

УДК: 616.092.19
DOI: 10.37489/2949-1924-0040
EDN: NULQPVОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ
LITERATURE REVIEW

Стрессовая реакция при физических нагрузках, ось кишка-мозг, кишечная микробиота у спортсменов: обзор литературы (часть II)

Маргазин В. А. ¹, Гансбургский М. А. ², Коромыслов А. В. ¹, Костров С. А. ²

¹ - ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского» Министерства просвещения Российской Федерации, Ярославль, Российская Федерация

² - ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ярославль, Российская Федерация

Аннотация

Взаимосвязь между физической выносливостью и составом микробиоты вызывает всё больший интерес, поскольку новые данные указывают на значимость кишечной флоры в качестве одного из основных факторов, определяющих здоровье спортсменов. Полный объём изменений, которые происходят в микробиоте при физической нагрузке, ещё не изучен. Чтобы повысить работоспособность и снизить стресс, вызванный физическими упражнениями, тренировочные программы в сочетании с индивидуализированными диетами, направлены на балансировку системных стрессоров. Питательные вещества, особенно в условиях стресса, оказывают существенное и комплексное влияние на энергетический обмен, синтез белка, функционирование эндокринной, нервной и иммунной систем. Степень регулирования реакции на стресс питательными веществами зависит от продолжительности действия стрессора, интенсивности и типа нагрузок, физиологического статуса атлета, а также состава и функции микробиоты. Стандартные диетические планы сложно определить из-за индивидуальной сложности реакции на стресс у спортсменов, варьирующейся от проблем с пищеварением до катаболических состояний и депрессии. Традиционно спортсменам рекомендуется потреблять большое количество простых углеводов и белков, но ограничить потребление жиров и клетчатки, чтобы обеспечить быстрый источник энергии и избежать проблем с пищеварением, связанных с высоким содержанием клетчатки. Рацион спортсменов строится на использовании продуктов, содержащих питательные микроэлементы, такие как железо, кальций, аминокислоты, незаменимые жирные кислоты и антиоксиданты, однако влияние этих компонентов на состав кишечной микробиоты изучено недостаточно. Управляемая регуляция микробиоты посредством диеты может улучшить работоспособность во время тренировок и соревнований, а также снизить стрессовую реакцию и помочь более эффективному восстановлению ресурсов организма.

Ключевые слова: спортсмен; физические нагрузки; стресс; микробиота; диетические рекомендации; физическая и реабилитационная медицина

Для цитирования: Маргазин В. А., Гансбургский М. А., Коромыслов А. В., Костров С. А. Стрессовая реакция при физических нагрузках, ось кишка-мозг, кишечная микробиота у спортсменов: обзор литературы (часть II). *Пациентоориентированная медицина и фармация*. 2024;2(1):35–45. <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0040>. EDN: NULQPV.

Поступила: 29.02.2024. В доработанном виде: 15.03.2024. Принята к печати: 20.03.2024. Опубликовано: 30.03.2024.

Stress response during exercise, gut-brain axis, gut microbiota in athletes: literature review (part II)

Vladimir A. Margazin ¹, Mikhail A. Gansburgskiy ², Alexander V. Koromyslov ¹, Sergey A. Kostrov. ²

¹ - Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russian Federation

² - Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

Abstract

The relationship between physical endurance performance and microbiota composition is of increasing interest as new evidence points to the importance of intestinal flora as a major determinant of athlete health. The full extent of changes that occur in the microbiota during exercise has not yet been studied. To enhance performance and reduce exercise-induced stress, training programs, combined with individualized diets, aim to balance systemic stressors. Nutrients, especially under conditions of stress, have significant and complete effects on energy metabolism, protein synthesis, and the functioning of the endo-



crine, nervous, and immune systems. The degree to which nutrients regulate the stress response depends on the duration of the stressor, intensity and type of exertion, the physiologic status of the athlete, and the composition and function of the microbiota. Standard dietary plans are difficult to define because of the individual complexity of the stress response in athletes, ranging from digestive problems to catabolic states and depression. Traditionally, athletes are advised to consume high amounts of simple carbohydrates and proteins and limit fat and fiber intake to provide a quick source of energy and avoid digestive problems associated with high fiber intake. Athletes' diets are based on the use of foods containing micronutrients such as iron, calcium, amino acids, essential fatty acids, and antioxidants, but the effects of these components on the composition of the intestinal microbiota are poorly understood. Controlled regulation of the microbiota through diet may improve performance during training and competition, reduce stress response, and aid in more efficient recovery of body resources.

Keywords: athlete; physical activity; stress; microbiota; dietary recommendations; physical and rehabilitation medicine

For citation: Margazin VA, Gansburgskiy MA, Koromyslov AV, Kostrov SA. Stress response during exercise, gut-brain axis, and gut microbiota in athletes: literature review (part II). *Patient-oriented medicine and pharmacy*. 2024;2(1):35–45. <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0040>. EDN: NULQPV.

Received: 29.02.2024. **Revision received:** 15.03.2024. **Accepted:** 20.03.2024. **Published:** 30.03.2024.

Введение / Introduction

Данная статья является продолжением ранее опубликованной работы: Маргазин В. А., Гансбургский М. А., Коромыслов А. В. Стрессовая реакция при физических нагрузках, ось кишка-мозг, кишечная микробиота у спортсменов: обзор литературы. *Пациентоориентированная медицина и фармация*. 2023; 1(2):36–44. <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0012>.

This article is a continuation of previously published work: Margazin V. A., Gansburgskiy M. A., Koromyslov A. V. Stress response during exercise, gut-brain axis, and gut microbiota in athletes: a review of the literature. *Patient-Oriented Medicine and Pharmacy*. 2023;1(2):36–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0012>.

Диетические рекомендации по снижению стрессового поведения и симптомов, вызванных физической нагрузкой, и улучшению состава и функций кишечной микробиоты у спортсменов / Dietary recommendations to reduce exercise-induced stress behaviour and symptoms, and improve gut microbiota composition and function in athletes

В последние годы отмечается рост интереса к изучению взаимосвязи между физической работоспособностью спортсменов и микробиотой. Новые данные подчёркивают важность микробиоты кишечника как основного фактора, определяющего состояние здоровья спортсменов [1]. У каждого человека микробиота уникальна и зависит от множества факторов, включая генетику, окружающую среду, образ жизни и питание. Однако изменения микробиоты при физической нагрузке до конца не исследованы [2]. Оптимальные программы тренировок стремятся сбалансировать системные стрессоры, которым подвергаются элитные спортсмены с индивидуальными диетическими планами для повышения работоспособности и уменьшения

симптомов стресса, вызванных физической нагрузкой [3–5].

В условиях стресса доступность питательных веществ влияет на энергетический обмен, синтез белка, эндокринную, нервную и иммунную системы [6]. Уровень физической активности может влиять на состав микробиоты, так как упражнения способствуют изменениям в кишечнике, включая увеличение кровотока и микробной активности. Гормональные изменения стимулируют метаболизм, деятельность сердечно-сосудистой системы и реактивность иммунной системы, оказывают влияние на поддержание гомеостаза соли и воды, объём жидкости, мобилизацию субстратов для синтеза источников энергии. Влияние определённого питательного вещества на реакцию, вызванную стрессом, зависит от характера и длительности воздействия, состояния питания спортсмена, интенсивности и типа физической нагрузки, а также состава и функции кишечной микробиоты [7]. Эпигенетический профиль и генетический фон человека являются другими факторами, затрудняющими оценку влияния питания на микробиоту [7]. Из-за высокой индивидуальной варибельности реакции на стресс у профессиональных спортсменов, от кишечных расстройств до катаболизма и депрессии, определение универсальных диетических планов затруднено. Общими рекомендациями является потребление большего количества простых углеводов и белков и ограничение потребления жиров и клетчатки, чтобы обеспечить организм источниками энергии и избежать проблем с пищеварением, вызванных высоким содержанием клетчатки. Диетические планы профессиональных спортсменов, как правило, учитывают наличие определённых питательных микроэлементов, таких как кальций, железо, аминокислоты, незаменимые жирные кислоты и антиоксиданты, но редко учитывают влияние этих компонентов на состав кишечной микробиоты [1, 8].

Режим питания и диета играют значительную роль в модуляции состава и функций микробиоты,



что имеет важное значение для здоровья и производительности спортсменов. Эти изменения в микробиоте могут управляться с помощью диетотерапии, что будет способствовать снижению стрессовой реакции организма и улучшению работоспособности во время тренировок и соревнований. Кроме того, оптимизация микробиоты через правильное питание может способствовать более быстрому восстановлению организма спортсмена после физических нагрузок [4]. Каждый диетический план сопровождается изменением микробиоты [3]. Кратковременные диеты, основанные на продуктах животного или растительного происхождения, могут значительно изменить сообщество микробиоты.

Необходимо понимать, что микробиом человека является весьма лабильным и изменчивым на протяжении всей жизни. Формируется микрофлора при рождении в основном из бактерий, полученных от матери во время родов, и претерпевает множественные изменения в процессе роста и взросления под влиянием внутренних и внешних факторов: окружающей среды, физической активности и прочих [1, 9].

Углеводы / Carbohydrates

Оптимальное использование углеводов безусловно является ключевым условием для достижения высокой физической активности и получения хороших спортивных результатов [10]. Для спортсменов, тренирующихся более 2 часов в день, потребление углеводов в рационе может варьироваться от 7 до 12 г на килограмм массы тела в сутки, в то время как потребление жиров обычно составляет менее 1 г на килограмм массы тела (менее 20% от общего количества потребляемых калорий). Высокоуглеводная пища (более 8,5 г на килограмм массы тела в день; 65% от общего потребления энергии), а также употребление углеводов непосредственно во время интенсивных физических нагрузок *ad libitum* (по желанию) снижают утомляемость, улучшают настроения и физическую работоспособность [11].

Однако, рацион с высоким содержанием углеводов не оказывает положительного влияния на иммунную функцию. Во время продолжительных и интенсивных физических нагрузок углеводы оказывают воздействие на уровень кортизола, что выражается в ограничении иммуносупрессии [10].

Важная роль углеводов заключается в восстановлении запасов гликогена в мышцах и печени [10]. Углеводы, потребляемые в пищу, превращаются в глюкозу, которая затем используется для восполнения запасов гликогена, активно используемого при физических нагрузках.

Комбинация глюкозы и фруктозы приводит к более высоким скоростям их окисления, чем при употреблении только одного углевода. Это является

более полезной практикой, помогая предотвратить истощение эндогенной энергии во время нагрузок, способствуя также её более быстрому восстановлению после тренировок [12].

Диета с высоким содержанием простых и рафинированных углеводов, содержащих при этом недостаточное количество пищевых волокон, негативно сказывается на здоровье кишечника, ухудшая микрофлору и снижая уровень полезных и необходимых короткоцепочечных жирных кислот (КЖК).

Для более глубокого понимания способности микрофлоры кишечника усваивать питательные вещества, а также для изучения метаболических изменений, таких как увеличение накопления триглицеридов в печени и окисление жирных кислот в мышцах во время физических нагрузок, требуются дополнительные исследования [8].

Белок и незаменимые аминокислоты / Protein and essential amino acids

У спортсменов суточная потребность в протеине значительно выше, чем у людей, ведущих малоактивный образ жизни [10]. Профессиональным спортсменам, чтобы сохранить аминокислоты для синтеза белка и предотвратить их окисление, а также удовлетворить энергетические потребности при нагрузках, рекомендуется потребление протеина в количестве от 1,2 до 1,6 г на килограмм массы тела в день [13]. Недостаток поступления белка в организм ослабляет иммунитет, особенно систему Т-клеток, и увеличивает риск развития инфекционных заболеваний [10]. Длительные физические нагрузки приводят к снижению уровня глутамина в крови, подавлению системного иммунитета, повышению восприимчивости к инфекциям и развитию синдрома "leaky gut" (повреждение кишечной стенки) у спортсменов [9]. Усталость, стресс и ограниченное разнообразие питания при умеренном потреблении протеина и жиров (1,6 г протеина на килограмм веса и 15,4% калорий из жиров) выражены сильнее по сравнению с рационом с высоким содержанием протеина и жиров (2,8 г протеина на килограмм массы тела и 36,5% калорий из жиров) [14].

У спортсменов, применяющих диеты с высоким содержанием протеина и низким содержанием углеводов за несколько дней до тренировок, некоторое время наблюдается снижение концентрации глутамина в крови после физической нагрузки [15]. Спортсмены, занимающиеся видами спорта с поднятием тяжестей и придерживающиеся такой диеты, показывают снижение количества комменсальных бактерий, которые производят короткоцепочечные жирные кислоты [16].

Добавки с глутамином не получили поддержки в ходе контролируемых научных исследований у здоровых спортсменов с хорошим питанием.



Доказанные рекомендации относительно глутамина отсутствуют, но по наблюдениям острая доза примерно 20–30 г, вероятно, не оказывает негативного воздействия на взрослых. С другой стороны, острая доза глутамина, принятая за 2 часа до интенсивных физических нагрузок, стабилизирует проницаемость кишечника, вызванную стрессом, снижает уровень эндотоксинов в крови, может иметь противовоспалительные эффекты и является обычной добавкой для восстановления функции кишечника [17]. Приём добавок глутамина до и после тренировки в достаточном количестве не влияют на уровень секреторного иммуноглобулина А в слюне и функцию лимфоцитов [15]. Таким образом, приём глутамина должен зависеть от симптомов (низкий уровень глутамина в крови, повышенная проницаемость кишечника) [8].

Достоверные рекомендации относительно добавок аминокислот с разветвлённой цепью (АРЦ) пока отсутствуют. В наблюдениях предполагается, что увеличивается синтез мышечного белка, улучшая выполнение физических нагрузок. Исследования показали, что синтез мышечного белка выше на 33% после употребления незаменимых аминокислот, обогащённых лейцином, чем после приёма аминокислот без добавок [18]. Включение лейцина также приводит к существенному увеличению его концентрации в крови, что, в свою очередь, способствует повышению выносливости и силы верхней части тела [19]. Биологически активные вещества АРЦ применяются с целью минимизации проявления утомления в ходе физической активности путём модификации процессов синтеза нейротрансмиттеров в мозге, таких как дофамин и норадреналин, серотонин или 5-гидрокситриптамин (5-НТ) [20]. В то время как имеются данные, что АРЦ конкурируют с несвязанным триптофаном за возможность проникновения через гематоэнцефалический барьер, есть слабо подтверждённые данные о том, что повышение уровня 5-НТ в мозге коррелирует с ростом свободных пулов триптофана в крови. Таким образом, не представляется возможным сформулировать чёткие рекомендации по виду и объёму АРЦ, которые могут быть полезны для спортсменов [8].

В соответствии с концепцией центрального истощения, нейромедиаторный дисбаланс, характеризующийся повышением уровня серотонина и дефицитом дофамина, является причиной утомления. В связи с этим, атлеты часто прибегают к использованию диетических добавок, обогащённых тирозином, чтобы снизить физическое истощение, несмотря на отсутствие установленных стандартов дозирования [8].

4-гидроксифенилаланин (тирозин), который биосинтезируется из фенилаланина, встречается в продуктах с высоким содержанием протеина, включая

соевые продукты, молочные изделия, рыбу, птицу, авокадо, арахис, миндаль и семена кунжута [21]. Добавление тирозина в количестве 150 мг на килограмм массы тела снижает нежелательные эффекты разнообразных видов острого стресса [22]. Однако потребление тирозина не оказывает влияния на временной интервал до наступления физического истощения или на определённые аспекты когнитивной функциональности при выполнении физических нагрузок в условиях повышенных температур [23]. Учитывая неоднозначность данных исследований, определить точные рекомендации по аминокислотным комплексам для уменьшения симптоматики центрального истощения затруднительно [8].

Аминокислоты глутамин, аргинин и цитруллин рекомендуются при усиленной проницаемости кишечного барьера, что представляет собой одну из ключевых проблем у спортсменов [24].

В контексте потребности спортсменов в значительном количестве белка следует определить возможное воздействие таких диет на состав микробиоты кишечника. Ферментация аминокислот в толстом кишечнике может приводить к формированию токсических метаболитов (сероводород, амины, фенол) и мочевины, что обычно сопровождается увеличением pH фекалий [25]. Интенсивные физические нагрузки и хронический стресс от тренировок, вследствие катаболизма белков вызывают повышение уровня мочевины в плазме [26]. Большая часть мочевины, произведённой организмом, подвергается гидролизу в просвете толстой кишки до NH_3 (аммиак) посредством активности бактериальной уреазы [27]. Микроорганизмы используют аммиак для биосинтеза белка и собственных метаболических процессов [27]. Аммиак, так же абсорбируется клетками колона и экскретируется с мочой [25].

Таким образом, отмечаемый у спортсменов повышенный уровень мочевины, может модифицировать микробный ландшафт кишечника за счёт предоставления дополнительного азота для метаболизма, роста и размножения бактерий. К тому же, бактерии рода *Bacteroides* способны ферментировать определённые аминокислоты и белки, образуя при этом потенциально токсичные вещества (летучие серные соединения, сульфиды, аммиак, фенолы и индолы, и органические кислоты [28]. Фенольные соединения, некоторые амины, сероводород, Р-крезол участвуют в патогенезе синдрома раздражённого кишечника, увеличении кишечной проницаемости, воспалительных процессах, колоректальном раке и повреждении ДНК [29].

Следует подчеркнуть, что, несмотря на способность бактерий к ферментации аминокислот, существует дифференцированный подход к метаболизму белков животного и растительного происхождения



[30]. Каждый диетический режим определяет сопутствующую модификацию в биологических процессах и структуре микробиома. Таким образом, микробный состав у веганов, вегетарианцев, всеядных и употребляющих большое количество красного мяса, имеет значительные различия [30]. В ходе исследовательских экспериментов было выявлено, что диеты с повышенным содержанием красного мяса увеличивают вероятность развития патологии сердечно-сосудистой системы, включая атеросклероз, за счёт микробиотической генерации триметиламина-N-оксида.

В ходе наблюдений у лабораторных животных диетический казеин приводит к двукратному увеличению уровня повреждённых ДНК в толстом кишечнике и к 41% снижению толщины слизистого слоя. Употребление приготовленного мяса, также сопровождается уменьшением толщины слизистого слоя, но к тому же чаще на 26% вызывает повреждения ДНК [31]. Резистентный крахмал, добавленный в белковые диеты, нейтрализует неблагоприятные последствия высокого потребления белка, что доказательно подтверждает значимость для здоровья кишечника присутствия достаточного количества клетчатки.

При низкобелковых рационах (менее 14% от общего количества) в слепой кишке обнаруживаются минимальные концентрации изучаемых аминокислот в сравнении с высокобелковыми (более 20% от общего количества) [32]. Белки растительного происхождения представляются более благоприятными за счёт снижения активности фермента β -глюкуронидазы в толстом кишечнике, который является биомаркером риска онкогенеза [32].

Данные о соотношении Bacteroides и Firmicutes у лиц, придерживающихся разных рационов питания противоречивы [33], можно предположить, что употребление продуктов, богатых клетчаткой и/или резистентным крахмалом в сочетании с животными белками, снижает негативные последствия потенциально опасных побочных продуктов аминокислотной ферментации кишечной микробиотой [8].

Жиры и полиненасыщенные жирные кислоты / Fats and polyunsaturated fatty acids

У спортсменов обычно отмечается низкое потребление жиров, составляющее от 15 до 30% пищевой массы [34]. Во время длительных физических нагрузок увеличение потребления жиров (30–50% в рационе) может способствовать сохранению гликогена, повышению выносливости и общего уровня здоровья [35]. Исследования показывают, что употребление пищи с высоким содержанием липидов может снизить транслокацию бактерий, вызвать воспаление и повреждение кишечной стенки с повышением проницаемости, что влечёт за

собой нарушения пищеварения [36]. Такая диета может вызвать нарушения когнитивной функции, увеличение тревожности, изменения поведения и нейровоспалительные процессы, а также вызвать экспрессию лимфоцитов [37].

Диеты, богатые жирами (более 60% в рационе) могут оказывать негативное влияние на иммунную систему по сравнению с высокоуглеводными (65% в рационе) [38]. Исследования показали, что активность НК-клеток (естественных киллеров) в ответ на физическую нагрузку увеличивается с 16 до 27% при использовании диеты с высоким содержанием углеводов, и уменьшается с 26 до 20% при употреблении большого количества жиров [38]. НК-клетки играют важную роль в иммунной защите, распознавая трансформированные клетки независимо от антител или главного комплекса гистосовместимости [39]. Способность НК-клеток уничтожать опухолевые клетки у спортсменов, использующих жирные диеты, оказывается ниже [38]. Однако, на данный момент недостаточно информации о механизмах влияния физических нагрузок на функции НК-клеток. Исследования показали, что в опухолях тренированных экспериментальных животных существенно выше инфльтрация НК-клеток.

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) омега-6 влияют на проницаемость клеточных мембран, снижают пролиферацию лимфоцитов и уменьшают выработку интерлейкина-2 (IL-2), что может вызвать нежелательную иммунную реакцию при повышенных физических нагрузках [8]. При соотношении эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот 2:1 рекомендуемое количество ПНЖК омега-3 составляет приблизительно 1–2 г/сут. Это способствует снижению выработки цитокинов, воспалительных эйкозаноидов, и активных форм кислорода при физических нагрузках [40]. Из-за недостаточной изученности и противоречивости результатов дать доказательные рекомендации относительно количества и продолжительности приёма омега-3 для спортсменов затруднительно [8].

Воздействие рациона с повышенным содержанием жиров на организм при высоких физических нагрузках неоднозначно, и в проводимых исследованиях недостаточно информации о спортсменах, испытывающих стресс [41]. В целом отмечается, что применение таких диет сопровождается повышением уровня эндотоксина, повышением проницаемости кишечника, а также хроническим системным воспалением. Это сказывается на изменении состава микробиоты кишечника в виде снижения общей плотности бактерий с увеличением процента Bacteroidales и Clostridiales [42]. Изменения микрофлоры кишечника при употреблении высокого содержания жиров имеют негативные последствия [42].

Витамины и антиоксиданты / Vitamins and antioxidants

Практика назначения дополнительного приёма витаминов и антиоксидантов у спортсменов не является распространённой [8]. Однако, с целью снижения образования активных форм кислорода и окисления липидов, имеется рекомендация рассмотреть возможность увеличения потребления антиоксидантов, таких как витамины С, Е, β-каротин и полифенолы [43]. Добавление в качестве альтернативы медицинским препаратам полифенолов из зелёного чая и экстрактов черники не приводит к снятию воспаления и окислительного стресса. Однако, это способствует увеличению образования метаболитов полифенолов кишечными бактериями (4-гидроксигипуриновый, 4-метилкатехолсульфат, гиппурат) и кетогенезу в процессе восстановления после интенсивных физических нагрузок у бегунов [44]. Применение спортсменами рационов, обогащённых экстрактами полифенолов, не снижает физиологический стресс, вызванный интенсивной физической нагрузкой. Клинически значимого ускорения восстановительных процессов при этом не отмечается [44]. Включение высоких доз простых антиоксидантных смесей и моноприменение микроэлементов не рекомендуется [17]. Большинство витаминов функционируют в качестве кофакторов. После насыщения этих ферментных систем оставшиеся свободные формы витаминов оказывают токсическое воздействие, поэтому высокие дозы отдельных витаминов у спортсменов способны принести больше вреда, чем пользы. Спортсменам следует рекомендовать простые смеси антиоксидантных соединений при комплексном увеличении в рационе овощей и фруктов [17].

Клетчатка / Cellulose

Согласно рекомендациям, оптимальное потребление клетчатки составляет 14 г на 1000 ккал питательной ценности. Исследования показывают, что группы населения, употребляющие большое количество клетчатки, имеют меньшую массу тела и пониженный риск развития хронических заболеваний (сердечно-сосудистые, сахарный диабет типа II и определённые виды рака) [45].

Низкий уровень потребления клетчатки ассоциируется с ограниченным разнообразием микробиоты, снижением активности антипатогенных бактерий и недостаточным синтезом короткоцепочечных жирных кислот [46]. Это может иметь долгосрочные негативные последствия для организма человека [16]. Ацетат, пропионат и N-бутират являются медиаторами воспалительного ответа в толстой кишке [47], стимулируют симпатическую нервную систему [48] и вызывают высвобождение серотонина в слизистой оболочке желудочно-кишечного тракта [49].

Спортсменам не рекомендуется потребление клетчатки и резистентного крахмала с целью облегчения опорожнения желудка и предотвращения желудочно-кишечных расстройств во время интенсивных физических нагрузок или соревнований [16, 50]. Однако, такая диета может привести к уменьшению разнообразия микробиоты и нарушению её состава. Обеспечить достаточное потребление клетчатки возможно за счёт включения в рацион большего количества растительных продуктов, таких как овощи, фрукты, цельнозерновые продукты, бобовые и орехи. Необходимо снижать употребление обработанных продуктов с высоким содержанием сахара, рафинированных углеводов и жиров во время подготовки к соревнованиям и на отдыхе [8]. Поддержание достаточного уровня потребления сложных углеводов необходимо для их ферментации в кишечном микробиоме [29].

Пробиотики / Probiotics

В ходе большого количества клинических исследований доказано, что регулярное употребление пробиотиков благоприятно влияет на структуру и популяцию кишечной микробиоты, а также оказывает воздействие на функциональную активность и защитные свойства кишечного эпителия, пролиферацию и иммунную функцию у обследованных лиц [4, 51]. Потребление пробиотиков (включая ферментированные пищевые продукты, содержащие фруктаны и олигосахариды) приводит к специфическим изменениям в работе кишечного тракта за счёт модификации микробиоты. Пробиотики могут смягчать симптомы, вызванные стрессом: проблемы с пищеварением, воспаление, депрессия, нарушение настроения и другие [52].

Дозировка и штаммы пробиотиков варьируют, поэтому для спортсменов нет чётких диетических рекомендаций [8]. Например, штамм *Lactobacillus rhamnosus* CNCM1-4317 способен регулировать реакцию иммунной системы, морфогенез и гомеостаз лимфоидной ткани, состав популяции энтероцитов, а также метаболизм липидов [52].

Для понимания того, как пробиотики могут смягчать проявления депрессии необходимы дополнительные исследования [8]. Данных о влиянии пробиотиков на поведение атлетов и состояние оси кишка-мозг недостаточно. Применение в течение 8 недель *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium bifidum* у пациентов, испытывающих депрессию, имело положительное воздействие на общее эмоциональное состояние, а также концентрацию инсулина и глутатиона [53]. *Bifidobacterium longum* R0175, принимаемый на протяжении месяца, снижает тревожность, стресс и депрессию [54].



Наилучшие результаты получены в результате применения штаммов *Bifidobacterium*, которые распространены в микробиоте кишечного тракта многих видов млекопитающих, включая человека. Применение синергетической комбинации пробиотических штаммов *Lactobacillus helveticus* и *Bifidobacterium longum* в экспериментальных исследованиях демонстрирует значительное снижение проявлений тревожности. Предположительно, это обусловлено способностью данных пробиотических бактерий модулировать концентрацию гипофосфорной кислоты и регулировать функциональную активность автономной нервной системы [54]. Применение *Lactobacillus farciminis* в сочетании с *Lactobacillus helveticus* NS8 способствует нормализации плазменных уровней адренкортикотропного гормона и кортикостерона, повышения уровня которых является ответной реакцией на стрессовые воздействия [55, 56]. Также восстанавливается концентрация норэпинефрина и серотонина в гиппокампе, содействуя тем самым снижению нейровоспалительных процессов. Для полного понимания механизмов, через которые кишечные микроорганизмы осуществляют взаимодействие с центральной нервной системой, влияя на эмоциональное состояние, уровень утомляемости, депрессивные расстройства и общее физиологическое состояние спортсменов, требуется проведение детальных мультидисциплинарных исследований.

Для оптимизации функционального взаимодействия между энтеральной микрофлорой и центральной нервной системой у профессиональных спортсменов может оказаться необходимым внедрение комплексной пробиотической терапии, направленной на инокуляцию специфических филогенетических групп микроорганизмов. Учитывая, что микробиота кишечника оказывает многогранное влияние на различные физиологические процессы хозяина, очень важно разрабатывать и адаптировать нутриционные стратегии, которые могут служить в качестве адьювантной или монотерапии для модуляции микробного состава в пользу улучшения физического состояния и психоэмоционального благополучия спортсменов [51, 57]. Необходимость дальнейших исследований в области диетологии и микробиологии становится очевидной для глубокого понимания взаимосвязей между питанием спортсменов и функциональной активностью их микробиоты, что имеет ключевое значение для оценки влияния этих факторов на спортивные достижения и стресс-ассоциированные состояния [6, 51, 58]. Модификация диетических режимов с целью позитивного модулирования микробиоты через установленные межсистемные коммуникативные оси, такие как гастроэнцефальная ось, может стать решающим фактором в улучшении спортивных показателей.

Заключение / Conclusion

Физические нагрузки, характерные для интенсивных спортивных тренировок, могут вызывать стрессовые реакции, которые в свою очередь влияют на уровень катаболических гормонов, профиль цитокинов и состав кишечной микробиоты. Эти изменения могут привести к расстройствам пищеварительной системы, психоэмоциональным нарушениям, таким как тревожность и депрессия, и, как следствие, к снижению спортивных результатов. Для минимизации риска возникновения дисфункций ЖКТ у профессиональных спортсменов рекомендуется тщательный индивидуальный подбор диеты, исключающий высокое содержание жиров и клетчатки, что способствует ускоренному гастральному опорожнению, эффективному усвоению воды и нутриентов, а также оптимизации кровоснабжения надпочечников, особенно в преддверии соревновательной активности. Однако, дефицит сложных углеводов в долгосрочной перспективе может негативно сказаться на функциональности кишечной микрофлоры и её биоразнообразии. Это важно учитывать, поскольку микробиота и сама кишечная система играют ключевую роль в поддержании гомеостаза организма спортсмена, обеспечивая транспортировку питательных веществ, воды и гормонов во время физической активности. Необходимо увеличить потребление сложных растительных полисахаридов для поддержания здоровья и функциональности кишечной микробиоты. Следует осознавать вредное воздействие повышенного потребления животного белка, которое может способствовать образованию токсичных метаболитов, таких как летучие серосодержащие соединения и амины, особенно в периоды отдыха и восстановления. Поэтому рекомендуется сокращение потребления таких продуктов в эти периоды. Включение в рацион пробиотиков и/или пребиотиков, улучшающих рост и активность полезных микроорганизмов, таких как *Bifidobacteria* и *Lactobacillus*, и продуцирующих полезные метаболиты, в частности короткоцепочечные жирные кислоты, может оказать благоприятное влияние на метаболические, иммунные и защитные функции организма спортсмена. Необходимо разработать научно обоснованные диетические подходы, направленные на контроль и модуляцию ферментативной активности кишечной микробиоты. Это позволит активизировать её метаболизм во время тренировок, ограничить развитие патогенной микрофлоры, производящей токсичные метаболиты, усугубляющие стрессовые реакции, а также способствовать сокращению времени восстановления после интенсивных нагрузок и соревнований, достигая высоких спортивных результатов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией. Маргазин В. А. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Гансбургский М. А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, ответственность за целостность всех частей статьи, написание текста; Коромыслов А. В. — сбор и обработка материала; Костров С. А. — обработка материала.

Финансирование

Работа выполнялась без спонсорской поддержки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Маргазин Владимир Алексеевич — д. м. н., заслуженный врач РФ, проф. кафедры медико-биологических основ спорта ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского», Ярославль, Российская Федерация

e-mail: margazin@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9771-6325>

РИНЦ SPIN-код: 3443–3274

Гансбургский Михаил Андреевич — к. м. н., доцент кафедры физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ярославль, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку

e-mail: magan76@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3181-9997>

РИНЦ SPIN-код: 6708–3270

Коромыслов Александр Владимирович — к. м. н., доцент кафедры медико-биологических основ спорта ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского», Ярославль, Российская Федерация

e-mail: korsacf1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4096-7075>

РИНЦ SPIN-код: 5582–3118

Костров Сергей Александрович — ассистент кафедры медицинской кибернетики ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ярославль, Российская Федерация

e-mail: kosea@ysmu.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2936-7570>

РИНЦ SPIN-код: 9186–8847

ADDITIONAL INFORMATION

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Authors' participation

All authors made a significant contribution to the preparation of the work, read and approved the final version of the article before publication. Margazin VA — study concept and design, editing; Gansburgskiy MA — study concept and design, collection and processing of material, writing the text, Koromyslov AV — collection and processing of material, Kostrov SA — processing of the material.

Financing

The work was carried out without sponsorship.

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Margazin — M. D., D. Sc. (Medicine), Honored Doctor of the Russian Federation, Professor of the department of Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russian Federation

e-mail: margazin@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9771-6325>

RSCI SPIN-code: 3443–3274

Mikhail A. Gansburgskiy — M. D., Ph. D. (Medicine), Associate Professor of the department of Physical Education and Sports of the Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

Corresponding author

e-mail: magan76@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3181-9997>

RSCI SPIN-code: 6708–3270

Alexander V. Koromyslov — M. D., Ph. D. (Medicine), associate Professor of the Department of Medical and Biological Sport Fundamentals of Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russian Federation

e-mail: korsacf1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4096-7075>

RSCI SPIN-code: 5582–3118

Sergey A. Kostrov — Assistant of the Department of Medical Cybernetics of the Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

e-mail: kosea@ysmu.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2936-7570>

RSCI SPIN-code: 9186–8847



Список литературы / References

1. Fontana F, Longhi G, Tarracchini C, Mancabelli L, Lugli GA, Alessandri G, Turrone F, Milani C, Ventura M. The human gut microbiome of athletes: metagenomic and metabolic insights. *Microbiome*. 2023 Feb 14;11(1):27. doi: 10.1186/s40168-023-01470-9.
2. Dziewiecka H, Buttar HS, Kasperska A, Ostapiuk-Karolczuk J, Domagalska M, Cichoń J, Skarpańska-Stejnborn A. Physical activity induced alterations of gut microbiota in humans: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2022 Jul 7;14(1):122. doi: 10.1186/s13102-022-00513-2.
3. Mohr AE, Jäger R, Carpenter KC, Kerksick CM, Purpura M, Townsend JR, West NP, Black K, Gleeson M, Pyne DB, Wells SD, Arent SM, Kreider RB, Campbell BI, Bannock L, Scheiman J, Wissent CJ, Pane M, Kalman DS, Pugh JN, Ortega-Santos CP, Ter Haar JA, Arciero PJ, Antonio J. The athletic gut microbiota. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020 May 12;17(1):24. doi: 10.1186/s12970-020-00353-w.
4. Hughes RL, Holscher HD. Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. *Adv Nutr*. 2021 Dec 1;12(6):2190-2215. doi: 10.1093/advances/nmab077.
5. Tarracchini C, Fontana F, Lugli GA, Mancabelli L, Alessandri G, Turrone F, Ventura M, Milani C. Investigation of the Ecological Link between Recurrent Microbial Human Gut Communities and Physical Activity. *Microbiol Spectr*. 2022 Apr 27;10(2):e0042022. doi: 10.1128/spectrum.00420-22.
6. Cella V, Bimonte VM, Sabato C, Paoli A, Baldari C, Campanella M, Lenzi A, Ferretti E, Migliaccio S. Nutrition and Physical Activity-Induced Changes in Gut Microbiota: Possible Implications for Human Health and Athletic Performance. *Foods*. 2021 Dec 10;10(12):3075. doi: 10.3390/foods10123075.
7. Norheim F, Gjelstad IM, Hjorth M, Vinknes KJ, Langlete TM, Holen T, Jensen J, Dalen KT, Karlsson AS, Kielland A, Rustan AC, Drevon CA. Molecular nutrition research: the modern way of performing nutritional science. *Nutrients*. 2012 Dec 3;4(12):1898-944. doi: 10.3390/nu4121898.
8. Clark A, Mach N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J Int Soc Sports Nutr*. 2016 Nov 24;13:43. doi: 10.1186/s12970-016-0155-6.
9. Gleeson M, Bishop NC. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: modification of immune responses to exercise by carbohydrate, glutamine and anti-oxidant supplements. *Immunol Cell Biol*. 2000 Oct;78(5):554-61. doi: 10.1111/j.1440-1711.2000.t01-6-.x.
10. Morgan WP, Costill DL, Flynn MG, Raglin JS, O'Connor PJ. Mood disturbance following increased training in swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 1988 Aug;20(4):408-14. doi: 10.1249/00005768-198808000-00014.
11. van Wijck K, Lenaerts K, Grootjans J, Wijnands KA, Poeze M, van Loon LJ, Dejong CH, Buurman WA. Physiology and pathophysiology of splanchnic hypoperfusion and intestinal injury during exercise: strategies for evaluation and prevention. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2012 Jul 15;303(2):G155-68. doi: 10.1152/ajpgi.00066.2012.
12. Rodriguez NR, Vislocky LM, Gaine PC. Dietary protein, endurance exercise, and human skeletal-muscle protein turnover. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2007 Jan;10(1):40-5. doi: 10.1097/MCO.0b013e3280115e3b.
13. Helms ER, Zinn C, Rowlands DS, Naidoo R, Cronin J. High-protein, low-fat, short-term diet results in less stress and fatigue than moderate-protein moderate-fat diet during weight loss in male weightlifters: a pilot study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015 Apr;25(2):163-70. doi: 10.1123/ijsnem.2014-0056.
14. Krzywkowski K, Petersen EW, Ostrowski K, Link-Amster H, Boza J, Halkjaer-Kristensen J, Pedersen BK. Effect of glutamine and protein supplementation on exercise-induced decreases in salivary IgA. *J Appl Physiol* (1985). 2001 Aug;91(2):832-8. doi: 10.1152/jap.2001.91.2.832.
15. Jang LG, Choi G, Kim SW, Kim BY, Lee S, Park H. The combination of sport and sport-specific diet is associated with characteristics of gut microbiota: an observational study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019 May 3;16(1):21. doi: 10.1186/s12970-019-0290-y.
16. Bruunsgaard H, Pedersen BK. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: effects of exercise on the immune system in the elderly population. *Immunol Cell Biol*. 2000 Oct;78(5):523-31. doi: 10.1111/j.1440-1711.2000.t01-14-.x.
17. Pasiakos SM, McClung HL, McClung JP, Margolis LM, Andersen NE, Cloutier GJ, Pikosky MA, Rood JC, Fielding RA, Young AJ. Leucine-enriched essential amino acid supplementation during moderate steady state exercise enhances postexercise muscle protein synthesis. *Am J Clin Nutr*. 2011 Sep;94(3):809-18. doi: 10.3945/ajcn.111.017061.
18. Crowe MJ, Weatherson JN, Bowden BF. Effects of dietary leucine supplementation on exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Aug;97(6):664-72. doi: 10.1007/s00421-005-0036-1.
19. Fernstrom JD, Fernstrom MH. Exercise, serum free tryptophan, and central fatigue. *J Nutr*. 2006 Feb;136(2):553S-559S. doi: 10.1093/jn/136.2.553S.
20. Meeusen R. Exercise, nutrition and the brain. *Sports Med*. 2014 May;44 Suppl 1(Suppl 1):S47-56. doi: 10.1007/s40279-014-0150-5.



21. Tumilty L, Davison G, Beckmann M, Thatcher R. Oral tyrosine supplementation improves exercise capacity in the heat. *European Journal of Applied Physiology*. 2011 Dec;111(12):2941-2950. DOI: 10.1007/s00421-011-1921-4.
22. Watson P, Enever S, Page A, Stockwell J, Maughan RJ. Tyrosine supplementation does not influence the capacity to perform prolonged exercise in a warm environment. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2012 Oct;22(5):363-73. doi: 10.1123/ijsnem.22.5.363.
23. van Wijck K, Lenaerts K, Grootjans J, Wijnands KA, Poeze M, van Loon LJ, Dejong CH, Buurman WA. Physiology and pathophysiology of splanchnic hypoperfusion and intestinal injury during exercise: strategies for evaluation and prevention. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2012 Jul 15;303(2):G155-68. doi: 10.1152/ajpgi.00066.2012.
24. Windey K, De Preter V, Verbeke K. Relevance of protein fermentation to gut health. *Mol Nutr Food Res*. 2012 Jan;56(1):184-96. doi: 10.1002/mnfr.201100542.
25. Drygas W, Rębowska E, Stępień E, Golański J, Kwaśniewska M. Biochemical and hematological changes following the 120-km open-water marathon swim. *J Sports Sci Med*. 2014 Sep 1;13(3):632-7.
26. Blachier F, Mariotti F, Huneau JF, Tomé D. Effects of amino acid-derived luminal metabolites on the colonic epithelium and physiopathological consequences. *Amino Acids*. 2007 Nov;33(4):547-62. doi: 10.1007/s00726-006-0477-9.
27. den Besten G, van Eunen K, Groen AK, Venema K, Reijngoud DJ, Bakker BM. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *J Lipid Res*. 2013 Sep;54(9):2325-40. doi: 10.1194/jlr.R036012.
28. Marchesi JR, Adams DH, Fava F, Hermes GD, Hirschfield GM, Hold G, Quraishi MN, Kinross J, Smidt H, Tuohy KM, Thomas LV, Zoetendal EG, Hart A. The gut microbiota and host health: a new clinical frontier. *Gut*. 2016 Feb;65(2):330-9. doi: 10.1136/gutjnl-2015-309990.
29. Koeth RA, Wang Z, Levison BS, Buffa JA, Org E, Sheehy BT, Britt EB, Fu X, Wu Y, Li L, Smith JD, DiDonato JA, Chen J, Li H, Wu GD, Lewis JD, Warrier M, Brown JM, Krauss RM, Tang WH, Bushman FD, Lusis AJ, Hazen SL. Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis. *Nat Med*. 2013 May;19(5):576-85. doi: 10.1038/nm.3145.
30. Toden S, Bird AR, Topping DL, Conlon MA. Resistant starch prevents colonic DNA damage induced by high dietary cooked red meat or casein in rats. *Cancer Biology & Therapy*. 2006 Mar;5(3):267-272. DOI: 10.4161/cbt.5.3.2382.
31. Taciak M, Barszcz M, Tuśnio A, Pastuszewska B. Interactive Effects of Indigestible Carbohydrates, Protein Type, and Protein Level on Biomarkers of Large Intestine Health in Rats. *PLoS One*. 2015 Nov 4;10(11):e0142176. doi: 10.1371/journal.pone.0142176.
32. Ferrocino I, Di Cagno R, De Angelis M, Turrone S, Vannini L, Bancalari E, Rantsiou K, Cardinali G, Neviani E, Cocolin L. Fecal Microbiota in Healthy Subjects Following Omnivore, Vegetarian and Vegan Diets: Culturable Populations and rRNA DGGE Profiling. *PLoS One*. 2015 Jun 2;10(6):e0128669. doi: 10.1371/journal.pone.0128669.
33. Williams C, Chryssanthopoulos C. Pre-exercise food intake and performance. *World Rev Nutr Diet*. 1997;82:33-45. doi: 10.1159/000059648.
34. Pendergast DR, Leddy JJ, Venkatraman JT. A perspective on fat intake in athletes. *J Am Coll Nutr*. 2000 Jun;19(3):345-50. doi: 10.1080/07315724.2000.10718930.
35. de Haan JJ, Lubbers T, Hadfoune M, Luyer MD, Dejong CH, Buurman WA, Greve JW. Postshock intervention with high-lipid enteral nutrition reduces inflammation and tissue damage. *Ann Surg*. 2008 Nov;248(5):842-8. doi: 10.1097/SLA.0b013e318188752c.
36. Bruce-Keller AJ, Salbaum JM, Luo M, Blanchard E 4th, Taylor CM, Welsh DA, Berthoud HR. Obese-type gut microbiota induce neurobehavioral changes in the absence of obesity. *Biol Psychiatry*. 2015 Apr 1;77(7):607-15. doi: 10.1016/j.biopsych.2014.07.012.
37. Pedersen BK, Helge JW, Richter EA, Rohde T, Kiens B. Training and natural immunity: effects of diets rich in fat or carbohydrate. *Eur J Appl Physiol*. 2000 May;82(1-2):98-102. doi: 10.1007/s004210050657.
38. Pedersen L, Idorn M, Olofsson GH, Lauenborg B, Nookaew I, Hansen RH, Johannesen HH, Becker JC, Pedersen KS, Dethlefsen C, Nielsen J, Gehl J, Pedersen BK, Thor Straten P, Hojman P. Voluntary Running Suppresses Tumor Growth through Epinephrine- and IL-6-Dependent NK Cell Mobilization and Redistribution. *Cell Metab*. 2016 Mar 8;23(3):554-62. doi: 10.1016/j.cmet.2016.01.011.
39. Mickleborough TD. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in physical performance optimization. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2013 Feb;23(1):83-96. doi: 10.1123/ijsnem.23.1.83.
40. Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA. Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients*. 2014 Apr 29;6(5):1782-808. doi: 10.3390/nu6051782.
41. de La Serre CB, Ellis CL, Lee J, Hartman AL, Rutledge JC, Raybould HE. Propensity to high-fat diet-induced obesity in rats is associated with changes in the gut microbiota and gut inflammation. *Am J Physiol Gastrointest Liver Phy-*



- siol.* 2010 Aug;299(2):G440-8. doi: 10.1152/ajp-gi.00098.2010.
42. Zhang M, Izumi I, Kagamimori S, et al. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids.* 2004 Mar;26(2):203-207. DOI: 10.1007/s00726-003-0002-3.
 43. Nieman DC, Gillitt ND, Knab AM, Shanelly RA, Pappan KL, Jin F, Lila MA. Influence of a polyphenol-enriched protein powder on exercise-induced inflammation and oxidative stress in athletes: a randomized trial using a metabolomics approach. *PLoS One.* 2013 Aug 15;8(8):e72215. doi: 10.1371/journal.pone.0072215.
 44. Dahl WJ, Stewart ML. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Health Implications of Dietary Fiber. *J Acad Nutr Diet.* 2015 Nov;115(11):1861-70. doi: 10.1016/j.jand.2015.09.003.
 45. Hold GL. The gut microbiota, dietary extremes and exercise. *Gut.* 2014 Dec;63(12):1838-9. doi: 10.1136/gutjnl-2014-307305.
 46. Del Chierico F, Vernocchi P, Dallapiccola B, Putignano L. Mediterranean diet and health: food effects on gut microbiota and disease control. *Int J Mol Sci.* 2014 Jul 1;15(7):11678-99. doi: 10.3390/ijms150711678.
 47. Kimura I, Inoue D, Maeda T, Hara T, Ichimura A, Miyauchi S, Kobayashi M, Hirasawa A, Tsujimoto G. Short-chain fatty acids and ketones directly regulate sympathetic nervous system via G protein-coupled receptor 41 (GPR41). *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011 May 10;108(19):8030-5. doi: 10.1073/pnas.1016088108.
 48. Grider JR, Piland BE. The peristaltic reflex induced by short-chain fatty acids is mediated by sequential release of 5-HT and neuronal CGRP but not BDNF. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 2007 Jan;292(1):G429-37. doi: 10.1152/ajpgi.00376.2006.
 49. de Oliveira EP, Burini RC, Jeukendrup A. Gastrointestinal complaints during exercise: prevalence, etiology, and nutritional recommendations. *Sports Med.* 2014 May;44 Suppl 1(Suppl 1):S79-85. doi: 10.1007/s40279-014-0153-2.
 50. Marttinen M, Ala-Jaakkola R, Laitila A, Lehtinen MJ. Gut Microbiota, Probiotics and Physical Performance in Athletes and Physically Active Individuals. *Nutrients.* 2020 Sep 25;12(10):2936. doi: 10.3390/nu12102936.
 51. Jacouton E, Mach N, Cadiou J, Lapaque N, Clément K, Doré J, van Hylckama Vlieg JE, Smokvina T, Blottière HM. Lactobacillus rhamnosus CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angptl4 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS One.* 2015 Oct 6;10(10):e0138880. doi: 10.1371/journal.pone.0138880.
 52. Akkasheh G, Kashani-Poor Z, Tajabadi-Ebrahimi M, Jafari P, Akbari H, Taghizadeh M, Memarzadeh MR, Asemi Z, Esmailzadeh A. Clinical and metabolic response to probiotic administration in patients with major depressive disorder: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Nutrition.* 2016 Mar;32(3):315-20. doi: 10.1016/j.nut.2015.09.003.
 53. Messaoudi M, Violle N, Bisson JF, Desor D, Javelot H, Rougeot C. Beneficial psychological effects of a probiotic formulation (Lactobacillus helveticus R0052 and Bifidobacterium longum R0175) in healthy human volunteers. *Gut Microbes.* 2011 Jul-Aug;2(4):256-61. doi: 10.4161/gmic.2.4.16108.
 54. Schmidt C. Mental health: Thinking from the gut. *Nature.* 2015;518:12-15. doi: 10.1038/518S13a.
 55. Плещёв И.Е., Николенко В.Н., Ачкасов Е.Е., Шкрёбко А.Н., Плещёва Т.Н., Бирг А.Б., Синьян Ч., Греков Д.А. Эффективность нутритивной поддержки и её роль в процессе лечения лиц с саркопенией. *Пациентоориентированная медицина и фармация.* 2023;1(1):12-22. [Pleshchev I.E., Nikolenko V.N., Achkasov E.E., Shkrebko A.N., Pleshcheva T.N., Birg A.B., Xinliang Z., Grekov D.A. The efficacy of nutritional support and its role in the treatment of persons with sarcopenia. *Patient-Oriented Medicine and Pharmacy.* 2023;1(1):12-22. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0003>.
 56. Ait-Belgnaoui A, Durand H, Cartier C, Chaumaz G, Eutamene H, Ferrier L, Houdeau E, Fioramonti J, Bueno L, Theodorou V. Prevention of gut leakiness by a probiotic treatment leads to attenuated HPA response to an acute psychological stress in rats. *Psychoneuroendocrinology.* 2012 Nov;37(11):1885-95. doi: 10.1016/j.psyneuen.2012.03.024.
 57. Ait-Belgnaoui A, Colom A, Braniste V, Ramalho L, Marrot A, Cartier C, Houdeau E, Theodorou V, Tompkins T. Probiotic gut effect prevents the chronic psychological stress-induced brain activity abnormality in mice. *Neurogastroenterol Motil.* 2014 Apr;26(4):510-20. doi: 10.1111/nmo.12295.