирных кислот, L-карнитин косвенно обеспечивает длительную спортивную активность средней интенсивности энергетической составляющей, косвенно экономя гликоген, что способствует повышению выносливости [6].

При изучении свойств L-карнитина установлены и другие виды активности, свойственные его молекуле (субстрат карнитинминидазы, ингибитор L-лизин-6-трансаминазы, ингибитор (R)-аминопропанолдегидрогеназы, ингибитор гомоцитратсинтазы), присущие карнитину и связанные с его метаболизмом [1].

Исследования [3] отмечают, что L-карнитин способен снижать гипоксический стресс и нейротрансмиттерную дисфункцию, часто связанную с нервно-мышечным утомлением. Эти явления характерны для различных мышц, в том числе и дыхательных, что улучшает их работу при повышенных нагрузках.

Ускоряя процессы восстановления, L-карнитин не только уменьшает повреждение мышц [7], но и уменьшает накопление лактата в мышцах, что отодвигает наступление утомления во время тренировок и ускоряет восстановление после больших нагрузок. Этот эффект связан с улучшением кровотока работающих мышц и их снабжения кислородом. Влияя на метаболизм мышц, L-карнитин может усиливать синтез белка и гликогена в ске-

летных мышцах, что важно для восстановления после физических нагрузок [8]. Показано, что L-карнитин участвует в ускорении метаболизма лактата и пирувата, тем самым способствуя более эффективному выведению этих продуктов метаболизма, которые накапливаются во время интенсивной физической активности. L-карнитин способствует расщеплению молочной и пировиноградной кислот, участвуя в процессе их транспортировки в митохондрии, внутри которых они подвергаются дальнейшему метаболизму, превращаясь в АТФ и другие энергетические молекулы [9]. Таким образом, L-карнитин помогает оптимизировать использование энергии в клетках, особенно в условиях интенсивных физических нагрузок, когда уровни молочной и пировиноградной кислот увеличиваются [10]. Эти результаты подчеркивают важность L-карнитина для поддержания оптимальной производительности и процессов восстановления у спортсменов.

Тренировочные упражнения, свойственные представителям разных видов спорта, ускоряют метаболизм L-карнитина, а его применение, в свою очередь, повышает порог субмаксимальных физических усилий [4].

В ряде исследований были изучены механизмы действия L-карнитина на систему кровообращения. Увеличивая приток крови, L-карнитин снижает последствия гипоксии и улучшает питание сердечной мышцы, что особенно важно при высоких нагрузках. В исследовании [11] влияние L-карнитина на деятельность сердечно-сосудистой системы объясняется тем, что значительная часть энергетической составляющей в работе миокарда реализуется с помощью жирных кислот. L-карнитин может улучшать работу

сердца, помогая сердцу лучше использовать жирные кислоты и увеличивать частоту сердечных сокращений. Это подтверждено в исследовании [12, 13], в котором изучается положительное влияние L-карнитина на функцию миокарда за счет влияния L-карнитина на уровень холестерина и триглицеридов в крови.

При идиопатических и митохондриальных кардиомиопатиях L-карнитин значительно увеличивает функцию выброса левого желудочка и уменьшает недостаточность кровообращения, улучшает потребление кислорода митохондриями и увеличивает сократимость миокарда без повышения давления в левом желудочке [14; 15].

Поскольку при ишемической болезни сердца, а также при хронической обструктивной болезни легких, муковисцидозе наблюдается дефицит L-карнитина, предполагается, что ацетил-L-карнитин может выступать маркером при оценке состояния кардиореспираторной системы [16].

Результаты одного из рандомизированных клинических исследований показали, что длительная терапия L-карнитином в достаточно высоких дозах у больных инфарктом миокарда ограничивает дилатацию левого желудочка [17]. К числу важных свойств L-карнитина относится также его способность снижать уровень холестерина в организме и замедлять образование атеросклеротических бляшек в сосудах. Показано, что повышение концентрации карнитина в плазме крови и миокарде улучшает энергетическое обеспечение сердечной мышцы и повышает ее устойчивость к мышечным нагрузкам [18].

Отмечено, что L-карнитин может улучшить функцию эндотелия (внутренней оболочки кровеносных сосу-

дов) [19]. Улучшение эндотелиальных клеток играет ключевую роль в регуляции сосудистого тонуса и образовании новых сосудов [20]. Здоровый эндотелий важен для поддержания нормального кровотока и регулирования артериального давления. Исследования показывают, что L-карнитин может улучшить функцию эндотелия и, таким образом, способствовать лучшему контролю артериального давления.

Кроме того, поддерживая нормальное артериальное давление, L-карнитин, играя ключевую роль в энергетическом обмене, помогает организму более эффективно использовать жирные кислоты в качестве источника энергии [21], а также может способствовать улучшению общей физической формы и снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с гипертонией.

Предполагается, что L-карнитин может оказывать прямое влияние на артериальное давление, хотя эти данные требуют дальнейшего изучения [22].

Имеющиеся экспериментальные исследования влияния L-карнитина на клеточный состав крови не затрагивают вопросы применения у спортсменов и носят единичный характер [23]. Так, изучение L-карнитина на мембранах клеток крови (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов) выявило несколько механизмов, с помощью которых эти клетки сохраняют свои мембранные структуры от повреждения окислительным стрессом и модуляцию клеточных функций [11]. Это достигается путем взаимодействия с фосфолипидами мембран эритроцитов, что стабилизирует их структуру и снижает вероятность повреждения. L-карнитин обладает антиоксидантными свойствами, т.е. снижает уровень радикалов, раз-

рушающих липидный слой мембран эритроцитов.

При этом стабилизируется или (стимулируется) эритропоэз, а, следовательно, увеличивается аэробная работоспособность. Достаточное количество эритроцитов и кислорода способствуют более быстрому восстановлению после физической нагрузки, позволяя спортсмену вернуться к тренировкам и соревнованиям и предупреждает развитие анемии. Кроме того, стабилизация мембран эритроцитов обеспечивает их пластичность и проходимость через узкие капилляры. L-карнитин также влияет на функцию тромбоцитов, уменьшая их агрегацию. Как и в случае с мембранами эритроцитов и лейкоцитов, он помогает защитить мембраны от окислительного повреждения, сохраняя их функциональную способность [9; 11; 14].

L-карнитин усиливает детоксикационную функцию печени, ускоряет ресинтез белка и гликогена, приводит к более активному расщеплению молочной и пировиноградной кислот, которые накапливаются при интенсивных физических нагрузках [9].

L-карнитин играет ключевую роль в регуляции гомеостаза и поддержании нормальной функции нервной ткани, участвуя в процессах очищения межклеточного пространства мозга от метаболитов. L-карнитин успешно помогает организму справляться с перетренированностью и переутомлением, одной из причин развития которых является снижение энергетического потенциала нервных центров, обеспечивающих движение. Антиоксидантные свойства L-карнитина способствуют защите тканей мозга от окислительного стресса, поддерживая общее самочувствие и нормальное функционирование центральной нерв-

ной системы [24]. Он способствует процессам высвобождения энергии в клетках мозга, обеспечивая необходимые ресурсы для синтеза и передачи нейромедиаторов и влияя на различные нейропептиды, в том числе ацетилхолин, адреналин, участвующие в передаче нервных импульсов и регуляции энергетического обмена.

Фармакологическое действие L-карнитина (метаболизм, детоксикация, восстановление и т. д.) описано в литературе, и имеются данные о ноотропной активности при длительном применении [25].

Активность карнитина по отношению к ГАМК-С-рецепторам и глициновому участку NMDA-рецепторов (эти рецепторы локализованы в центральной нервной системе), а также их взаимодействие с карнитином объясняют широкий спектр нейромодуляторной активности препаратов на основе L-карнитина: повышение устойчивости к стрессу, стимуляция функций мозга, защита клеток нервной системы от метаболических нарушений, скорость нервно-мышечной передачи, стабилизация нервных центров, влияние на когнитивные функции, такие как внимание, память и др.

Стоит обратить внимание на влияние карнитина на ацетилхолин. Известно, что ацетилхолин имеет решающее значение для когнитивных функций, таких как память, обучение и внимание, и поэтому L-карнитин способен оптимизировать использование ацетилхолина, что может иметь особое значение при возрастных изменениях или нейродегенеративных состояниях, при которых наблюдается дефицит этого нейротрансмиттера [26].

Ацетилхолин играет ключевую роль в синаптической пластичности и нейронной регенерации, облегчая уда-

ление метаболитов и транспортировку необходимых молекул. Гиппокамп и кора головного мозга, для которых ацетилхолин также важен, являются основными структурами, ответственными за связанные функции, включая консолидацию памяти и высшие когнитивные задачи [10; 11; 22; 25].

Кроме того, L-карнитин оказывает положительное влияние на другие нейротрансмиттеры, такие как глутамат и гамма-аминомасляная кислота, которые играют ключевую роль в регуляции возбудимости и торможения нейронов в центральной нервной системе [27]. Эти эффекты могут быть связаны с антиоксидантными свойствами L-карнитина, его способностью нейтрализовать свободные радикалы и защищать нейроны от окислительного стресса [28]. Таким образом, молекула L-карнитина имеет известные механизмы действия, благодаря которым это фармакологическое вещество может использоваться в спорте. Наиболее изученным является антигипоксическое действие L-карнитина, связанное с блокадой транспорта жирных кислот в митохондрии. К полезным свойствам L-карнитина можно отнести повышение работоспособности за счет таких механизмов, как: ускорение метаболизма, улучшение насыщения мышечных тканей кислородом и уменьшение в них объема молочной кислоты, антиоксидантное действие, выведение токсинов из организма, защитное действие при апоптозе, снижение уровня триглицеридов в крови, стимуляция регенерации тканей и поддержание оптимальной массы тела.

L-карнитин синтезируется в организме из гамма-бутиробетаина под действием фермента гамма-бутиробетаингидроксилазы в печени, почках и мозге, а затем поступает в

другие ткани [19; 20; 26]. Основная часть накапливается в сердце и скелетных мышцах (около 95%). Пищевыми источниками L-карнитина являются красное мясо (говядина, баранина, свинина), рыба, птица, молоко, творог, сыр. Синтез L-карнитина требует участия витаминов С, В3, В6, В9, В12, железа, лизина, метионина и некоторых ферментов [2]. Как правило, эти вещества входят в состав БАДов, содержащих карнитин.

Количество L-карнитина в организме существенно зависит от типа тренировки и вида спорта. Интенсивные аэробные тренировки, такие как бег на длинные дистанции, езда на велосипеде и плавание, обычно вызывают повышение уровня L-карнитина в плазме крови и скелетных мышцах [29]. Это связано с увеличением потребности в энергии и более активным использованием жирных кислот в качестве основного источника топлива. В то же время анаэробные тренировки, характерные для силовых видов спорта, таких как тяжелая атлетика и пауэрлифтинг, могут приводить к снижению уровня L-карнитина в организме, поскольку эти виды спорта используют креатинфосфат и гликоген в качестве основных источников энергии [30].

Важно отметить, что уровень L-карнитина в организме и его эффективность зависят от индивидуальных генетических факторов, диеты, типа и интенсивности тренировок, а также общего состояния здоровья спортсмена [31; 32; 33].

Некоторые исследования показывают, что у спортсменов, специализирующихся в определенных видах спорта, могут быть определенные адаптации в уровне L-карнитина и его использовании в зависимости от ха-

рактера тренировок и соревновательной деятельности [34].

Физические упражнения могут увеличить экспрессию ферментов, участвующих в биосинтезе L-карнитина в организме, что дополнительно поддерживает его повышенный уровень [35].

Упражнения увеличивают метаболизм L-карнитина, увеличивая потребность в этом веществе. Во время интенсивных физических упражнений организм восстанавливает АТФ из различных источников, включая углеводы и жирные кислоты. Повышенные тренировочные нагрузки увеличивают потребность в энергии, что стимулирует повышенный метаболизм жирных кислот и, следовательно, повышенное использование L-карнитина [36; 37; 38].

Другие виды активности L-карнитина, описанные выше, связаны с воздействием на ферменты или рецепторы, что расширяет понимание эффектов этого соединения.

Заключение. Таким образом, анализ современных литературных источников подтвердил значимость L-карнитина для повышения общей и специальной выносливости. Вместе с тем имеются работы, свидетельствующие о повышении устойчивости к стрессу и стимуляции функций мозга, стабилизации работы нервных центров и влиянии на когнитивные функции. Изучались механизмы действия L-карнитина на клетки крови (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов) благодаря чему они не только сохраняют свои мембранные структуры от повреждения окислительным стрессом, но и модулируют клеточные функции. Описано улучшение энергетического обеспечения миокарда и повышение толерантности к мышечным нагрузкам, а также улучшение регуляции сосуди-

стого тонуса и образование новых сосудов. Благодаря влиянию L-карнитина на все висцеральные системы имеет место комплексный эффект препарата на спортивную деятельность и восстановление.

Современная спортивная наука испытывает значительный интерес к изучению путей повышения эффективности энергообеспечения организма и ускорению элиминации метаболитов, накапливающихся вследствие физических нагрузок. Наряду с этими аспектами, заслуживающим пристального внимания является исследование влияния метаболизма L-карнитина на функциональные характеристики внутренних органов и систем. Очевидно, что данная область требует продолжения фундаментальных экспериментов и клинических наблюдений, направленных на детальное изучение физиологических эффектов L-карнитина [1], способствующих улучшению адаптации организма к высоким физическим нагрузкам.

Все вышеизложенное обосновывает целесообразность использования препаратов на основе L-карнитина для представителей различных видов спорта на разных этапах подготовки, а исследование его новых биологических свойств остается актуальным.

Список литературы

1. Чекман, И. Использование современных фармакологических технологий для поиска новых эргогенных средств в спорте: эмпирический анализ и реальный результат / И. Чекман, Л. Гунина // Наука в олимпийском спорте. – 2017. – № 1. – С. 75–81.

2. Энциклопедия лекарственных препаратов. Витаминоподобные вещества // Консультант врача – электронный ресурс : сайт. – Режим доступа:

[<https://consu-med.ru/ehnciklopediya/element/l-karnitin/>] (дата доступа 04.04.2025)

3. Karlic, H. Supplementation of L-carnitine in athletes: does it make sense? / H. Karlic, A. Lohninger // Nutrition. – 2004. – Vol. 20, N 7-8. – P. 709–715.

4. Brass, E. P. Carnitine and sports medicine: use or abuse? / E. P. Brass // Ann. N.-Y. Acad. Sci. – 2004. – Vol. 1033. – P. 67–78.

5. Russell, AP. Energy Substrates in Heart Failure: Metabolism and Beyond / AP. Russell, H. Taegtmeyer // Circ Res. – 2010. – Vol. 107, N 10. – P. 1347–1358. – doi:10.1161/Circresaha.110.228252.

6. Платонов, В. Н. Эргогенные средства в системе подготовки и соревновательной деятельности спортсменов / В. Н. Платонов // Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте; в 2-х кн. – К.: Олимп. лит-ра, 2016. – Кн. 2. – С.1014–1089.

7. Curran, M. W. Acetyl-L-carnitine (ALCAR) to enhance nerve regeneration in carpal tunnel syndrome: study protocol for a randomized, placebo-controlled trial // J. Olson, M. Morhart, D. Sample, K.M. Chan // Trials. – 2016. – Vol. 17, N 1. – P. 200. doi: 10.1186/s13063-016-1324-2.

8. Kim, HJ. Role of Carnitine in Obesity and Insulin Resistance / HJ. Kim, SM Jeon, TS Park, YM Cho, KU Lee // Ann Nutr Metab. – 2010. – Vol. 57, Suppl 2. – P. 27–31. – doi:10.1159/000322538.

9. La Guardia, P.G. Protection of rat skeletal muscle fibers by either L-carnitine or coenzyme Q10 against statins toxicity mediated by mitochondrial reactive oxygen generation / P.G. La Guardia, L.C. Alberici, F.G. Ravagnani, R.R. Catharino, A.E. Vercesi // Front. Physiol. – 2013. – N 4. – P. 103–107. doi: 10.3389/fphys.2013.00103

10. Deval, V. Structural basis for the inhibition of lactate dehydrogenase by oxamate / V. Deval, F. Begue, H. Tricoire, A. Ménez, J.F. Brière // *Biochemistry*. – 2011. – Vol. 50, N 13. – P. 2381–2390. – doi:10.1021/bi101923.
11. Rastgoo, S. The effects of L-carnitine supplementation on inflammatory and anti-inflammatory markers in adults: a systematic review and dose-response meta-analysis / S. Rastgoo, ST Fateh, M Nikbaf-Shandiz, N Rasaei, Y Aali, M Zamani, F Shiraseb, O Asbaghi // *Inflammopharmacology*. – 2023. – Vol. 31, N 5. – P. 2173–2199. – doi: 10.1007/s10787-023-01323-9.
12. Al-Dhuayan, IS. Biomedical role of L-carnitine in several organ systems, cellular tissues, and COVID-19 / IS. Al-Dhuayan // *Braz J Biol*. – 2023. – Vol. 82. – e267633. – doi: 10.1590/1519-6984.267633.
13. Mielgo-Ayuso, J. Effect of Acute and Chronic Oral l-Carnitine Supplementation on Exercise Performance Based on the Exercise Intensity: A Systematic Review / J. Mielgo-Ayuso, L. Pietrantonio, A. Viribay, J. Calleja-González, J. González-Bernal, D. Fernández-Lázaro // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, N 12. – P. 4359. – doi: 10.3390/nu13124359.
14. Jagim, AR. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots / AR. Jagim, PS. Harty, GM. Tinsley, CM. Kerksick, AM. Gonzalez, RB. Kreider, SM. Arent, R. Jager, AE. Smith-Ryan, JR. Stout, BI. Campbell, T. VanDusseldorp, J. Antonio // *J Int Soc Sports Nutr*. – 2023. – Vol. 20, N 1. – P. 2171314. – doi: 10.1080/15502783.2023.2171314.
15. Fathizadeh, H. The effects of L-carnitine supplementation on indicators of inflammation and oxidative stress: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / H. Fathizadeh, A. Milajerdi, Ž. Reiner, E. Amirani, Z. Asemi, MA. Mansournia, J. Hallajzadeh // *J Diabetes Metab Disord*. – 2020. – Vol. 19, N 2. – P. 1879–1894. – doi: 10.1007/s40200-020-00627-9.
16. Samborowska, E. Twenty-Four Weeks of L-Carnitine Combined with Leucine Supplementation Does Not Increase the Muscle Carnitine Content in Healthy Active Subjects / E. Samborowska, RA. Olek // *Ann Nutr Metab*. – 2023. – Vol. 79, N 2. – P. 219–227. – doi: 10.1159/000529333.
17. Holms, R. The role of L-carnitine in the treatment of myocardial infarction. Result of CEDIM randomize investigation / R. Holms, P.D. Greenbaum, G. Huang. – London, 2010. – 254 p.
18. Hasselwander, O. The role of carnitine in energy metabolism during endurance exercise / O. Hasselwander, L. Pénicaud, C. Obled, M.-C. Babot, C. Aussel, M. Arnal // *European Journal of Applied Physiology*. – 2006. – T. 97. – N 5. – P. 449–458.
19. Hosseini, M. Acute Effects of Oral L-Carnitine Supplementation on Resting Blood Pressure in Young Non-Smoker Male Volunteers: A Randomized, Double Blind, Placebo Controlled Trial / M. Hosseini, M. Abdollahi, A. Rahimi Forushani, R. Mehrdad // *Iranian Red Crescent Medical Journal*. – 2013. – Vol. 15, N 12. – e8440. – doi:10.5812/ircmj.8440.
20. Raffaella Effects of L-carnitine on cardiovascular diseases: a review on human studies / Raffaella et al. // *Life Sciences*. – 2013. – Vol. 92. – N 12. – P. 649–655.
21. Heckman, MG. The safety of L-carnitine supplementation in healthy adults and children / MG. Heckman, CL. Sherry, JP. DeLany, JJ. Kehayias, JR. McNeil, EA. Yetley // *Critical Reviews in*

Food Science and Nutrition. – 2011. – Vol. 51, N 6. – P. 484–496. – doi:10.1080/10408398.2010.484211.

22. Melani, L. Propionyl-L-carnitine intravenous infusion improves intermittent claudication in patients with peripheral vascular disease / L. Melani, AM. Malagoni, E. Di Paolo, A. Turco, G. Buzzigoli // *Journal of Cardiovascular Pharmacology*. – 2001. – Vol. 37, N 5. – P. 532–537. – doi:10.1097/00005344-200105000-00014.

23. Rajasekar, P. Effects of L-carnitine on RBC membrane composition and function in hyperinsulinemic rats / P. Rajasekar, K. Balasaraswathi, C.V. Anuradha // *Ital. J. Biochem.* – 2007. – Vol. 56, N 1. – P. 53–60.

24. Montgomery, A. Meta-analysis of double blind randomized controlled clinical trials of acetyl-L-carnitine versus placebo in the treatment of mild cognitive impairment and mild Alzheimer's disease / A. Montgomery, LJ. Thal, R. Amrein // *International Clinical Psychopharmacology*. – 2003. – Vol. 18, N 2. – P. 61–71. – doi:10.1097/00004850-200303000-00003.

25. Shen, L. L-carnitine's role in KAATSU training- induced neuromuscular fatigue / L. Shen, J. Li, Y. Chen, Z. Lu, W. Lyu // *Biomed Pharmacother.* – 2020. – Vol. 125. – P. 109899. – doi: 10.1016/j.biopha.2020.109899.

26. Liu, J. L-carnitine and acetyl-L-carnitine protect against neuronal injury in cell culture and animal models of stroke, epilepsy, and neurotrauma / J. Liu, SP. Soltoff, HS. Waagepetersen, U. Sonnewald, ZX. Shi, GA. Perkins // *J Neurosci Res.* – 2004. – Vol. 77, N 2. – P. 195–206. – doi:10.1002/jnr.20123.

27. Zhu, XZ. L-carnitine attenuates glutamate excitotoxicity in rat cerebral cortical neurons / XZ. Zhu, XQ. Li, Z. Pei, A. Funakoshi, H. Takahashi, A.

Nunomura // *Brain Research Bulletin*. – 2004. – Vol. 64, N 1. – P. 55–60. – doi:10.1016/j.brainresbull.2004.02.003.

28. Kashiwaya, Y. Inside the energy factory within our cells / Y. Kashiwaya, MT. King, J. Xie, K. Clarke, RL. Veech // *The Medical Scientist*. – 2007. – Vol. 44, N 3. – P. 166–171.

29. Barker, J. Postexercise Blood and Muscle Free L-Carnitine and Acetyl-L-Carnitine Changes After Various Protocols / J. Barker, M. Long, J. Ramos, B. Helwig, NR. LeBlanc, M. Amann // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, N 11. – doi:10.3390/nu11112588.

30. Sanders, DJ. Effects of Acute Aerobic or Anaerobic Exercise on Plasma Free and Acylated Forms of Carnitine / DJ. Sanders, RA. Knaggs, S. Grant, RC. Harris, DWD. West // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, N 10. – doi:10.3390/nu13103357.

31. Maran, A. Regulation of Carnitine Metabolism Under Conditions of Health and Disease / A. Maran, HE. Mohamed, A. Sharma, FW. Kari, BVN. Dasari // *Front Mol Biosci*. – 2022. – Vol. 9. – doi:10.3389/fmolb.2022.822157.

32. Garibotto, G. L-Carnitine as a Pharmacological Approach to Improve Cardiac Performance / G. Garibotto, R. Russo, F. Sofi, R. Cerio, C. Ceconi, L. Agnoletti // *Nutrients*. – 2017. – Vol. 9, N 7. – doi:10.3390/nu9070719.

33. Stephens, FB. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle / FB. Stephens, D. Constantin-Teodosiu, PL. Greenhaff // *J Anat.* – 2007. – Vol. 211, N 6. – P. 703–710. – doi:10.1111/j.1469-7580.2007.00761.

34. Cribbs, SK. Effect of high fat diet and aerobic training on skeletal muscle triacylglycerol content and expression of genes involved in lipid metabolism / SK. Cribbs, PC. Geiger, DK. Fox, SL.

Davis, JJ. Leddy, DR. Pendergast // *Lipids Health Dis.* – 2010. – Vol. 9. – doi:10.1186/1476-511X-9-67.

35. Costello, M. Training Status Determines the Impact of L-Carnitine Supplementation on Skeletal Muscle Carnitine Content and Recovery from Simulated Match Play in Elite Female Soccer Players / M. Costello, MA. Papandreou, W. Zhang, KF. Faull, I. Chenier, KA. Featherstone // *Nutrients.* – 2017. – Vol. 9, N 9. – doi:10.3390/nu9091022.

36. Russell, AP. Energy Substrates in Heart Failure: Metabolism and Beyond / AP. Russell, H. Taegtmeyer // *Circ Res.* – 2010. – Vol. 107, N 10. – P. 1347–1358. – doi:10.1161/CIRCRESAHA.110.228252.

37. Alhasaniah, AH. l-carnitine: Nutrition, pathology, and health benefits / AH. Alhasaniah // *Saudi J Biol Sci.* – 2023. – Vol. 30, N 2. – P. 103555. – doi: 10.1016/j.sjbs.2022.103555.

38. Jagim, AR. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots / AR. Jagim, PS. Harty, GM. Tinsley, CM. Kerksick, AM. Gonzalez, RB. Kreider, SM. Arent, R. Jager, AE. Smith-Ryan, JR. Stout, BI. Campbell, T. VanDusseldorp, J. Antonio // *J Int Soc Sports Nutr.* – 2023. – Vol. 20, N 1. – P. 2171314. – doi: 10.1080/15502783.2023.2171314.

References

1. Chekman, I. Ispol'zovanie sovremenny'x farmakologicheskix texnologij dlya poiska novy'x e'rgogenny'x sredstv v sporte: e'mpiricheskij analiz i real'ny'j rezul'tat / I. Chekman, L. Gunina // *Nauka v olimpijskom sporte.* – 2017. – № 1. – S. 75–81.

2. E'nciklopediya lekarstvenny'x preparatov. Vitaminopodobny'e veshhestva // Konsul'tant vracha – e'lektronny'j resurs : sajт. – Rezhim

dostupa: [https://consumed.ru/ehnciklopediya/element/l-karnitin/] (data dostupa 04.04.2025).

3. Karlic, H. Supplementation of L-carnitine in athletes: does it make sense? / H. Karlic, A. Lohninger // *Nutrition.* – 2004. – Vol. 20, N 7-8. – P. 709–715.

4. Brass, E. P. Carnitine and sports medicine: use or abuse? / E. P. Brass // *Ann. N.-Y. Acad. Sci.* – 2004. – Vol. 1033. – P. 67–78.

5. Russell, AP. Energy Substrates in Heart Failure: Metabolism and Beyond / AP. Russell, H. Taegtmeyer // *Circ Res.* – 2010. – Vol. 107, N 10. – P. 1347–1358. – doi:10.1161/CIRCRESAHA.110.228252.

6. Platonov, V. N. E'rgogenny'e sredstva v sisteme podgotovki i sorevnovatel'noj deyatel'nosti sportsmenov / V. N. Platonov // *Sistema podgotovki sportsmenov v olimpijskom sporte; v 2-x kn.* – K.: Olimp. lit-ra, 2016. – Kn. 2. – S.1014–1089.

7. Curran, M. W. Acetyl-L-carnitine (ALCAR) to enhance nerve regeneration in carpal tunnel syndrome: study protocol for a randomized, placebo-controlled trial // J. Olson, M. Morhart, D. Sample, K.M. Chan // *Trials.* – 2016. – Vol. 17, N 1. – P. 200. doi: 10.1186/s13063-016-1324-2.

8. Kim, HJ. Role of Carnitine in Obesity and Insulin Resistance / HJ. Kim, SM Jeon, TS Park, YM Cho, KU Lee // *Ann Nutr Metab.* – 2010. – Vol. 57, Suppl 2. – P. 27–31. – doi:10.1159/000322538.

9. La Guardia, P.G. Protection of rat skeletal muscle fibers by either L-carnitine or coenzyme Q10 against statins toxicity mediated by mitochondrial reactive oxygen generation / P.G. La Guardia, L.C. Alberici, F.G. Ravagnani, R.R. Catharino, A.E. Vercesi // *Front. Physiol.* – 2013. – N 4. – P. 103–107. doi: 10.3389/fphys.2013.00103.

10. Deval, V. Structural basis for the inhibition of lactate dehydrogenase by oxamate / V. Deval, F. Begue, H. Tricoire, A. Ménez, J.F. Brière // *Biochemistry*. – 2011. – Vol. 50, N 13. – P. 2381–2390. – doi:10.1021/bi101923.
11. Rastgoo, S. The effects of L-carnitine supplementation on inflammatory and anti-inflammatory markers in adults: a systematic review and dose-response meta-analysis / S. Rastgoo, ST Fateh, M Nikbaf-Shandiz, N Rasaei, Y Aali, M Zamani, F Shiraseb, O Asbaghi // *Inflammopharmacology*. – 2023. – Vol. 31, N 5. – P. 2173–2199. – doi: 10.1007/s10787-023-01323-9.
12. Al-Dhuayan, IS. Biomedical role of L-carnitine in several organ systems, cellular tissues, and COVID-19 / IS. Al-Dhuayan // *Braz J Biol*. – 2023. – Vol. 82. – e267633. – doi: 10.1590/1519-6984.267633.
13. Mielgo-Ayuso, J. Effect of Acute and Chronic Oral l-Carnitine Supplementation on Exercise Performance Based on the Exercise Intensity: A Systematic Review / J. Mielgo-Ayuso, L. Pietrantonio, A. Viribay, J. Calleja-González, J. González-Bernal, D. Fernández-Lázaro // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, N 12. – P. 4359. – doi: 10.3390/nu13124359.
14. Jagim, AR. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots / AR. Jagim, PS. Harty, GM. Tinsley, CM. Kerksick, AM. Gonzalez, RB. Kreider, SM. Arent, R. Jager, AE. Smith-Ryan, JR. Stout, BI. Campbell, T. VanDusseldorp, J. Antonio // *J Int Soc Sports Nutr*. – 2023. – Vol. 20, N 1. – P. 2171314. – doi: 10.1080/15502783.2023.2171314.
15. Fathizadeh, H. The effects of L-carnitine supplementation on indicators of inflammation and oxidative stress: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / H. Fathizadeh, A. Milajerdi, Ž. Reiner, E. Amirani, Z. Asemi, MA. Mansournia, J. Hallajzadeh // *J Diabetes Metab Disord*. – 2020. – Vol. 19, N 2. – P. 1879–1894. – doi: 10.1007/s40200-020-00627-9.
16. Samborowska, E. Twenty-Four Weeks of L-Carnitine Combined with Leucine Supplementation Does Not Increase the Muscle Carnitine Content in Healthy Active Subjects / E. Samborowska, RA. Olek // *Ann Nutr Metab*. – 2023. – Vol. 79, N 2. – P. 219–227. – doi: 10.1159/000529333.
17. Holms, R. The role of L-carnitine in the treatment of myocardial infarction. Result of CEDIM randomize investigation / R. Holms, P.D. Greenbaum, G. Huang. – London, 2010. – 254 p.
18. Hasselwander, O. The role of carnitine in energy metabolism during endurance exercise / O. Hasselwander, L. Pénicaud, C. Obled, M.-C. Babot, C. Aussel, M. Arnal // *European Journal of Applied Physiology*. – 2006. – T. 97. – N 5. – S. 449–458.
19. Hosseini, M. Acute Effects of Oral L-Carnitine Supplementation on Resting Blood Pressure in Young Non-Smoker Male Volunteers: A Randomized, Double Blind, Placebo Controlled Trial / M. Hosseini, M. Abdollahi, A. Rahimi Forushani, R. Mehrdad // *Iranian Red Crescent Medical Journal*. – 2013. – Vol. 15, N 12. – e8440. – doi:10.5812/ircmj.8440.
20. Raffaella Effects of L-carnitine on cardiovascular diseases: a review on human studies / Raffaella et al. // *Life Sciences*. – 2013. – Vol. 92. – N 12. – P. 649–655.
21. Heckman, MG. The safety of L-carnitine supplementation in healthy adults and children / MG. Heckman, CL. Sherry, JP. DeLany, JJ. Kehayias, JR.

McNeil, EA. Yetley // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2011. – Vol. 51, N 6. – P. 484–496. – doi:10.1080/10408398.2010.484211.

22. Melani, L. Propionyl-L-carnitine intravenous infusion improves intermittent claudication in patients with peripheral vascular disease / L. Melani, AM. Malagoni, E. Di Paolo, A. Turco, G. Buzzigoli // *Journal of Cardiovascular Pharmacology*. – 2001. – Vol. 37, N 5. – P. 532–537. – doi:10.1097/00005344-200105000-00014.

23. Rajasekar, P. Effects of L-carnitine on RBC membrane composition and function in hyperinsulinemic rats / P. Rajasekar, K. Balasaraswathi, C.V. Anuradha // *Ital. J. Biochem.* – 2007. – Vol. 56, N 1. – P. 53–60.

24. Montgomery, A. Meta-analysis of double blind randomized controlled clinical trials of acetyl-L-carnitine versus placebo in the treatment of mild cognitive impairment and mild Alzheimer's disease / A. Montgomery, LJ. Thal, R. Amrein // *International Clinical Psychopharmacology*. – 2003. – Vol. 18, N 2. – P. 61–71. – doi:10.1097/00004850-200303000-00003.

25. Shen, L. L-carnitine's role in KAATSU training- induced neuromuscular fatigue / L. Shen, J. Li, Y. Chen, Z. Lu, W. Lyu // *Biomed Pharmacother.* – 2020. – Vol. 125. – P. 109899. – doi:10.1016/j.biopha.2020.109899.

26. Liu, J. L-carnitine and acetyl-L-carnitine protect against neuronal injury in cell culture and animal models of stroke, epilepsy, and neurotrauma / J. Liu, SP. Soltoff, HS. Waagepetersen, U. Sonnewald, ZX. Shi, GA. Perkins // *J Neurosci Res.* – 2004. – Vol. 77, N 2. – P. 195–206. – doi:10.1002/jnr.20123.

27. Zhu, XZ. L-carnitine attenuates glutamate excitotoxicity in rat cerebral cortical neurons / XZ. Zhu, XQ. Li, Z.

Pei, A. Funakoshi, H. Takahashi, A. Nunomura // *Brain Research Bulletin*. – 2004. – Vol. 64, N 1. – P. 55–60. – doi:10.1016/j.brainresbull.2004.02.003.

28. Kashiwaya, Y. Inside the energy factory within our cells / Y. Kashiwaya, MT. King, J. Xie, K. Clarke, RL. Veech // *The Medical Scientist*. – 2007. – Vol. 44, N 3. – P. 166–171.

29. Barker, J. Postexercise Blood and Muscle Free L-Carnitine and Acetyl-L-Carnitine Changes After Various Protocols / J. Barker, M. Long, J. Ramos, B. Helwig, NR. LeBlanc, M. Amann // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, N 11. – doi:10.3390/nu11112588.

30. Sanders, DJ. Effects of Acute Aerobic or Anaerobic Exercise on Plasma Free and Acylated Forms of Carnitine / DJ. Sanders, RA. Knaggs, S. Grant, RC. Harris, DWD. West // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, N 10. – doi:10.3390/nu13103357.

31. Maran, A. Regulation of Carnitine Metabolism Under Conditions of Health and Disease / A. Maran, HE. Mohamed, A. Sharma, FW. Kari, BVN. Dasari // *Front Mol Biosci*. – 2022. – Vol. 9. – doi:10.3389/fmolb.2022.822157.

32. Garibotto, G. L-Carnitine as a Pharmacological Approach to Improve Cardiac Performance / G. Garibotto, R. Russo, F. Sofi, R. Cerio, C. Ceconi, L. Agnoletti // *Nutrients*. – 2017. – Vol. 9, N 7. – doi:10.3390/nu9070719.

33. Stephens, FB. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle / FB. Stephens, D. Constantin-Teodosiu, PL. Greenhaff // *J Anat.* – 2007. – Vol. 211, N 6. – P. 703–710. – doi:10.1111/j.1469-7580.2007.00761.

34. Cribbs, SK. Effect of high fat diet and aerobic training on skeletal muscle triacylglycerol content and expression of genes involved in lipid metabolism /

SK. Cribbs, PC. Geiger, DK. Fox, SL. Davis, JJ. Leddy, DR. Pendergast // Lipids Health Dis. – 2010. – Vol. 9. – doi:10.1186/1476-511X-9-67.

35. Costello, M. Training Status Determines the Impact of L-Carnitine Supplementation on Skeletal Muscle Carnitine Content and Recovery from Simulated Match Play in Elite Female Soccer Players / M. Costello, MA. Papandreou, W. Zhang, KF. Faull, I. Chenier, KA. Featherstone // Nutrients. – 2017. – Vol. 9, N 9. – doi:10.3390/nu9091022.

36. Russell, AP. Energy Substrates in Heart Failure: Metabolism and Beyond / AP. Russell, H. Taegtmeyer // Circ Res. – 2010. – Vol. 107, N 10. – P.

1347–1358. – doi:10.1161/CIRCRESAHA.110.228252.

37. Alhasaniah, AH. l-carnitine: Nutrition, pathology, and health benefits / AH. Alhasaniah // Saudi J Biol Sci. – 2023. – Vol. 30, N 2. – P. 103555. – doi: 10.1016/j.sjbs.2022.103555.

38. Jagim, AR. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots / AR. Jagim, PS. Harty, GM. Tinsley, CM. Kerksick, AM. Gonzalez, RB. Kreider, SM. Arent, R. Jager, AE. Smith-Ryan, JR. Stout, BI. Campbell, T. VanDusseldorp, J. Antonio // J Int Soc Sports Nutr. – 2023. – Vol. 20, N 1. – P. 2171314. – doi: 10.1080/15502783.2023.2171314.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Звягина Екатерина Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры». Челябинск, Россия. 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1. Телефон: 89090756875. Эл. почта: zv-aev@mail.ru

Петрушкина Надежда Петровна – доктор медицинских наук, зав.кафедрой физиологии, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия. 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1. Телефон: 89068650253. Эл. почта: 25ppnn@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina V. Zvyagina – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. 454091, Chelyabinsk, st. Ordzhonikidze, 1. Phone: 89090756875. Email. zv-aev@mail.ru

Nadezhda P. Petrushkina – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Physiology, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. 454091, Chelyabinsk, st. Ordzhonikidze, 1. Phone: 89068650253. Email. 25ppnn@mail.ru