

L-карнитин: пищевые источники, адекватные и клинически эффективные дозы

В.М. Коденцова¹, <https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>, kodentsova@ion.ru

Д.В. Рисник², <https://orcid.org/0000-0002-3389-8115>, biant3@mail.ru

Е.В. Крюкова³, <https://orcid.org/0000-0001-6858-3618>

С.Г. Дарий³, <https://orcid.org/0000-0003-2708-2109>

¹ Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи; 109240, Россия, Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

³ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

Резюме

L-карнитин играет ключевую роль в биоэнергетике клетки, относится к витаминоподобным веществам, но в отличие от витаминов не только поступает с пищей, но и синтезируется в организме. Эндогенный синтез уменьшается с возрастом, при некоторых физиологических состояниях, приеме лекарственных средств. В связи с этим разрабатываются специализированные пищевые продукты и биологически активные добавки к пище, содержащие в качестве одного из функциональных ингредиентов L-карнитин. Сопоставлены дозы L-карнитина, разрешенных для применения в составе биологически активных добавок к пище и специализированных пищевых продуктов, с дозами, обеспечивающими клинический эффект. Обзор существующей литературы по данной проблеме за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, Pubmed и в системах Google Scholar, ReserchGate. Количество L-карнитина, содержащегося в суточной порции специализированных пищевых продуктов, установлено отечественными нормативными документами исходя из адекватного уровня суточного потребления для взрослых, составляющего 300 мг, и верхнего допустимого уровня суточного потребления в составе специализированных пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище – 900 мг/сут. Прием L-карнитина по 1–2 г/сут в течение 5–12 нед. приводил к повышению его концентрации в плазме крови, а также улучшал показатели антиоксидантного статуса. Продолжительный прием L-карнитина в дозах 2–3 г у пациентов с дислипидемиями, сахарным диабетом и сердечно-сосудистыми заболеваниями приводил к улучшению липидного профиля плазмы крови, гликемического контроля, оказывал противовоспалительное действие. Условием достижения клинического эффекта у пациентов является длительный прием и высокие дозы. Прием физиологических доз L-карнитина целесообразен для лиц из групп риска. Клинически эффективные дозы L-карнитина при применении в течение не менее 12 нед. соответствуют или в два раза превышают верхний допустимый уровень потребления в составе специализированных пищевых продуктов и биологически активных добавок.

Ключевые слова: L-карнитин, специализированные пищевые продукты, биологически активные добавки к пище, клиническая эффективность, дозировка

Для цитирования: Коденцова ВМ, Рисник ДВ, Крюкова ЕВ, Дарий СГ. L-карнитин: пищевые источники, адекватные и клинически эффективные дозы. *Медицинский совет.* 2024;18(5):320–328. <https://doi.org/10.21518/ms2024-028>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

L-carnitine: food sources, adequate and clinically effective doses

Vera M. Kodentsova¹, <https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>, kodentsova@ion.ru

Dmitry V. Risnik², <https://orcid.org/0000-0002-3389-8115>, biant3@mail.ru

Elizaveta V. Kryukova³, <https://orcid.org/0000-0001-6858-3618>

Sergey G. Dariy³, <https://orcid.org/0000-0003-2708-2109>

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety; 2/14, Ustyinsky Proezd, Moscow, 109240, Russia

² Lomonosov Moscow State University; 1, Lenin Hills, Moscow, 119991, Russia

³ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH); 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125080, Russia

Abstract

L-carnitine plays a key role in cell bioenergetics, it belongs to vitamin-like substances, but unlike vitamins, it not only comes from food, but is also synthesized in the body. Endogenous synthesis decreases with age, under certain physiological conditions, taking medications. In this regard, specialized food products (SFP) and food supplements are being developed, containing L-carnitine as one of the functional ingredients. Comparison of doses of L-carnitine approved for use in biologically active food supplements and specialized food products with doses that provide a clinical effect. A review of existing literature on this issue in recent years was carried out using the RSCI, Pubmed databases and in the Google Scholar, ResearchGate systems. The amount of L-carnitine contained in a daily portion of SPP is established by domestic regulatory documents based on an adequate level

of daily intake for adults, which is 300 mg and the upper permissible level of daily intake in the composition of SFP and food supplements is 900 mg/day. Reception of L-carnitine 1–2 g per day, within 5–12 weeks led to an increase in its concentration in the blood plasma, and also improved the indicators of the antioxidant status. Long-term intake of L-carnitine in doses of 2–3 g in patients with dyslipidemia, type 2 diabetes (DM2) and cardiovascular diseased (CVD) led to an improvement in the lipid profile of blood plasma, glycemic control, and had an anti-inflammatory effect. The condition for achieving a clinical effect in patients is long-term use and high doses. The intake of physiological doses of L-carnitine is appropriate for individuals from risk groups. Clinically effective doses of L-carnitine, when used for at least 12 weeks, correspond to or are 2 times higher than the upper permissible intake level in the composition of SPP and dietary supplements.

Keywords: L-carnitine, specialized food products, biologically active food supplements, clinical efficacy, dosage

For citation: Kodentsova VM, Risnik DV, Kryukova EV, Dariy SG. L-carnitine: food sources, adequate and clinically effective doses. *Meditsinskiy Sovet*. 2024;18(5):320–328. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2024-028>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

L-карнитин относится к витаминоподобным веществам, играет важную роль в биоэнергетике клетки, имеет сходство с витаминами, но в отличие от них не только поступает с пищей, но и синтезируется в организме. Из-за схожести действия с витаминами группы B его иногда называют витамин B_T или B₁₁. L-карнитин имеет два стереоизомера: биоактивный L-карнитин и абиотический энантиомерный изомер D-карнитин. Для простоты эндогенный L-карнитин и использующийся в медицинской и пищевой промышленности часто называют «карнитин». Одна из основных функций L-карнитина – транспорт жирных кислот (преимущественно длинноцепочечных) через внутреннюю мембрану в матрикс митохондрии для синтеза АТФ в процессе β-окисления при одновременном усилении термогенеза [1]. В форме ацилкарнитина он участвует в процессах катаболизма жиров и образования энергии в организме. L-карнитин также участвует в метаболизме аминокислот с разветвленной цепью: валина, лейцина и изолейцина. Связываясь с продуктами их метаболизма (α-кетокислотами), он транспортирует их в печень, где они либо окисляются, либо становятся субстратом в процессе глюконеогенеза [1]. L-карнитин обладает антиоксидантными свойствами [1]. Карнитин модулирует соотношение ацил-КоА/КоА, которое, в свою очередь, регулирует активность многих митохондриальных ферментов, участвующих в цикле трикарбоновых кислот, глюконеогенезе, цикле мочевины и окислении жирных кислот [2]. Имеются сведения о гиполлипидемических эффектах L-карнитина [1]. В исследовании по принципу «случай – контроль» было показано, что у лиц, находящихся в верхнем квартиле потребления карнитина, был снижен риск возникновения рака [3]. Считается, что L-карнитин за счет снижения уровня молочной и пировиноградной кислот способствует повышению выносливости, а также увеличивает двигательную активность и повышает переносимость физических нагрузок.

Эндогенный синтез карнитина происходит в печени, почках и мозге из аминокислот – предшественников лизина и метионина по пути, зависящему от железа, витаминов C, ниацина, B₆, B₉ и B₁₂ [4].

Эндогенные концентрации L-карнитина в плазме крови и тканях поддерживаются в относительно узком гомеостатическом диапазоне [5]. В организме человека содержится около 300 мг L-карнитина на 1 кг массы тела. Содержание L-карнитина в скелетных мышцах составляет 2–3 ммоль/кг, в печени – 800–1500 ммоль/кг. Концентрация L-карнитина в плазме крови находится в диапазоне 20–60 мкмоль/л. Концентрация свободного L-карнитина в спермоплазме мужчин варьирует от 8,6 до 32,6 мкг/мл [6]. 99% всего L-карнитина находится внутри клеток, в основном в скелетных и сердечных мышцах (98%). В биологических системах L-карнитин присутствует в свободном виде, а также в форме различных сложных эфиров с коротко-, средне- и длинноцепочечными жирными кислотами (ацилкарнитин).

По некоторым данным, биодоступность L-карнитина у человека составляет 30–87% при приеме в дозе до 300 мг/сут и уменьшается до 16% при однократном приеме 2 г [7].

Проанализировано сопоставление доз L-карнитина, разрешенных для применения в составе БАД к пище и СПП, с дозами, обеспечивающими клинический эффект. Обзор существующей по проблеме литературы за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, Pubmed и в системах Google Scholar, ReserchGate по ключевым словам «карнитин» и «L-carnitine». Рассматривали исследования по применению L-карнитина только у людей.

ПОТРЕБЛЕНИЕ L-КАРНИТИНА С ПИЩЕЙ

Данные о содержании L-карнитина в пищевых продуктах (*табл. 1*) и оценке его потребления с пищей многочисленны.

Как следует из данных *табл. 1*, содержание L-карнитина в некоторых продуктах заметно варьирует, что объясняется как различиями самих исследуемых продуктов, так и использованием разных аналитических методов его определения [4]. Наиболее важными пищевыми источниками L-карнитина являются продукты животного происхождения: говядина, свинина, курятина, рыба, баранина, а также молочные продукты и яйца [1]. В расчете на сухое вещество содержание L-карнитина убывает в ряду: мясо

● **Таблица 1.** Содержание L-карнитина в сырых и готовых к употреблению пищевых продуктах [1, 8–10]
 ● **Table 1.** L-carnitine content in raw and ready-made foods [1, 8–10]

Пищевой продукт	Содержание, мг/100 г
Мясные продукты	
• Телятина	78–133
• Говядина	65–143
• Бифштекс приготовленный	49–144
• Баранина	40
• Утятина	27
• Индюшатина	21
• Свинина	21
• Курятина	10
• Свинина отварная	13
• Печень куриная приготовленная	94
• Колбасы	7–66
Рыба и морепродукты	
• Лосось приготовленный	5,8
• Хек отварной	2,9
• Мидии приготовленные	2,6
• Треска	1,8
• Сурими	1,1
• Креветка	0,7
Молочные продукты и яйца	
• Сыр мягкий	14,4
• Йогурт	12,0
• Молоко	2,3–2,9
• Фета	1,8
• Сливки	1,8
• Сыр пармезан	0,7
• Моцарелла, масло сливочное	0,3
• Яйцо	0,3–0,8
Фрукты, овощи	
• Авокадо	8,1
• Лук зеленый	4,7
• Картофель сырой	2,4
• Грибы	0,5–2,6
• Кабачки	1,1
• Манго	0,8
• Лук репчатый	0,7
• Абрикос	0,5
• Хлеб, морковь	0,4
• Яблоко, банан, киви, перец сладкий	0,3
• Томат	0,1

кенгуру > конина > говядина [11]. Содержание L-карнитина в сушеных грибах вешенках *Pleurotus ostreatus* примерно одинаково с содержанием в свином фарше и составляет около 53 мг/100 г сухого веса [11].

По данным норвежских исследователей, потребление L-карнитина с традиционным рационом без использования обогащенных им пищевых продуктов и БАД к пище составляет 100–300 мг/сут [7]. По данным французских исследователей, суточное поступление L-карнитина с обычным рационом составляет около 77 мг, причем 77,8% приходится на мясные продукты и 14,4% – на молочные продукты и яйца [8]. По данным этих же авторов, при вегетарианском типе питания общее количество потребляемого L-карнитина значительно меньше и составляет примерно 16 мг/сут [8]. Концентрация

L-карнитина в плазме крови добровольцев, потреблявших в течение 4 нед. лакто-ово-вегетарианскую диету, была ниже примерно на 14,8 мкмоль/л по сравнению с показателем лиц, потреблявших изокалорийный обычный рацион, содержащий 145 г мяса [12]. Лица, потреблявшие мясо более 3 раз в неделю, имели более высокий уровень L-карнитина по сравнению с редко употреблявшими мясо (6,1 против 5,7 мкг/мл, $p < 0,05$) [3]. В сравнительном исследовании было показано, что суточное потребление L-карнитина у вегетарианцев существенно меньше, чем у лиц, потребляющих смешанный рацион ($4,2 \pm 0,6$ против 51 ± 14 мг/сут), при этом и концентрация L-карнитина в плазме крови у них также была несколько ниже ($43,1 \pm 4,3$ против $47,9 \pm 4,6$ мкмоль/л), что не отражается на содержании L-карнитина в скелетных мышцах (примерно 22 ммоль/кг сухой массы) [2].

Таким образом, потребности вегетарианцев в L-карнитине почти полностью удовлетворяются за счет его эндогенного биосинтеза. Это автоматически подразумевает, что их организм должен быть обеспечен незаменимыми аминокислотами (лизин, метионин), витаминами С и В₆, а также железом, участвующими в синтезе L-карнитина [13].

Вследствие временной недостаточности синтезирующей способности L-карнитин считается незаменимым пищевым веществом как для недоношенных, так и для родившихся в срок младенцев [14]. L-карнитин является естественным компонентом грудного молока. Концентрация L-карнитина в грудном молоке составляет 1–1,2 мг на 100 мл [15, 16], что примерно в 2 раза меньше содержания в коровьем молоке. У детей на исключительно грудном вскармливании, особенно недоношенных, у которых система эндогенного синтеза незрелая, материнское молоко является единственным пищевым источником L-карнитина [17]. Это послужило основанием для включения L-карнитина в адаптированные смеси для вскармливания детей раннего возраста и установления его минимального содержания. Европейское общество детской гастроэнтерологии, гепатологии и питания (ESPGHAN) с 1991 г. рекомендует, чтобы смеси для новорожденных с низким весом содержали L-карнитин в концентрациях, по крайней мере аналогичных концентрациям в грудном молоке [18]. В соответствии с Приложением 9 к техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/201) при производстве пищевой продукции детского питания разрешено использовать L-карнитин, L-карнитина гидрохлорид и L-карнитина тартрат.

В соответствии с приложением 7 «Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» формы, разрешенные для использования в составе БАД к пище и специализированных пищевых продуктов для взрослых, включают непосредственно L-карнитин, L-карнитина тартрат, L-карнитина гидрохлорид и ацетилкарнитин¹.

¹ Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (Глава II. Раздел 1. Требования безопасности и пищевой ценности пищевой продукции), утверждены Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. №299. Режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/depsanmer/sanmeri/Pages/P2_299.aspx.

ПРИЧИНЫ ДЕФИЦИТА L-КАРНИТИНА

Первичный дефицит L-карнитина, приводящий к снижению его уровней в тканях и встречающийся достаточно редко, обусловлен мутациями в генах, кодирующих белки, участвующие в многоступенчатом биосинтезе L-карнитина в организме [5].

В нормальных физиологических условиях при полноценном питании потребность организма в L-карнитине в значительной мере обеспечивает эндогенный синтез. Потребность в L-карнитине зависит от возраста, диеты, метаболических условий (стресс, голодание, активная физическая нагрузка) [5]. Однако имеются некоторые условия и состояния, при которых эндогенный синтез снижается или нарушается. Рацион с повышенным содержанием белка и жиров, беременность способствуют снижению реабсорбции L-карнитина и, соответственно, приводят к увеличению экскреции и развитию дефицита. При дефиците L-карнитина происходит снижение концентрации L-карнитина в тканях. Способность организма синтезировать L-карнитин снижается с возрастом.

Вторичный дефицит L-карнитина наблюдается при гемодиализе или при приеме некоторых лекарственных препаратов. При вторичном дефиците (недостаточности) L-карнитина истощение его запасов может быть следствием патологических состояний (нарушения обмена веществ, приобретенные заболевания или другие внешние факторы). Соотношение ацилкарнитина и L-карнитина в плазме крови изменяется при голодании, беременности, у новорожденных, а также может быть следствием медицинских вмешательств (гемодиализ, прием вальпроатов, антибиотиков, содержащих пивалиновую кислоту) [5]. Недостаточность L-карнитина обычно испытывают пациенты с онкологическими заболеваниями [3].

Недостаточность L-карнитина проявляется мышечной слабостью, дистрофией, истончением мышечных волокон. Дефицит L-карнитина способствует нарушению липидного обмена, в т. ч. развитию ожирения, а также дистрофических процессов в миокарде.

Об обеспеченности организма L-карнитином судят по его концентрации в плазме крови, отражающей баланс между скоростью синтеза, потребления с пищей и скоростью экскреции. Концентрация L-карнитина в плазме крови варьирует в диапазоне 30–89 мкмоль/л, в норме составляя $59,3 \pm 11,9$ у мужчин и $51,5 \pm 11,6$ мкмоль/л у женщин [4]. Вторичный дефицит L-карнитина характеризуется клинически низкими концентрациями свободного L-карнитина в плазме крови (менее 20 мкмоль/л) и повышенным соотношением ацилкарнитин/свободный L-карнитин (более 0,4) [13].

Эндогенный биосинтез L-карнитина катализирует согласованным действием пяти ферментов. Для этого процесса требуются две незаменимые аминокислоты (лизин и метионин), железо (Fe^{2+}), витамин B_6 , ниацин в форме никотинамидадениндинуклеотида (NAD), а также витамин C [19]. В этой связи важно подчеркнуть, что для превращения витамина B_6 в свою коферментную форму необходима адекватная обеспеченность организма

витамином B_{12} , дефицит которого испытывает значительная часть как взрослого, так и детского населения России [20]. Железодофицитные анемии выявляются у 12–13% обследованных женщин [21], манифестный дефицит железа (уменьшение всех показателей обеспеченности) у беременных встречается значительно чаще [22].

Мясные продукты являются важными источниками антиоксидантов и ряда биологически активных пищевых веществ (таурин, L-карнитин, холин, α -липовая кислота, конъюгированная линолевая кислота, глутатион, креатин, коэнзим Q_{10}), которые либо отсутствуют в других группах пищевых продуктов, либо содержатся в ограниченных количествах [1]. У вегетарианцев снижено потребление с пищей L-карнитина и его предшественников (лизина и метионина), поскольку в смешанном рационе их основными источниками являются мясные продукты. Кроме того, эндогенный синтез также может быть снижен вследствие более высокой распространенности среди вегетарианцев недостаточности витаминов группы B и железа [23].

Таким образом, беременные женщины и вегетарианцы относятся к группе риска по недостаточной обеспеченности L-карнитином.

ДОЗОВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КЛИНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ L-КАРНИТИНА

На сегодняшний день накопились сведения об использовании L-карнитина в питании спортсменов и пациентов разного профиля. Метаанализ результатов 11 исследований показал, что прием здоровыми людьми L-карнитина в дозе 1–4 г/сут в течение 12–24 нед. повышал общее содержание L-карнитина в скелетных мышцах, не влиял на мышечную силу у здоровых пожилых женщин, но значительно увеличил мышечную массу, улучшил переносимость физических упражнений и когнитивные функции, а также повышал уровень проатерогенного метаболита триметиламин-N-оксида (ТМАО) в плазме крови натощак [14]. Прием 14 здоровыми пожилыми мужчинами в течение 25 сут. по 3 г/сут карнитина в форме тартрата, добавленного к 220 мл инсулиногенного напитка (содержащего 44,4 г углеводов, 13,8 г белка), привел к увеличению общего содержания карнитина в скелетных мышцах на 20% и общего окисления жира на 20% [24]. Показано, что прием по 2 г L-карнитина в течение 36 сут. привел к повышению уровня ацилкарнитина в скелетных мышцах у добровольцев с нарушенной толерантностью к глюкозе как в покое, так и после тренировки на велотренажере [19]. Прием вегетарианцами по 2 г L-карнитина в течение 12 нед. привел к повышению его концентрации в плазме крови до уровня, характерного для лиц, потребляющих мясные продукты [2].

В табл. 2 суммированы результаты оценки клинической эффективности L-карнитина и условия ее достижения.

Двенадцатинедельный прием пациентами с ишемической болезнью сердца (ИБС) L-карнитина в дозе 1000 мг/сут вызывал статистически значимое повышение в плазме крови концентрации L-карнитина ($33,6 \pm 13,6$ до $40,0 \pm 12,0$ мкмоль/л), снижение уровня малонового

● **Таблица 2.** Клиническая эффективность приема карнитина пациентами и условия ее достижения
 ● **Table 2.** Clinical efficacy of L-carnitine intake in patients and conditions of its achievement

Заболeвание/группа обследованных	Действующая суточная доза	Срок приема	Эффект
Инфаркт миокарда	4 г	12 мес.	Смертность ↓, приступы стенокардии ↓ [13]
Стенокардия напряжения	2 г	3–6 мес.	Экстрасистолия в состоянии покоя ↓, переносимость физической нагрузки ↑ [13]
Ишемическая сердечная недостаточность	50 мг/кг массы тела	10 сут.	Эффективность работы сердца ↑ [25]
Взрослые с факторами риска ССЗ (метаанализ)	≥1500 мг	≥12 нед.	ХС ↓, ХС ЛПНП ↓, HbA1c ↓, ТГ =, Apo A-I =, Apo B 100 = [26]
Дислипидемия	2 г	4 мес.	ХС ↓, ХС ЛПВП ↑ [27]
Дислипидемия (метаанализ РКИ)	>2 г	-	ХС ↓, ХС ЛПНП ↓, ТГ ↓, ХС ЛПВП ↑ [28]
СД2	2–3 г	4–52 нед.	ХС ↓, ХС ЛПНП ↓, ТГ =, ХС ЛПВП = [29]
СД2	1–2 г		Кетоз ↓, кетонемия ↓ [27]
СД2	2 г	>2 нед.	ИМТ ↓ [30]
СД2	2 г	>12 нед.	Глюкоза натощак ↓, HbA1c ↓, HOMA-IR ↓ [31]
Метаболический синдром (метаанализ)	1–3 г	8–24 нед.	Глюкоза ↓, ХС ЛПВП ↑, окружность талии ↓, САД ↓ [32]
ИБС	1000 мг	12 нед.	МДА ↓, карнитин ↑, каталаза ↑, СОД ↑, ГП ↑ [33]
Ожирение	1000 мг	4 нед.	Масса тела ↓ [25]
Избыточная масса тела и ожирение (метаанализ 37 РКИ)	2000 мг	≥12 нед.	Масса тела ↓ [34]
Ожирение, поликистоз яичников	1 г	12 нед.	Инсулинорезистентность ↓, глюкоза =, ХС =, ХС ЛПНП =, ХС ЛПВП = [25]
Неалкогольная жировая болезнь печени (метаанализ 14 РКИ)	300–2000 мг	12–24 нед.	АСТ ↓, АЛТ ↓, ТГ ↓, HOMA-IR ↓, активность γGT =, ХС ЛПНП =, ХС ЛПВП =, ИМТ = [35]
Болезни печени	2000 мг	≥12	АСТ ↓, АЛТ ↓ [36]
Женщины с остеоартрозом коленного сустава, ожирением и дислипидемией	1 г	12 нед.	Индекс атерогенности плазмы =, коэффициент атерогенности =, коэффициент избыточного накопления липидов ↓ [35]
Онкозаболевания	2–4 г	4–6 мес.	IL-1β ↓, IL-6 ↓, TNF-α ↓ [27]
Поликистоз яичников	250 мг	12 нед.	Толщина интимы-медиа сонных артерий ↓, оксид азота в плазме ↓, ИМТ ↓ [25]
Остеоартроз	750 мг	8 нед.	Болевой синдром ↓, IL-1β ↓ [25]
Пациенты с вульгарной пузырчаткой	2 г	8 нед.	L-карнитин плазмы крови ↑ [25]

Примечание. АЛТ – аланинаминотрансфераза, АСТ – аспартатаминотрансфераза, ГП – глутатионпероксидаза, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ИМТ – индекс массы тела, МДА – малоновый диальдегид, РКИ – рандомизированное контролируемое исследование, САД – систолическое артериальное давление, СД2 – сахарный диабет 2-го типа, СОД – супероксиддисмутаза, ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания, ТГ – триглицериды, ХС – холестерин, ХС ЛПВП – холестерин липопротеидов высокой плотности, ХС ЛПНП – холестерин липопротеидов низкой плотности, Apo A-I – аполипопротеин, Apo B 100 – аполипопротеин В, HbA1c – гликированный гемоглобин, HOMA-IR – индекс инсулинорезистентности, IL-1β – интерлейкин-1 бета, IL-6 – интерлейкин-6, TNF-α – фактор некроза опухоли альфа, γGT – γ-глутамилтрансфераза, ↓ – уменьшение, ↑ – увеличение, = – отсутствие изменений.

диальдегида (МДА) и повышение активности антиоксидантных ферментов эритроцитов (каталаза, глутатионпероксидаза, супероксиддисмутаза) [33].

Двенадцатинедельный прием L-карнитина в дозе 1000 мг/сут женщинами с избыточной массой тела или ожирением с поликистозом яичников улучшал резистентность к инсулину, но не влиял на липидный профиль [37].

Метаанализ РКИ по оценке влияния добавок L-карнитина в дозе от 300 до 2000 мг/сут на функцию печени, липидный профиль, массу тела и HOMA-IR пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени показал, что прием L-карнитина в течение 12–24 нед. снижал активность АСТ, АЛТ, уровень ТГ и HOMA-IR, но не влиял на активность γGT, уровень ХС ЛПНП и ХС ЛПВП, а также ИМТ [35].

При метаанализе РКИ, в которых использованные суточные дозы L-карнитина находились в диапазоне 2000–3000 мг/сут, причем самая короткая продолжительность приема составила 4 нед., а самая большая – 52 нед., у пациентов с СД2 были выявлены следующие закономерности: для снижения уровня общего ХС и ХС ЛПНП ощутимый эффект наблюдался при условии, что доза была менее 3000 мг, а продолжительность приема не менее 12 нед. [29]. По данным других авторов, профиль липидов плазмы крови может улучшить прием L-карнитина в дозах более 1500 мг/сут, особенно в сочетании с гипокалорийной диетой [26].

Прием женщинами с остеоартрозом коленного сустава, ожирением и дислипидемией по 1 г L-карнитина

в капсулах в течение 12 нед. снижал коэффициент накопления липидов, рассчитанный исходя из массы тела и концентрации ТГ в плазме крови натощак, но не оказывал влияния на показатели атерогенности [38]. Метаанализ 10 РКИ применения L-карнитина в дозе 2–3 г показал, что для снижения ИМТ у пациентов с СД2 требовался прием по 2 г/сут L-карнитина в течение не менее 2 нед. [30]. В то же время адьювантная терапия онкологических больных L-карнитином в дозах от 2 до 6 г в день способствует предотвращению потери веса и/или слабости и утомляемости [3].

С использованием модельного метаанализа по влиянию приема 2 г L-карнитина на гликемический контроль у пациентов с СД2 было установлено, что для снижения уровня глюкозы в плазме крови натощак требуется длительное время – не менее 36 нед., а для снижения уровня гликозилированного гемоглобина (HbA1c) – более 106 нед. [39].

Прием пациентами, поступившими в отделение интенсивной терапии, L-карнитина в дозе 3 г/сут в течение 7 дней значительно снизил уровни в плазме крови C-реактивного белка и интерлейкина IL-6, оказав тем самым положительное влияние на воспалительные и клинические исходы у критически больных пациентов [40].

Прием L-карнитина по 1–2 г/сут в течение 5–12 нед. приводил к повышению его концентрации в плазме крови, а также улучшал показатели антиоксидантного статуса. Продолжительный прием L-карнитина в дозах 2–3 г у пациентов с дислипидемиями, СД2 и ССЗ приводил к улучшению липидного профиля плазмы крови, гликемического контроля, оказывал антиоксидантное и противовоспалительное действие.

Анализ данных *табл. 2* показывает гетерогенность исследований, различающихся по использованным дозам L-карнитина и продолжительности наблюдений [29]. Однако большинство исследований свидетельствуют о том, что для проявления клинического эффекта продолжительность приема L-карнитина должна быть не менее 12 нед.

Л-КАРНИТИН В СОСТАВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПП

Комиссия по диетическим продуктам, питанию и аллергии (NDA) Европейского агентства по безопасности продуктов питания, рассмотрев предложение о суточной дозе (0,1–1 г) L-карнитина (чистый L-карнитин или эквивалентное количество L-карнитина тартрата) в виде БАД к пище или в составе обогащенных продуктов (протеиновые коктейли, напитки и батончики) для поддержания нормального метаболизма липидов, признала, что, хотя L-карнитин участвует в липидном обмене, причинно-следственная связь между потреблением L-карнитина и его вкладом в нормальный липидный обмен в общей популяции не была установлена [41].

Тем не менее в последние годы все большее распространение получает создание многокомпонентных СПП, одновременно содержащих несколько функциональных компонентов, эффективность которых при применении в высоких дозах подтверждена в рандомизированных

клинических исследованиях с участием пациентов различного профиля, но в более низкой дозе [42, 43]. Посылом для создания таких продуктов служит теоретическое ожидание, что входящие в состав биологически активные ингредиенты проявят синергетическое действие.

Примером такого СПП, специально разработанного для диетической коррекции рациона больных с неалкогольным стеатогепатитом, является напиток, порция которого содержит 200 мг L-карнитина, 240 мг таурина при эффективной дозе 1,5–3 г [44], 12 мг коэнзима Q в водорастворимой форме, растворимые пищевые волокна, витамины [42]. Обязательным условием государственной регистрации СПП, свидетельствующим о их профилактических или лечебных свойствах, в соответствии с техническим регламентом ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в т. ч. диетического лечебного и диетического профилактического питания» является подтверждение статистически значимого положительного воздействия на функцию органов и систем, а также обмен веществ человека при отсутствии нежелательных эффектов [45].

Оценка клинической эффективности вышеуказанного СПП показала, что прием в течение 2 нед. по 2 порции напитка пациентами с неалкогольным стеатогепатитом на фоне диетотерапии привел к значимому снижению уровня в сыворотке крови холестерина, γ -глутамилтрансферазы, индекса инсулинорезистентности НОМА-IR, тогда как уменьшение перечисленных показателей у пациентов контрольной группы на фоне диетотерапии не достигло уровня статистической значимости [43]. Однако при этом следует обратить внимание, что статистически значимые отличия между показателями пациентов обеих групп, принимавших и не принимавших СПП на фоне диеты, отсутствовали. Таким образом, по исследованным показателям преимуществ дополнительного кратковременного включения в диету СПП, содержащего физиологические дозы функциональных компонентов, по сравнению с использованием диетотерапии не выявлено. Объяснением отсутствия выраженного эффекта СПП может быть, с одной стороны, недостаточное содержание функциональных ингредиентов, а с другой – слишком краткий срок применения напитка, ограниченный сроком пребывания пациентов в клинике.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обсуждая приведенные в обзоре данные по клиническим испытаниям L-карнитина, можно выделить несколько аспектов.

Анализ данных литературы показал, что L-карнитин применяется при ряде заболеваний и состояний, в т. ч. при дислипидемиях, ожирении, СД2, ССЗ, метаболическом синдроме, онкологических заболеваниях и др. Продолжительный прием (чаще всего более 12 нед.) L-карнитина в дозах 1–3 г у пациентов с дислипидемиями, СД2 и ССЗ приводит к улучшению липидного профиля плазмы крови, гликемического контроля, оказывает антиоксидантное и противовоспалительное действие.

Согласно отечественной нормативной базе², адекватный уровень потребления L-карнитина для взрослых составляет 300 мг/сут, верхний допустимый уровень суточного потребления для взрослых в составе специализированных пищевых продуктов (СПП) профилактического и лечебного действия и БАД к пище – 900 мг/сут. Таким образом, судя по данным литературы, дозы L-карнитина, обладающие клиническим эффектом, в 2–3 раза превышают верхний допустимый уровень в составе СПП и составляют от 1 до 3 г. Включение L-карнитина в состав многокомпонентных СПП диетического лечебного питания в количестве, не достигающем доз, проявляющих эффективность при определенной патологии, не позволяет достичь ожидаемого результата.

Вместе с тем верхний безопасный уровень суточного потребления L-карнитина для взрослых составляет 2000 мг (29 мг на 1 кг массы тела) [7, 46], согласно рекомендациям Норвежского научного комитета по безопасности пищевых продуктов – 1 500 мг (или 2 250 мг в виде тартрата) [7]. Испанское агентство по безопасности пищевых продуктов и питанию ограничивает суточный прием добавок L-карнитина или L-карнитина гидрохлорида до 2 000 мг, L-карнитина тартрата – до 3 000 мг³.

Появились данные о том, что повышенный уровень N-оксидтриметиламина ТМАО, образующегося в организме из L-карнитина и холина путем последовательно окисления кишечной микробиотой до триметиламина, а затем в печени до ТМАО, является потенциальным фактором сердечно-сосудистого риска [47]. Прием в течение 6 мес. по 1000 мг L-карнитина в сочетании с 3 г лейцина пожилыми женщинами, два раза в неделю занимающимися физическими упражнениями, привело к увеличению в плазме крови ТМАО [48]. В качестве одной из мер по снижению концентрации ТМАО в плазме крови и профилактики сердечно-сосудистого риска у пациентов с ИБС предлагается даже диета с ограничением продуктов, содержащих L-карнитин и фосфатидилхолин (свинаина, говядина, яйца, молочные продукты, сыр) [47]. В результате двукратного измерения с интервалом в 10 лет

концентрации L-карнитина в плазме крови медсестер было показано, что повышение циркулирующего уровня L-карнитина при одновременном увеличении концентрации ТМАО, обусловленное более высоким потреблением красного мяса (≥36 г/день), было положительно связано с риском ишемической болезни сердца (ИБС) [49]. По другим данным, L-карнитин следует с осторожностью применять пожилым людям, страдающим дисбактериозом с мышечными нарушениями [50].

Таким образом, с одной стороны, имеются доказательства положительного влияния приема высоких доз L-карнитина на показатели ССЗ, с другой стороны, чрезмерно высокое его потребление приводит к повышенной концентрации в кишечнике, превышающей абсорбционную емкость, и усилению образования ТМАО [51]. В некотором противоречии с этим находятся данные о том, что ТМАО содержится в рыбе и морепродуктах, потребление которых обладает профилактическим действием против ССЗ [52].

Учитывая, что L-карнитин участвует во многих метаболических процессах, требуются дальнейшие исследования по установлению его оптимального количества в рационе здоровых лиц, а также минимальной дозы L-карнитина, оказывающей максимальный эффект без побочного действия при различных заболеваниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существуют группы населения (беременные, вегетарианцы), для которых полезным может оказаться прием физиологических доз L-карнитина в диапазоне 100–300 мг/сут. Клинически эффективные дозы L-карнитина у пациентов, а именно 1–2 г/сут в течение 5–12 нед. для повышения его концентрации в плазме крови и улучшения показателей антиоксидантного статуса и 2–3 г у пациентов с дислипидемиями, СД2 и ССЗ для улучшения липидного профиля плазмы крови, гликемического контроля, противовоспалительного действия, существенно превышают разрешенный в настоящее время верхний допустимый уровень в составе БАД и СПП. В связи с этим представляется логичным подразделить СПП диетического питания на 2 подгруппы: профилактические, в которых дозы находятся в диапазоне адекватного потребления, предназначенные в основном для здоровых лиц, и лечебные, в которых содержание L-карнитина повышено до уровня, обеспечивающего клиническую эффективность и безопасность при разных патологиях.

² Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2021. 72 с. Режим доступа: https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/789/1-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf; Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (Глава II. Раздел 1. Требования безопасности и пищевой ценности пищевой продукции), утверждены Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. №299. Режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/txnreg/depsanmer/sanmeri/Pages/P2_299.aspx.

³ Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the Use Conditions for Certain Substances Other Than Vitamins, Minerals and Plants in Food Supplements. Spanish Agency for Food Safety and Nutrition. Available at: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_cc_ingles/FOOD_SUPPLEMENTS.pdf.

Поступила / Received 15.08.2023
Поступила после рецензирования / Revised 20.09.2023
Принята в печать / Accepted 10.12.2023



Список литературы / References

1. Kulczyński B, Sidor A, Gramza-Michałowska A. Characteristics of Selected Antioxidative and Bioactive Compounds in Meat and Animal Origin Products. *Antioxidants*. 2019;8(9):335. <https://doi.org/10.3390/antiox8090335>.
2. Novakova K, Kummer O, Bouitbir J, Stoffel SD, Hoerler-Koerner U, Bodmer M et al. Effect of L-carnitine supplementation on the body carnitine pool, skeletal muscle energy metabolism and physical performance in male vegetarians. *Eur J Nutr*. 2016;55(1):207–217. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0838-9>.
3. Liu T, Liu C, Wang X, Wei Y, Li S, Song Y et al. The Association of Serum L-Carnitine Concentrations with the Risk of Cancer in Chinese Adults with Hypertension. *Nutrients*. 2022;14(23):4999. <https://doi.org/10.3390/nu14234999>.
4. Dayanand CD, Krishnamurthy N, Ashakiran S, Shashidhar KN. Carnitine: A novel health factor – An overview. *Int J Pharm Biomed Res*. 2011;2:79–89. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Kn-Shashidhar/publication/267717490_Carnitine_A_novel_health_factor-An_overview/links/575fe23e08ae414b8e566f7e/Carnitine-A-novel-health-factor-An-overview.pdf.
5. Bene J, Szabo A, Komlósi K, Meleg B. Mass spectrometric analysis of L-carnitine and its esters: potential biomarkers of disturbances in carnitine homeostasis. *Curr Mol Med*. 2020;20(5):336–354. <https://doi.org/10.2174/1566524019666191113120828>.

6. Iliceto M, Stensen MH, Andersen JM, Haugen TB, Witczak O. Levels of L-carnitine in human seminal plasma are associated with sperm fatty acid composition. *Asian J Androl*. 2022;24(5):451–457. <https://doi.org/10.4103/aja2021107>.
7. Bruzell E, Steffensen I-L, Granum B, Hetland R, Husøy T, Rohloff J, Wicklund T. Risk Assessment of "Other Substances"-L-Carnitine and L-Carnitine-L-Tartrate. *Opinion of the Panel on Food Additives, Flavours, Processing Aids, Materials in Contact with Food and Cosmetics of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety*. Oslo: VKM; 2015. 47 p. Available at: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2461127/Bruzell_2015_Ris.pdf.
8. Demarqouy J, Georges B, Rigault C, Royer MC, Clairet A, Soty M, Le Borgne F. Radioisotopic determination of L-carnitine content in foods commonly eaten in Western countries. *Food Chem*. 2004;86(1):137–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.023>.
9. Hefni ME, Bergström M, Lennqvist T, Fagerström C, Witthöft CM. Simultaneous quantification of trimethylamine N-oxide, trimethylamine, choline, betaine, creatinine, and propionyl-, acetyl-, and L-carnitine in clinical and food samples using HILIC-LC-MS. *Anal Bioanal Chem*. 2021;413(21):5349–5360. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03509-y>.
10. Kalpana A, Aruna D. Effects of L-carnitine [Neutraceutical] in weight management among overweight and obese adults of age between 20–45 yrs – A comparative study in Chennai and Tirupathi. *Int J Sci Res Pub*. 2012;2(9):1–5. Available at: <https://www.ijrsp.org/research-paper-0912/ijrsp-p0984.pdf>.
11. Rospond B, Chłopicka J. The biological function of L-carnitine and its content in the particular food examples. *Przegl Lek*. 2013;70(2):85–91. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23879010>.
12. Djekic D, Shi L, Brolin H, Carlsson F, Särnqvist C, Savolainen O et al. Effects of a vegetarian diet on cardiometabolic risk factors, gut microbiota, and plasma metabolome in subjects with ischemic heart disease: a randomized, crossover study. *J Am Heart Assoc*. 2020;9(18):e016518. <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.016518>.
13. Сизова ЖМ, Ших ЕВ, Махова АА. Применение L-карнитина в общей врачебной практике. *Терапевтический архив*. 2019;91(1):114–120. <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>.
14. Sizova ZM, Shikh EV, Makhova AA. Significance of L-carnitine in internal medicine. *Terapevticheskij Arkhiv*. 2019;91(1):114–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>.
15. Sawicka AK, Renzi G, Olek RA. The bright and the dark sides of L-carnitine supplementation: a systematic review. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020;17:49. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00377-2>.
16. Manninen S, Silvennoinen S, Bendel P, Lankinen M, Schwab US, Sankilampi U. Carnitine Intake and Serum Levels Associate Positively with Postnatal Growth and Brain Size at Term in Very Preterm Infants. *Nutrients*. 2022;14(22):4725. <https://doi.org/10.3390/nu14224725>.
17. Borum PR. Carnitine in neonatal nutrition. *J Child Neurol*. 1995;10(Suppl. 2):2525–2531. <https://doi.org/10.1177/0883073895010002504>.
18. Sánchez C, Franco L, Regal P, Lamas A, Cepeda A, Fente C. Breast milk: a source of functional compounds with potential application in nutrition and therapy. *Nutrients*. 2021;13(3):1026. <https://doi.org/10.3390/nu13031026>.
19. Koletzko B, Baker S, Cleghorn G, Neto UF, Gopalan S, Hernell O et al. Global standard for the composition of infant formula: Recommendations of an ESPGHAN coordinated international expert group. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2005;41(5):584–599. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000187817.38836.42>.
20. Bruls YM, de Ligt M, Lindeboom L, Phielix E, Havekes B, Schaart G et al. Carnitine supplementation improves metabolic flexibility and skeletal muscle acetylcarnitine formation in volunteers with impaired glucose tolerance: A randomised controlled trial. *EBioMedicine*. 2019;49:318–330. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.10.017>.
21. Коденцова ВМ, Леоненко СН, Рисник ДВ. Витамины группы В в профилактике заболеваний. *Вопросы диетологии*. 2020;10(2):23–34. <https://doi.org/10.20953/2224-5448-2020-2-23-34>.
22. Kodentsova VM, Leonenko SN, Risnik DV. B-complex vitamins in prevention of diseases. *Nutrition*. 2020;10(2):23–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.20953/2224-5448-2020-2-23-34>.
23. Байда АП, Балан ВЕ, Баранов ИИ, Власова ЕЕ, Воробьев ПА, Волкова СА и др. Резолюция совета экспертов по железодефицитной анемии у женщин. *Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение*. 2020;8(4):28–36. <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-14004>.
24. Baida AP, Balan VE, Baranov II, Vlasova EE, Vorobyov PA, Volkova SA et al. Resolution of the council of experts on iron deficiency anemia in women. *Akusherstvo i Ginekologiya: Novosti, Mneniya, Obucheniye*. 2020;8(4):28–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-14004>.
25. Макарова ЕЛ, Терехина НА. Показатели обмена железа в сыворотке крови беременных при экстрагенитальной патологии. *Уральский медицинский журнал*. 2020;5(5):146–151. <https://doi.org/10.25694/URMJ.2020.05.30>.
26. Makarova EL, Terekhina NA. Indicators of iron exchange in serum of blood of pregnant women with extragenital pathology. *Ural Medical Journal*. 2020;5(5):146–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.25694/URMJ.2020.05.30>.
27. Коденцова ВМ, Рисник ДВ, Ладодо ОБ. Потребление витаминов: вклад отдельных пищевых продуктов и последствия различных диет. *Медицинский оппонент*. 2021;1(1):48–56. Режим доступа: https://proffopponent.ru/wp-content/uploads/2021/05/Ladodo-Maket-1_2021-9.pdf.
28. Kodentsova VM, Risnik DV, Ladodo OB. Vitamin consumption: contributions of separate products and effects of different diets. *Medical Opponent*. 2021;1(1):48–56. (In Russ.) Available at: https://proffopponent.ru/wp-content/uploads/2021/05/Ladodo-Maket-1_2021-9.pdf.
29. Chee C, Shannon CE, Burns A, Selby AL, Wilkinson D, Smith K et al. Increasing skeletal muscle carnitine content in older individuals increases whole-body fat oxidation during moderate-intensity exercise. *Aging Cell*. 2021;20(2):e13303. <https://doi.org/10.1111/ace1.13303>.
30. Durazzo A, Lucarini M, Nazhand A, Souto SB, Silva AM, Severino P et al. The nutraceutical value of carnitine and its use in dietary supplements. *Molecules*. 2020;25(9):2127. <https://doi.org/10.3390/molecules25092127>.
31. Asadi M, Rahimlou M, Shishehbor F, Mansoori A. The effect of L-carnitine supplementation on lipid profile and glycaemic control in adults with cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Clin Nutr*. 2020;39(1):110–122. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.01.020>.
32. Хорошилов И. Карнитин: роль в организме и возможности терапевтического применения при разных заболеваниях. *Врач*. 2017;28(3):2–6. Режим доступа: <https://journals.eco-vector.com/0236-3054/article/view/116742>.
33. Khoroshilov I. Carnitine: a role in the human organism and the possibilities of therapeutic use in various diseases. *Vrach*. 2017;28(3):2–6. (In Russ.) Available at: <https://journals.eco-vector.com/0236-3054/article/view/116742>.
34. Askarpour M, Hadi A, Symonds ME, Miraghajani M, Sadeghi O, Sheikhi A, Ghaedi E. Efficacy of L-carnitine supplementation for management of blood lipids: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2019;29(11):1151–1167. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2019.07.012>.
35. Asbaghi O, Kashkooli S, Amini MR, Shahinfar H, Djafarian K, Clark CC, Shab-Bidar S. The effects of L-carnitine supplementation on lipid concentrations in inpatients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *J Cardiovasc Thorac Res*. 2020;12(4):246–255. <https://doi.org/10.34172/jcvtr.2020.43>.
36. Wang DD, Wang TY, Yang Y, He SM, Wang YM. The Effects of L-Carnitine, Acetyl-L-Carnitine, and Propionyl-L-Carnitine on Body Mass in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *Front Nutr*. 2021;8:748075. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.748075>.
37. Zamani M, Pahlavani N, Nikbaf-Shandiz M, Rasaei N, Ghaffarian-Ensaf R, Asbaghi O et al. The effects of L-carnitine supplementation on glycemic markers in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Front Nutr*. 2022;9:1082097. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1082097>.
38. Choi M, Park S, Lee M. L-carnitine's effect on the biomarkers of metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. 2020;12(9):2795. <https://doi.org/10.3390/nu12092795>.
39. Lee BJ, Lin JS, Lin YC, Lin PT. Effects of L-carnitine supplementation on oxidative stress and antioxidant enzymes activities in patients with coronary artery disease: A randomized, placebo-controlled trial. *Nutr J*. 2014;13:79. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-79>.
40. Talenezhad N, Mohammadi M, Ramezani-Jolfaie N, Mozaffari-Khosravi H, Salehi-Abargouei A. Effects of L-carnitine supplementation on weight loss and body composition: A systematic review and meta-analysis of 37 randomized controlled clinical trials with dose-response analysis. *Clin Nutr ESPEN*. 2020;37:9–23. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.03.008>.
41. Abolfathi M, Mohd-Yusof BN, Hanipah ZN, Redzwan SM, Yusof LM, Khosroshahi MZ. The effects of carnitine supplementation on clinical characteristics of patients with non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Complement Ther Med*. 2020;48:102273. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.102273>.
42. Pirmadah F, Ramezani-Jolfaie N, Mohammadi M, Talenezhad N, Clark CC, Salehi-Abargouei A. Does L-carnitine supplementation affect serum levels of enzymes mainly produced by liver? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Eur J Nutr*. 2020;59(5):1767–1783. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02068-4>.
43. Sangouni AA, Pakravanfar F, Ghadiri-Anar A, Nadjarzade A, Fallahzade H, Hosseinzadeh M. The effect of L-carnitine supplementation on insulin resistance, sex hormone-binding globulin and lipid profile in overweight/obese women with polycystic ovary syndrome: A randomized clinical trial. *Eur J Nutr*. 2022;61(3):1199–1207. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02659-0>.
44. Sangouni AA, Baghban F, Khosravi M, Mozaffari-Khosravi H, Dehghan A, Hosseinzadeh M. Effect of L-carnitine supplementation on lipid accumulation product and cardiovascular indices in women with overweight/obesity who have knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *BMC Rheumatol*. 2022;6(1):53. <https://doi.org/10.1186/s41927-022-00286-8>.
45. Wang DD, Mao YZ, He SM, Yang Y, Chen X. Quantitative efficacy of L-carnitine supplementation on glycemic control in type 2 diabetes mellitus patients. *Expert Rev Clin Pharmacol*. 2021;14(7):919–926. <https://doi.org/10.1080/17512433.2021.1917381>.
46. Yahyapoor F, Sedaghat A, Bagherniya M, Pahlavani N, Khadem-Rezaiyan M, Safarian M et al. The effects of L-carnitine supplementation on inflammatory markers, clinical status, and 28 days mortality in critically ill patients: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Clin Nutr ESPEN*. 2022;49:61–67. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.04.001>.
47. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (EFSA NDA Panel); Turck D, Bresson JL, Burlingame B, Dean T, Fairweather-Tait S, Heinonen M et al. L-carnitine and contribution to normal lipid metabolism: evaluation

- of a health claim pursuant to Article 13(5) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA J.* 2018;16(1):e05137. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5137>.
42. Воробьева ВМ, Воробьева ИС, Морозов СВ, Сасунова АН, Кочеткова АА, Исаков ВА. Специализированные пищевые продукты для диетической коррекции рациона больных с неалкогольным стеатогепатитом. *Вопросы питания.* 2021;90(2):100–109. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-100-109>.
Vorobyeva VM, Vorobyeva IS, Morozov SV, Sasunova AN, Kochetkova AA, Isakov VA. Specialized products for dietary correction of the diet of patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Voprosy Pitaniia.* 2021;90(2):100–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-100-109>.
 43. Сасунова АН, Гончаров АА, Морозов СВ, Исаков ВА. Модификация паттернов питания больных неалкогольным стеатогепатитом. *Терапевтический архив.* 2022;94(8):973–978. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.08.201773>.
Sasunova AN, Goncharov AA, Morozov SV, Isakov VA. Modification of dietary patterns in patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Terapevticheskii Arkhiv.* 2022;94(8):973–978. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.08.201773>.
 44. Коденцова ВМ, Рисник ДВ, Ладодо ОБ. Функциональный ингредиент таурин: адекватные и клинически эффективные дозы. *Медицинский совет.* 2022;16(14):88–95. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-14-88-95>.
Kodentsova VM, Risnik DV, Ladodo OB. Functional ingredient taurine: adequate and clinically effective doses. *Meditsinskiy Sovet.* 2022;16(14):88–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-14-88-95>.
 45. Глазкова ИВ, Саркисян ВА, Сидорова ЮС, Мазо ВК, Кочеткова АА. Основные этапы оценки эффективности специализированных пищевых продуктов. *Пищевая промышленность.* 2017;(12):8–11. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-etapy-otsenki-effektivnosti-spetsializirovannyh-pischevyh-produktov>.
Glazkova IV, Sarkisyan VA, Sidorova YuS, Mazo VK, Kochetkova AA. The main stages of evaluating the effectiveness of specialized food products. *Food Industry.* 2017;(12):8–11. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-etapy-otsenki-effektivnosti-spetsializirovannyh-pischevyh-produktov>.
 46. Hathcock JN, Shao A. Risk assessment for carnitine. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2006;46(1):23–28. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.06.007>.
 47. Ивашкин ВТ, Кашух ЕА. Влияние потребления продуктов, содержащих L-карнитин и фосфатидилхолин, на продукцию проатерогенного метаболита триметиламин-N-оксида и кишечный микробиом у пациентов с ишемической болезнью сердца. *Вопросы питания.* 2019;88(4):25–33. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10038>.
Ivashkin VT, Kashukh YeA. Impact of L-carnitine and phosphatidylcholine containing products on the proatherogenic metabolite TMAO production and gut microbiome changes in patients with coronary artery disease. *Voprosy Pitaniia.* 2019;88(4):25–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10038>.
 48. Bordonì L, Sawicka AK, Szarmach A, Winklewski PJ, Olek RA, Gabbianelli R. A pilot study on the effects of L-Carnitine and Trimethylamine-N-oxide on platelet mitochondrial DNA methylation and CVD biomarkers in aged women. *Int J Mol Sci.* 2020;21(3):1047. <https://doi.org/10.3390/ijms21031047>.
 49. Heianza Y, Ma W, DiDonato JA, Sun Q, Rimm EB, Hu FB et al. Ten-year changes in plasma L-carnitine levels and risk of coronary heart disease. *Eur J Nutr.* 2022;61(3):1353–1362. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02713-x>.
 50. Bin-Jumah MN, Gilani SJ, Hosawi S, Al-Abbasi FA, Zeyadi M, Imam SS et al. Pathobiological relationship of excessive dietary intake of choline/L-carnitine: A TMAO precursor-associated aggravation in heart failure in sarcopenic patients. *Nutrients.* 2021;13(10):3453. <https://doi.org/10.3390/nu13103453>.
 51. Jing L, Zhang H, Xiang Q, Shen L, Guo X, Zhai C, Hu H. Targeting trimethylamine N-oxide: A new therapeutic strategy for alleviating atherosclerosis. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:864600. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.864600>.
 52. Papandreou C, Moré M, Bellamine A. Trimethylamine N-oxide in relation to cardiometabolic health – cause or effect? *Nutrients.* 2020;12(5):1330. <https://doi.org/10.3390/nu12051330>.

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования – В.М. Коденцова

Написание текста – В.М. Коденцова, Д.В. Рисник

Сбор материала – Д.В. Рисник, С.Г. Дарий

Формирование таблиц, оформление списка литературы – Д.В. Рисник

Редактирование – В.М. Коденцова, Е.В. Крюкова

Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – В.М. Коденцова, Д.В. Рисник, С.Г. Дарий, Е.В. Крюкова

Contribution of authors:

The concept and design of the study – Vera M. Kodentsova

Text development – Vera M. Kodentsova, Dmitry V. Risnik

Collection of material – Dmitry V. Risnik, Sergey G. Daryi

The formation of tables, the design of the list of references – Dmitry V. Risnik

Editing – Vera M. Kodentsova, Elizaveta V. Kryukova

Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – Vera M. Kodentsova, Dmitry V. Risnik, Sergey G. Daryi, Elizaveta V. Kryukova

Информация об авторах:

Коденцова Вера Митрофановна, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи; 109240, Россия, Москва, Устьинский проезд, д. 2/14; <https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>; kodentsova@ion.ru

Рисник Дмитрий Владимирович, к.б.н., ведущий научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; <https://orcid.org/0000-0002-3389-8115>; biant3@mail.ru

Крюкова Elizaveta Вячеславовна, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Пищевая безопасность», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; <https://orcid.org/0000-0001-6858-3618>; kryukovaev@mgupp.ru

Дарий Сергей Геннадьевич, аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; <https://orcid.org/0000-0003-2708-2109>; s_daryi@mail.ru

Information about the authors:

Vera M. Kodentsova, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Vitamins and Minerals, Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety; 2/14, Ustyinsky Proezd, Moscow, 109240, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>; kodentsova@ion.ru

Dmitry V. Risnik, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Department of Biophysics, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; 1, Bldg. 12, Lenin Hills, Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3389-8115>; biant3@mail.ru

Elizaveta V. Kryukova, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Food Safety of the Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH); 11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-6858-3618>; kryukovaev@mgupp.ru

Sergey G. Daryi, Postgraduate Student of the Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH); 11, Volokolamsk Shosse, Moscow, 125080, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-2708-2109>; s_daryi@mail.ru