

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.7>

УДК: 616.34-008.87

Тип статьи: Обзор литературы / Articles Review



Влияние некоторых компонентов специализированных продуктов для спортсменов на кишечный микробиом и связанные с ним показатели макроорганизма

И.В. Кобелькова^{1,2,*}, М.М. Коростелева^{1,3}

¹ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» ФМБА, Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: анализ данных литературы о влиянии некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов для спортсменов на качественный и количественный состав кишечного микробиома и связанные с ним показатели макроорганизма.

Материалы и методы: поиск в крупнейших базах данных статей на английском и русском языках без ограничения глубины поиска по времени с использованием ключевых слов «специализированные пищевые продукты», «биологически активные вещества», «спортсмены», «питание», «микробиом», «микробиота», «supplements», «microbiota», «microbiome» «athletes», «nutrition».

Результаты: показано, что нормализация рациона, а следовательно, и пищевого статуса, дефицитного по некоторым макро- и микро-элементам, витаминам и антиоксидантам, возможна не только с использованием биологически активных добавок, содержащих эти и другие вещества, но и за счет потребления про- и пребиотиков, модулирующих и создающих благоприятные условия для поддержания оптимального состава кишечной микробиоты и эндогенного синтеза различных биологически активных веществ. Установлено участие микрофлоры в поддержании функциональной активности желудочно-кишечного тракта, обеспечении адекватного иммунного ответа, поддержании кислотно-щелочного баланса и водно-солевого обмена, синтезе ряда биологически активных веществ.

Заключение: оптимизация рационов питания спортсменов с использованием специализированной пищевой продукции, оказывающей модулирующее действие на микрофлору, занимает важное место в поддержании здоровья и работоспособности. При этом в большинстве проведенных исследований участвовали животные и требуется проведение исследований с участием больших выборок физически активных добровольцев и спортсменов разного уровня.

Ключевые слова: специализированные пищевые продукты, биологически активные добавки, питание, микробиом, спортсмены

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кобелькова И.В., Коростелева М.М. Влияние некоторых компонентов специализированных продуктов для спортсменов на кишечный микробиом и связанные с ним показатели макроорганизма. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):65–79. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.7>

Поступила в редакцию: 26.12.2023

Принята к публикации: 01.02.2024

Online first: 09.02.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Influence of some components of specialized products for athletes on the intestinal microbiome and related macroorganism indicators

Irina V. Kobelkova^{1,2,*}, Margarita M. Korosteleva^{1,3}

¹ Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

² Academy of Postgraduate Education of Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose: to analyze literature data on the influence of some components of specialized food products for athletes on the qualitative and quantitative composition of the intestinal microbiome and related indicators of the macroorganism.

Materials and methods: The selection of current scientific articles was carried out in open electronic databases: Web of Science, Scopus, PubMed, ncbi, Scientific Electronic Library of the Russian Federation (elibrary.ru), Russian State Library and others. The search depth is not limited. Results. It has been shown that normalization of the diet, and therefore the nutritional status, deficient in some macro- (calcium, magnesium), microelements (iron, zinc), vitamins (A, B₁, B₂, B₆, folates, B₁₂, D), antioxidants, is possible not only with the help of dietary supplements containing these and other (L-carnitine, caffeine) substances, but to a significant extent this improvement is possible through the consumption of pro- and prebiotics, modulating and creating favorable conditions for maintaining the optimal composition of the intestinal microbiota and endogenous synthesis of various biologically active substances. The participation of microflora in maintaining the integrity of the functional activity of the gastrointestinal tract, ensuring an adequate immune response, maintaining acid-base balance and water-salt metabolism, and the synthesis of a number of biologically active substances has been established. Most studies have been conducted on animals.

Conclusion: optimization of athletes' diets using specialized food products that have a modulating effect on microflora plays an important role in maintaining health and performance. The issue requires further study with the participation of volunteers.

Keywords: specialized food products, dietary supplements, nutrition, microbiome, athletes

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

For citation: Kobelkova I.V., Korosteleva M.M. Influence of some components of specialized products for athletes on the intestinal microbiome and related macroorganism indicators. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):65–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.7>

Received: 26 December 2023

Accepted: 01 February 2024

Online first: 09 February 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Значительные энерготраты спортсменов большинства видов спорта требуют восполнения за счет обеспечения достаточной энергетической ценности, большого объема и массы пищевых продуктов. В то же время промежутки между приемами пищи и началом тренировки или соревнования не всегда достаточны для завершения процессов пищеварения. В этом случае целесообразно быстрое поступление необходимого дополнительного компактного количества легкоусвояемых белков, жиров, углеводов, макро- и микроэлементов, в том числе витаминов и других биологически активных веществ, в виде специализированных пищевых продуктов (СПП) и биологически активных добавок (БАД) как дополнения к базовому рациону. Ряд исследований подтверждает тот факт, что оптимальное питание, в том числе с включением СПП и БАД, отвечающее потребностям в энергии и пищевых веществах с соблюдением режима (по времени приема, количеству и химическому

составу пищи), является одним из ключевых моментов при составлении программы тренировок спортсменов [1]. Ранее уже были проанализированы данные о взаимосвязи особенностей рациона питания, интенсивности тренировочного процесса и характеристик кишечного микробиома, а также оценены ассортимент и частота выбора наиболее популярных видов специализированной пищевой продукции, в том числе исходя из их основных действующих компонентов [2, 3].

Хорошо известны эффекты влияния отдельных нутриентов, входящих в СПП и БАД, на массу и состав тела, соотношение про- и противовоспалительных цитокинов, показатели кислотно-щелочного равновесия и антиоксидантной защиты, заболеваемость острыми респираторными инфекциями, работоспособность и скоростно-силовые характеристики спортсменов [4]. Однако роль некоторых компонентов СПП и БАД для спортсменов в отношении модуляции кишечного микробиома, влияющего на функциональное состояние

желудочно-кишечного тракта, изучена недостаточно. В соответствии с официальной терминологией, принятой на территории Российской Федерации, в статье используется определение микробиом, под которой подразумевается динамичная совокупность ассоциированных с организмом человека микроорганизмов (бактерий, архей, вирусов, грибов, простейших), их фагов, белков и других дериватов, присутствующих в открытых наружу полостях и органах и на коже (современный эквивалент понятия «микробиота») [5].

Целью проведенного исследования является анализ данных литературы о влиянии некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов для спортсменов на качественный и количественный состав кишечного микробиома и связанные с ним показатели макроорганизма.

2. Материалы и методы

Поиск научных статей проводили в базах данных: Web of Science, Scopus, Pubmed, научной электронной библиотеки РФ (elibrary.ru) и Российской государственной библиотеки без ограничения глубины поиска по времени. Предметом исследования являлось изучение влияния некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов (СПП) и биологически активных добавок к пище (БАД) на состав кишечного микробиома и его оптимизацию у спортсменов. Подробный анализ каждой отобранной статьи осуществляли на основе соответствия цели представленного обзора, а также в соответствии с критериями включения. Поиск статей проводился по ключевым словам «специализированные пищевые продукты», «биологически активные вещества», «спортсмены», «питание», «микробиом», «микробиота», «supplements», «microbiota», «microbiome» «athletes», «nutrition» с использованием логических операторов И/ИЛИ и AND/OR.

3. Результаты

По заданным ключевым словам найдено 137 статей (из которых 42 обзора и один метаанализ), в которых оценивалось влияние введения в рацион определенных компонентов СПП и БАД на микробиом (табл. 1).

Следует отметить, что оценка эффекта от введения компонента специализированного пищевого продукта на любые параметры пищевого статуса и кишечного микробиома крайне затруднена без анализа его вклада в базовый рацион питания, полученного после суммарной количественной оценки поступления каждого из нутриентов как из традиционных продуктов питания, так и из СПП. В целях подтверждения качества (наличия и количества заявленных веществ) и безопасности все СПП и БАД должны пройти процедуру государственной регистрации в установленном порядке. В России спортсмены высокого уровня получают в период проведения сборов и соревнований только те продукты, которые включены в ежегодно обновляемый «Формуляр

лекарственных средств, биологически активных добавок к пище и изделий медицинского назначения Федерального медико-биологического агентства России, используемых для медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации» [29].

4. Дискуссия

Длительность приема, минимальная эффективная доза и способ введения (однократная суточная или разделенная на несколько приемов доза, форма СПП и БАД) конкретного пробиотического штамма являются факторами, определяющими степень его влияния на показатели адаптационного потенциала спортсменов и их профессиональную успешность. Для улучшения воспроизводимости и повышения точности результатов исследований по изучению эффективности влияния пробиотиков на состояние здоровья лиц, вводящих их в рацион, в том числе спортсменов, в протоколе исследований необходимо избежать нескольких важных методологических ошибок. Информация на этикетке СПП и БАД, содержащих пробиотики, должна включать род, вид, штамм каждого живого микроорганизма и его количество на момент окончания срока годности, измеренное в колониеобразующих единицах (КОЕ/г) [32]. Соукеиро и соавт. [33] отметили, что в спортивной практике прием пробиотических микроорганизмов должен осуществляться не менее чем за 14 дней до начала соревнований, поэтому результаты краткосрочных исследований следует оценивать с осторожностью.

Механизм действия пробиотических микроорганизмов многофакторен и зависит от штамма. Пробиотические штаммы подавляют патогенные бактерии как *in vitro*, так и *in vivo* с помощью нескольких механизмов. К ним относят выработку непосредственно ингибирующих соединений (например, бактериоцинов), снижение pH в просвете кишечника за счет выработки короткоцепочечных жирных кислот (которые сами по себе могут быть непосредственно ингибирующими для определенных патогенов), конкуренцию за пищевые вещества и участки адгезии на стенке кишечника, модуляцию иммунного ответа и регуляцию экспрессии генов колоноцитов (например, экспрессию генов муцина) [34]. Робертс и соавт. продемонстрировали, что комбинированное применение при высоких физических нагрузках у триатлонистов про- и пребиотиков с несколькими штаммами может снизить уровень эндотоксинов в крови и выраженность симптоматики со стороны желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), потенциально оказывает аддитивный эффект за счет комбинированной модуляции кишечного микробиома и антиоксидантной защиты [7].

Ген Fiaf в эпителиальных клетках кишечника (ЭКК) является важнейшим регулятором энергетического гомеостаза, а также множества процессов, включая клеточную функцию, поддержание, структуру и развитие

Таблица

Table

Характеристика влияния компонентов СПП и БАД на кишечный микробиом [6]

Characteristics of the effect of the components of food supplements on the intestinal microbiome [6]

№	СПП/ БАД / Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биома и ЖКТ / Impact on the taxonony of the microbiome and GIT	Источник / Referenses
1		1) <i>Lactobacillus</i> (L.) <i>acidophilus</i> , <i>L. acidophilus</i> CUL-60 [NCIMB 30157], <i>L. acidophilus</i> CUL-21 [NCIMB 30156]), <i>Bifidobacterium</i> <i>bifidum</i> (В.в.) и <i>lactis</i> , В.в. CUL-20 [NCIMB 30172], <i>B. animalis</i> subspecies <i>lactis</i> CUL-34 [NCIMB 30153]), 2) ФОС, 3) α-липоевая кислота, 4) N-ацетил-карнитин)	Триатлонисты (любители)	n = 30 (25 мужчин и 5 женщин)	1) 10 ⁹ КОЕ/сут, 2) 55,8 мг/сут, 3) 400 мг/сут, 4) 600 мг/сут; утром в течение 12-недельного пери- ода перед гонкой и 6-дневного периода после	↓ тяжести симптомов со стороны ЖКТ; ↑ <i>Bifidobacteria</i> ↓ <i>Firmicutes</i> ↓ <i>Bacteroides</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B156- nutrients-12-000177]
2		<i>Lactobacillus rhamnosus</i> CNCM1-4317 (19 штаммов)	Эпителиаль- ные клетки кишечника человека. Мыши	n = 18	11 дней	Транскриптомная модуляция гена Fiaf в эпителиальных клет- ках кишечника человека ↑ <i>Lactobacilli</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B157- nutrients-12-000178]
3	БАД с про- биотиками	<i>Lactobacillus plantarum</i> TWK10	Мыши	n = 24	LP10-1X: 1 капсула 2,05 × 10 ⁸ КОЕ/кг/ сут и LP10-5X: 1,03 × 10 ⁹ КОЕ/кг 6 не- дель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacilli</i>	[9https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B159- nutrients-12-00017]
4		<i>Lactobacillus plantarum</i> TWK10	Взрослые мужчины	n = 16	1 капсула/сут 6 недель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacilli</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B160- nutrients-12-0001710]
5		<i>Saccharomyces boulardii</i>	Крысы-самцы линии Wistar	n = 26	10 ⁸ КОЕ/кгМТ сут 10 дней	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Saccharomyces</i> ↑ <i>Bacteroides</i> ↓ <i>Firmicutes</i> ↓ <i>Proteobacteria</i> ↓ <i>Tenericutes</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B163- nutrients-12-0001711]
6		<i>Lactobacillus Casei</i>	Пациенты с синдромом хронической усталости	n = 39	26 × 10 ⁹ КОЕ/ сут 8 недель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacillus</i> ; ↑ <i>Bifidobacteria</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001712]

Таблица. Продолжение
Table. Continuation

№	СПП/ БАД/ Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биота и ЖКТ / Impact on the taxonomy of the microbiome and GIT	Источник / References
7		<i>L. fermentum</i>	Велосипеди- сты	<i>n</i> = 99, 64 мужчины и 35 женщин	1 × 10 ⁹ КОЕ/сут, 11 недель	Снижение тяжести симптомов со стороны ЖКТ, ↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001713]
8		<i>Lactobacillus helveticus Lafti L10</i>		39 элитных спортсменов различных видов спорта	2 × 10 ¹⁰ КОЕ/сут, 14 недель	Влияние на ЖКТ не оценива- лось, снижение заболеваемости ОРВИ, ↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001714]
9	БАД с про- биотиками	<i>Bifidobacterium adolescentis</i> DSM 18350, <i>B. adolescentis</i> DSM 18352 и <i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i> DSM 18353	Здоровые добровольцы	<i>n</i> = 23	5 × 10 ⁹ КОЕ/сут	Установлено ↑ фолатов в кале, ↑ <i>B. adolescentis</i> DSM 18350, ↑ <i>B. adolescentis</i> DSM 18352 и ↑ <i>B. pseudocatenulatum</i> DSM 18353	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001715]
10	Кисломо- лочный продукт, содер- жащий штамм	<i>Propionibacterium freudenreichii</i> B2336, <i>Lactococcus lactis pNZGBAN</i>	Крысы с дефицитом рибофлавина	-	4 недели	Оценена безопасность штаммов, ↑ рибофлавина, ↑ <i>Propionibacterium</i> , ↑ <i>Lactococcus</i>	[16]
11	БАД	Витамин D ₃	Люди	<i>n</i> = 16	980 МЕ/кг массы тела 4 недели/ 490 МЕ/кг массы тела 4 недели	Верхние отделы желудочно- кишечного тракта: <i>Gaillardia proteobacteria</i> (↓ <i>Pseudomonas</i> spp.; ↓ <i>Escherichia/Shigella</i> spp.); Существенных изменений в терминальном отделе желудоч- но-кишечного тракта нет	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B213- nutrients-12-0001717]
12	БАД	Витамин E	Мыши	-	0,06 мг/20гМТ/сут и 0,18 мг/20гМТ/сут; 34 сут	Изменение <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i>	[18]
13	Чистые субстан- ции	Цианокобаламин	Мыши с вос- палительным заболеванием кишечника (ВЗК)	-	Высокие дозировки	Усиление симптомов ВЗК ↑ <i>Escherichia/Shigella</i> ↑ <i>Enterobacteriaceae</i> ↓ <i>Lactobacillus</i> , ↓ <i>Blautia</i> и ↓ <i>Clostridium</i> XVIII	[19]

Таблица. Продолжение
Table. Continuation

№	СПП/ БАД/ Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биота и ЖКТ / Impact on the taxonomy of the microbiome and GIT	Источник / References
14	Обогащен- ный хлеб	Ca	Люди, здоро- вые добро- вольцы 25 лет	n = 32	хлеб, с фосфатом кальция (1 г / день) + пробиотический напиток 10 ¹⁰ (КОЕ) / сут, 4 недели	↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B213-nutrients-12-0001720]
	Рацион, обо- гащенный оксидом цинка	Zn	Поросята без грудного вскармлива- ния с 26-го дня от рождения	n = 16	57 или 2425 мг/ кгМТ, 5 недель	↓ <i>Enterobacteriaceae</i> ↓ <i>Escherichia</i> , ↓ <i>Lactobacillus</i> spp.	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B213-nutrients-12-0001721]
15	Вода, обо- гащенная бикарбона- тами	Бикарбонат натрия	Люди	n = 19	2,5 г/л 500 мл/сут 7 дней	↑ <i>Christensenellaceae</i> ↑ <i>Dehalobacteriaceae</i> ↓ <i>Bifidobacteriaceae</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B207-nutrients-12-0001722]
16	БАД с ПНЖК омега-3	Смесь эйкозапентаеновой кислоты и докозагексаеновой кислоты	Люди	n = 22	4 г /сут 8 недель	↑ <i>Bifidobacterium</i> , ↑ <i>Roseburia</i> , ↑ <i>Lactobacillus</i>	[23]
17		Флавонолы (кверцетин)	Крысы линии Wistar	23 (n = 5-6/ группа)	30 мг/кг массы тела/ сут 6 недель	↓ соотношение <i>Firmicutes</i> : <i>Bacteroidetes</i> ↓ <i>Erysipelotrichaceae</i> , ↓ <i>Bacillus</i> , ↓ <i>Eubacterium</i> <i>cylindroides</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B141-nutrients-12-0001724]
18	БАД с антиокси- дантами	Антоцианидины	Мыши	n = 36	Экстракт клюквы (200 мг/кг) 8 недель	↑ <i>Akkermansia</i>	[25]
19		Экстракт граната (эллагитаннин)	Здоровые добровольцы	n = 20	1000 мг в течение 4 недель	↑ <i>Actinobacteria</i> ; ↓ <i>Firmicutes</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B143-nutrients-12-0001726]
20		Растворимый кофе в порошке	Люди	n = 16	3,4 г кофе, 3 р/сут 3 недели	↑ <i>Bifidobacterium</i> spp.	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B234-nutrients-12-0001727]
21	Кофеин	Экстракт зеленого чая	Люди	n = 58	0,27-0,45 г/сут кофеина 12 недель	Не влияет на состав микробиоты	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B235-nutrients-12-0001728]

лимфоидной ткани, липидный и углеводный обмен, иммунную систему. Показано, что штамм *Lactobacillus rhamnosus* CNCM1-4317 индуцировал экспрессию гена Fiaf в ЭКК человека и повышал уровень циркулирующего белка FIAF у мышей. Этот эффект сопровождался транскриптомной модуляцией нескольких путей, включая иммунный ответ и метаболизм *in vitro* [8]. Было показано, что прием *L. plantarum* TWK10 ($1,03 \times 10^9$ КОЕ/кгМТсут) в сочетании с физической нагрузкой у мышей статистически достоверно повышал поедаемость корма, при этом снижалась общая масса тела и одновременно увеличивалось количество мышечных волокон 1-го типа в икроножной мышце, улучшались биохимические показатели крови, снижались уровни лактата, аммиака, креатинкиназы по сравнению с группой животных, принимавшей плацебо [9]. Huang и соавт. продемонстрировали, что ведение данного штамма в течение 6 недель в рацион 16 мужчин-добровольцев в двойном слепом плацебо-контролируемом клиническом исследовании показало аналогичные результаты [10].

В просвете кишечника *S. boulardii* может воздействовать на патогенные токсины, сохранять клеточную физиологию, препятствовать прикреплению патогена, взаимодействовать с нормальной микробиотой или способствовать восстановлению уровня короткоцепочечных жирных кислот, являющихся энергетическими метаболитами, а также действовать как иммунный регулятор как в просвете ЖКТ, так и системно. Так, было показано, что введение в рацион *S. boulardii* в течение 10 дней не изменяло значения скорости потребления кислорода или механическую эффективность при субмаксимальной интенсивности упражнений. Напротив, при переутомлении максимальное потребление кислорода было увеличено на 12,7 % ($p = 0,01$), а максимальная скорость бега — на 12,4 % ($p < 0,05$) у крыс основной группы по сравнению с контрольной [11].

Также было установлено значительное снижение симптомов тревоги среди людей, которые принимали *Lactobacillus casei* штамма Shirota по сравнению с контрольной группой ($p = 0,01$) на фоне значительного повышения содержания в кишечном микробиоме как лактобацилл, так и бифидобактерий. Эти результаты еще раз подтверждают наличие взаимодействия между кишечником и высшими отделами нервной системы, которое может быть опосредовано микроорганизмами, находящимися в ЖКТ [12].

Показано положительное влияние БАД, содержащих пробиотические микроорганизмы, на снижение заболеваемости респираторными инфекциями, однако результаты исследований по изучению влияния данной специализированной продукции на производительность спортсменов неоднозначны. Введение *L. fermentum* (PCC®) в течение 11 недель в рацион существенно сократило продолжительность и тяжесть симптомов заболеваний нижних дыхательных путей велосипедистов ($n = 99$), а количество лактобацилл в составе кишечного

микробиома увеличилось в 7,7 и 2,2 раза среди мужчин и женщин соответственно. В этой же выборке наблюдалось существенное уменьшение выраженности различных патологических симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта [13]. Введение в рацион в течение 14 недель *Lactobacillus helveticus* Lafti L10 ($10,2 \times 10^{10}$ КОЕ) в составе биологически активных добавок 39 элитным спортсменам из разных видов спорта достоверно снижало продолжительность острых инфекций верхних дыхательных путей [14].

Неоптимальное содержание витаминов микроэлементов в рационе может негативно влиять на видовой состав и функциональную активность микробиома кишечника. Фолиевая кислота участвует в регуляции репликации ДНК, синтезе пуринов и дезокситимидина (dTMP), превращении гомоцистеина в метионин, катаболизме гистидина и правильной дифференцировке нервной трубки во время органогенеза плода. Фолиевая кислота из пищевых источников почти полностью всасывается в тонком кишечнике, в основном в тощей кишке и не достигает толстого кишечника. Показано, что введение пробиотических штаммов микроорганизмов *B. adolescentis* DSM 18350, *B. adolescentis* DSM 18352 и *B. pseudocatenulatum* DSM 18353, способных синтезировать фолаты *de novo* и высвобождать их во внеклеточном пространстве, может обеспечить дополнительный, постоянный эндогенный источник этого важного витамина в просвете кишечника человека [15].

Рибофлавин, или витамин B₂, является предшественником незаменимых коферментов флавиномононуклеотида и флавиндиндинуклеотида — кофакторов, действующих как переносчики электронов в окислительно-восстановительных реакциях клеточного метаболизма. В экспериментальных работах на животных с дефицитом витамина B₂ введение штамма *Propionibacterium freudenreichii* B2336, продуцирующего рибофлавин, устраняло большинство симптомов его недостаточности, таких как задержка роста, повышенные значения коэффициента активации глутатионредуктазы эритроцитов и гепатомегалия, которые наблюдались с использованием модели истощения-восполнения запасов рибофлавина [16]. Для изучения возможности потребления *B. infantis* ROS25 в качестве пробиотика для продукции рибофлавина *in situ*, который мог бы принести пользу хозяину, этот мутантный штамм использовали не только в эксперименте с животными, но и для ферментации фекалий десяти здоровых взрослых людей. В результате была продемонстрирована высокая эффективность ROS25 в качестве возможного эндогенного продуцента рибофлавина [35].

С другой стороны, показано, что недостаточное поступление самих соединений, обладающих доказанной антиоксидантной активностью, в том числе витаминов С, Е и селена, снижает количество комменсальных кишечных бактерий, одновременно приводя к росту *E. coli* [36].

Витамин А также потенциально может модулировать иммунные реакции посредством прямого взаимодействия с иммунными клетками или косвенно, изменяя состав микробиоты [37–39]. Его дефицит приводит к полной потере иммунных клеток Th17 в тонком кишечнике мышей, не содержащих определенных патогенов, и связанному с этим значительному снижению численности сегментированных нитчатых бактерий (SFB) 50 и представителя семейства *Clostridiaceae*.

Витамин В₆ является кофактором для более чем ста ферментов, в основном участвующих в метаболизме аминокислот. Микробиота человека (*Eubacterium rectalea* и *Porphyromonas gingivalis*) содержит ферменты, активность которых зависят от витамина В₆ [40]. То есть и недостаточное поступление витамина В₆ с пищей модулирует кишечный микробиом.

Потребление витамина D в высоких дозах (≥ 4900 МЕ/сут в течение восьми недель) вызывало снижение концентрации *Proteobacteria* и увеличение *Bacteroidetes* в верхних отделах желудочно-кишечного тракта с одновременным снижением условно-патогенных микроорганизмов *Pseudomona* и *Escherichia/Shigella* [17]. Низкий уровень витамина D сопровождается негативным изменением состава кишечной микробиоты, а воздействие на кожу узкополосного ультрафиолетового света, приводящее к усилению синтеза этого витамина в коже, увеличивает разнообразие кишечной микробиоты человека [41, 42].

Высокий уровень потребления витамина Е (α-токоферола и токотриенола) также оказывал влияние на соотношение *Firmicutes* и *Bacteroidetes* у мышей [18].

Прием витамина В₁₂ в форме метилкобаламина приводил к увеличению роста бутират-продуцирующих бактерий, введение цианокобаламина в рацион вызывало рост доли *Enterobacteriaceae* и усиливало симптомы воспалительных заболеваний кишечника у лабораторных животных [19]. Приведенные данные указывают на потенциальные возможности использования определенных штаммов пробиотиков для коррекции обеспеченности организма некоторыми витаминами.

Показана взаимосвязь между потреблением кальция, витамина D и микробиомом кишечника. Рост доли *Parabacteroides*, *Clostridiales* и *Ruminococcaceae* в составе микрофлоры желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) положительно коррелировал со всасываемостью кальция. Это объясняется усилением синтеза короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые за счет снижения pH в просвете толстого кишечника и/или регуляции экспрессии генов увеличивают всасывание кальция [43]. Кальций влияет на микрофлору кишечника, приводя к увеличению концентрации лактобацилл за счет связывания желчных и жирных кислот, снижения цитотоксичности и уменьшения повреждения слизистой оболочки кишечника. Эти пребиотические свойства кальция положительно влияют на состояние здоровья людей [20, 44, 45].

Показано, что высокие дозы оксида цинка при добавлении к пище действуют в основном в желудке и тонком кишечнике животных, в первую очередь за счет снижения концентрации определенных видов *Lactobacillus* [21]. Количество молочнокислых бактерий и лактобактерий было снижено, в то время как колиформные бактерии и энтерококки были более многочисленны у животных, получавших высокую дозу оксида цинка [46]. В эксперименте с животными было показано, что дефицит цинка приводит к заметному изменению кишечной микрофлоры с метаболическими изменениями, снижением выработки SCFA и последующим ухудшением биодоступности цинка [47].

Возможно, наиболее изученным микроэлементом с точки зрения его взаимодействия как с микробиотой, так и с иммунной системой является железо [48]. Учитывая низкую растворимость трехвалентного железа, микроорганизмы кишечника развили способность продуцировать множество высокоаффинных железосвязывающих сидерофоров. Исследования на гнотобиотических (лишенных микрофлоры) животных выявили связь между кишечной микробиотой и развитием дефицита железа [49]. Баланс железа, существующий между организмом хозяином и микробиотой, хорошо изучен на модели болезни Крона у мышей. В такой ситуации наблюдается нарушение регуляции экспрессии TNF-α, а пероральное (но не парентеральное) введение железа этим животным вызывает изменение состава микробного сообщества кишечника и усугубляет илеит [50]. Установлено, что при снижении уровня железа из-за негативных влияний на состав кишечной микробиоты могут возникать кишечные инфекции. Но и избыток железа также отрицательно сказывается на состоянии микробиоты кишки, которое проявляется в уменьшении количества *Bifidobacteria*, повышении *Enterobacteriaceae* и некоторых специфических энтеропатогенов (например, патогенной кишечной палочки), а также повышении уровня кальпротектина в фекалиях, что свидетельствует о воспалении кишечника [51].

L-карнитин является распространенным компонентом специализированных пищевых продуктов для спортсменов. Поступая как в составе традиционных пищевых продуктов, так и СПП и БАД, он метаболизируется кишечными бактериями с образованием триметиламина (ТМА), который окисляется в печени до триметиламин-N-оксида (ТМАО) ферментом флавиномоноксигеназой 3 (ФМО-3) [52]. ТМА продуцируется кишечными микроорганизмами, в первую очередь семейств *Clostridia* (*Clostridium XIVa* и другие) и *Enterobacteriaceae*, а также *Eubacterium*, при расщеплении карнитина, холина и лецитина, содержащихся как в составе традиционных продуктов питания, так и СПП. Исследования на мышах и людях с повышенным ТМАО выявили связь между продукцией микробного ТМАО и атеросклерозом, тромбозом, хронической болезнью почек и сердечной недостаточностью [53]. Избыточное потребление

как продуктов переработки мяса сельскохозяйственных животных и птицы, так и карнитина из БАД и СПП в течение длительного периода времени может приводить к увеличению скорости превращения ТМА в ТМАО с участием кишечной микробиоты [53, 54].

Учитывая тот факт, что превращение карнитина в метиламины зависит от количественного и качественного состава кишечного микробиома и рациона питания, скорость синтеза ТМАО может быть модифицирована введением в рацион большего количества продуктов растительного происхождения невысокой степени переработки, являющихся источником не только углеводов, но и пищевых волокон [53, 54].

Превращение нитратов, содержащихся в пищевых продуктах, в нитрит может также влиять на состав кишечного микробиома, проявляя антимикробные свойства и модулируя кишечную проницаемость [55].

Оптимальный водно-солевой баланс имеет решающее значение для поддержания адаптационного потенциала и профессиональной производительности спортсмена, однако информация о влиянии гидратационного статуса на микробиом кишечника невелика [56, 57]. Стресс, индуцированный физической нагрузкой, снижал уровень *Turicibacter* spp. и увеличивал *Ruminococcus gnavus*, которые играют определенную роль в деградации кишечной слизи и иммунной функции [58]. С другой стороны, микробиом кишечника может также влиять на состояние гидратации, участвуя в клеточном транспорте растворенных веществ через стенку ЖКТ.

Бикарбонат натрия используется для поддержания кислотно-щелочного равновесия, в том числе в составе изотонических напитков, уменьшая выраженность внутриклеточного ацидоза во время интенсивных упражнений. Прием СПП, содержащих бикарбонаты, увеличивает количество *Christenellaceae*, *Bacteroidaceae* и *Erysipelotrichaceae* и уменьшает *Bifidobacteriaceae* [59].

Основные группы полифенолов являются одним из популярных компонентов СПП и БАД, включают фенольные кислоты, флавоноиды (флавонолы, флавоны, изофлавоны, флаваноны, антоцианидины и флавонолы), стилбены, лигнаны и секоиридоиды. «Пребиотические» эффекты полифенолов наблюдали и *in vitro*, и *in vivo* в доклинических и клинических исследованиях за счет увеличения количества комменсальных бактерий, включая *Bifidobacterium*, *Lactobacilli*, *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* и *Roseburia* spp. [60, 61].

Попадая в толстый кишечник, полифенолы могут как модулировать пролиферацию специфических бактерий, так и действовать как пребиотики для некоторых других микроорганизмов [62]. Анализ опубликованных результатов исследований показал, что БАД, содержащие полифенольные компоненты, увеличивают рост *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, а также уменьшают долю некоторых патогенных *Clostridium* в кишечной микробиоте [63].

Кишечный микробиом осуществляет биотрансформацию ресвератрола в более активную форму — дигидроксид-ресвератрол, штаммы *Slackia equolifaciens* и *Adlercreutzia equolifaciens* продуцируют еще два метаболита — 3,4'-дигидроксид-транс-стильбен и лунуларин [64, 65]. Влияние ресвератрола на микробиоту кишечника связано с изменениями массы тела и жировой ткани в организме, улучшением гомеостаза глюкозы и показателей липидного профиля крови. Ресвератрол усиливает рост *Lactococcus lactis* и грамотрицательной, облигатной анаэробной зубактерии *Akkermansia muciniphila*, которая стимулирует выработку слизи на слизистой оболочке кишечника, таким образом укрепляя кишечный барьер, а также участвует в контроле метаболизма глюкозы и снижает интенсивность воспалительных реакций в макроорганизме. Ресвератрол ингибирует пролиферацию *Enterococcus faecalis* и отрицательно влияет на синтез ТМА из холина путем ремоделирования состава кишечной микробиоты [66].

Кофеин широко используется в спортивной практике для уменьшения усталости во время физических упражнений. В исследованиях на мышах изучалось влияние компонентов кофе (кофеина или хлорогеновой кислоты) на микробиом кишечника. Изолированная хлорогеновая кислота вызывала более выраженное увеличение концентраций ацетата, пропионата и бутирата, в то время как прием кофе не проявлял существенного эффекта. Jaquet et al. обнаружили, что ежедневное потребление трех чашек кофе (в течение трех недель у 16 здоровых взрослых) способствовало увеличению числа полезных штаммов *Bifidobacteriaceae* [27].

Ограничениями данного исследования являются отсутствие за исключением лабораторных животных данных о фактическом питании обследуемых, содержания в рационе пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов, отдельных аминокислот (или в доли белков животного и растительного происхождения), частоты потребления ферментированных продуктов. Сложность оценки эффектов нутрициологической коррекции (введения отдельных пищевых компонентов) возникает вследствие различных протоколов введения СПП и БАД, применения различных видов пробиотических штаммов и их концентраций, комбинаций с пре- и синбиотиками. Максимально точная оценка качественного и количественного содержания пищевых веществ в составе рациона и доли вводимых в него компонентов СПП в соотношении с нормами [5] и уровня энерготрат поможет отделить влияние нутритивного вмешательства и физической активности на микробиоту кишечника от других факторов. В исследованиях также следует учитывать питьевой режим и/или определять биомаркеры гидратации для изучения влияния уровня водно-солевого баланса макроорганизма на микробиоту кишечника или наоборот.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на использовании многоуровневого подхода

для определения причинно-следственных связей, потенциальных метаболитов, генов и эпигенетических модификаций, которые могут вызывать, способствовать, опосредовать или модулировать влияние диеты и физических упражнений на микробиоту кишечника механизмов действия определенных нутриентов на микробиом. Полученные результаты, вероятно, будут способствовать повышению производительности спортсменов, улучшению состояния здоровья, за счет снижения частоты заболеваемости инфекциями желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей.

Реакция микробиоты кишечника на введение различных нутриентов, часто содержащихся на более высоком уровне по сравнению с адекватным или даже верхним допустимым в составе СПП и БАД для спортсменов, отличается межиндивидуальной вариабельностью, что требует персонифицированного подхода и отслеживания эффективности такой нутритивной коррекции в динамике.

5. Заключение

Нормализация рациона, а следовательно, и пищевого статуса, дефицитного по некоторым макро- (кальций, магний), микроэлементам (железо, цинк), витаминам (A, B₁, B₂, B₆, фолатам, B₁₂, D), антиоксидантам, возможна не только с помощью биологически активных добавок, содержащих эти и другие (L-карнитин, кофеин) вещества, но в существенной мере это улучшение возможно с помощью потребления про- и пребиотиков, модулирующих и создающих благоприятные условия для поддержания оптимального состава кишечной микробиоты и эндогенного синтеза различных биологически активных веществ. С другой стороны, под действием микрофлоры кишечника сами пищевые вещества подвергаются трансформации с образованием более активных и биодоступных метаболитов как для макроорганизма, так и для самой микробиоты.

Воздействие на эти пути обеспечивает привлекательную стратегию для максимального увеличения вклада

микробиоты в здоровье, но какие метаболиты играют ключевую роль в формировании этих сообществ, до конца не исследовано. При этом необходимо использовать биологически активные вещества, включая витамины, с установленными в результате фундаментальных исследований данными о роли в бактериальном метаболизме и регуляции генов, то есть эффективными и безопасными для модуляции микробиоты.

Установлено участие микрофлоры в поддержании функциональной активности желудочно-кишечного тракта, обеспечении адекватного иммунного ответа, поддержании кислотно-щелочного баланса и водно-солевого обмена, синтезе ряда биологически активных веществ. Большинство исследований проведено на животных.

Проблема разработки унифицированных протоколов оценки эффективности включения специализированных пищевых продуктов в рацион представляется достаточно сложной и требует систематизированных исследований, с использованием секвенирования генома кишечной микробиоты в сочетании с новыми подходами к исследованию, кластеризации и аннотированию химических метаболитов. При этом результаты нутритивного вмешательства следует оценивать с учетом динамики фактического питания, показателей пищевого статуса и работоспособности спортсменов.

Любые виды/компоненты СПП и БАД следует рассматривать только в общем контексте сбалансированности рациона питания, не переоценивая важность их употребления по сравнению с другими тренировочными и нутритивными стратегиями.

Оптимизация рационов питания спортсменов с использованием СПП и БАД, оказывающих модулирующее действие на микрофлору кишечника, может занимать важное место в обеспечении здоровья спортсменов, и опосредованно — эффективности тренировочного процесса и поддержании работоспособности. Вопрос требует дальнейшего изучения с участием больших выборок физически активных добровольцев и спортсменов разного уровня.

Вклад авторов:

Кобелькова Ирина Витальевна — идея, сбор и анализ данных литературы, подготовка рукописи;

Коростелева Маргарита Михайловна — анализ данных литературы, редактирование рукописи.

Author contributions:

Irina V. Kobelkova — idea, collection and analysis of literature data, preparation of the manuscript;

Margarita M. Korosteleva — analysis of literature data, manuscript editing.

Список литературы

1. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., Collins R., Cooke M., Davis J.N., Galvan E., Greenwood M., Lowery L.M., Wildman R., Antonio J., Kreider R.B. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018 Aug 1;15(1):38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
2. Кобелькова И.В., Коростелева М.М. Влияние основных пищевых веществ на состав кишечного микробиома и

References

1. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., Collins R., Cooke M., Davis J.N., Galvan E., Greenwood M., Lowery L.M., Wildman R., Antonio J., Kreider R.B. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018 Aug 1;15(1):38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
2. Kobelkova I.V., Korosteleva M.M. The influence of basic nutrients on the composition of the intestinal microbiome

оптимизацию адаптационного потенциала спортсмена. Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10. № 2. С. 15-26. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-2-15-26>

3. Кобелькова И.В., Коростелева М.М., Мавлиев Ф.А., Набатов А.А., Назаренко А.С., Никитюк Д.Б. Введение специализированных пищевых продуктов в рацион спортсменов сборной РФ по академической гребле. Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10. № 4. С. 6-15. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-4-6-15>

4. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., Rawson E.S., Walsh N.P., Garthe I., Geyer H., Meeusen R., van Loon L.J.C., Shirreffs S.M., Spriet L.L., Stuart M., Vernec A., Currell K., Ali V.M., Budgett R.G., Ljungqvist A., Mountjoy M., Pitsiladis Y.P., Soligard T., Erden-er U., Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr;52(7):439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

5. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.)

6. Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., Sisti D., Piccoli G., Barbieri E., Sestili P., Stocchi V. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019 Dec 20;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

7. Roberts J.D., Suckling C.A., Peedle G.Y., Murphy J.A., Dawkins T.G., Roberts M.G. An Exploratory Investigation of Endotoxin Levels in Novice Long Distance Triathletes, and the Effects of a Multi-Strain Probiotic/Prebiotic, Antioxidant Intervention. *Nutrients.* 2016 Nov 17;8(11):733. <https://doi.org/10.3390/nu8110733>

8. Jacouton E., Mach N., Cadiou J., Lapaque N., Clement K., Dore J., van Hylckama Vlieg J.E., Smokvina T., Blottiere H.M. Lactobacillus rhamnosus CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angptl4 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS ONE.* 2015;10:e0138880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138880>

9. Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J., Tsai T.Y., Wang M.F., Huang C.C. Lactobacillus plantarum TWK10 Supplementation Improves Exercise Performance and Increases Muscle Mass in Mice. *Nutrients.* 2016;8:205. <https://doi.org/10.3390/nu8040205>

10. Huang W.C., Hsu Y.J., Li H., Kan N.W., Chen Y.M., Lin J.S., Hsu T.K., Tsai T.Y., Chiu Y.S., Huang C.C. Effect of Lactobacillus Plantarum TWK10 on Improving Endurance Performance in Humans. *Chin. J. Physiol.* 2018;61:163-170. <https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAH587>

11. Soares A.D.N., Wanner S.P., Morais E.S.S., Hudson A.S.R., Martins F.S., Cardoso V.N. Supplementation with Saccharomyces boulardii Increases the Maximal Oxygen Consumption and Maximal Aerobic Speed Attained by Rats Subjected to an Incremental-Speed Exercise. *Nutrients.* 2019;11:2352. doi:10.3390/nu11102352

12. Rao A.V., Bested A.C., Beaulne T.M., Katzman M.A., Iorio C., Berardi J.M., Logan A.C. A randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study of a probiotic in emotional symptoms of chronic fatigue syndrome. *Gut Pathog.* 2009;1:6. <https://doi.org/10.1186/1757-4749-1-6>

13. West N.P., Pyne D.B., Cripps A.W., Hopkins W.G., Eskesen D.C., Jairath A., Christophersen C.T., Conlon M.A., Fricker P.A. Lactobacillus fermentum (PCC(R)) supplementation and gastrointestinal and respiratory-tract illness symptoms: a randomised control trial in athletes. *Nutr J.* 2011;10:30. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-30>

and optimization of the adaptive potential of an athlete. *Science and sport: modern trends.* 2022. Т. 10. No. 2. P. 15-26 <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-2-15-26>

3. Kobelkova I.V., Korosteleva M.M., Mavliev F.A., Nabatov A.A., Nazarenko A.S., Nikityuk D.B. Introduction of specialized food products into the diet of athletes of the Russian national rowing team. *Science and sport: modern trends.* 2022. Т. 10. No. 4. P. 6-15. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-4-6-15>

4. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., Rawson E.S., Walsh N.P., Garthe I., Geyer H., Meeusen R., van Loon L.J.C., Shirreffs S.M., Spriet L.L., Stuart M., Vernec A., Currell K., Ali V.M., Budgett R.G., Ljungqvist A., Mountjoy M., Pitsiladis Y.P., Soligard T., Erden-er U., Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr;52(7):439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

5. Methodological recommendations МР 2.3.1.0253-21 "Norms for physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation" (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being on July 22, 2021)

6. Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., Sisti D., Piccoli G., Barbieri E., Sestili P., Stocchi V. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019 Dec 20;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

7. Roberts J.D., Suckling C.A., Peedle G.Y., Murphy J.A., Dawkins T.G., Roberts M.G. An Exploratory Investigation of Endotoxin Levels in Novice Long Distance Triathletes, and the Effects of a Multi-Strain Probiotic/Prebiotic, Antioxidant Intervention. *Nutrients.* 2016 Nov 17;8(11):733. <https://doi.org/10.3390/nu8110733>

8. Jacouton E., Mach N., Cadiou J., Lapaque N., Clement K., Dore J., van Hylckama Vlieg J.E., Smokvina T., Blottiere H.M. Lactobacillus rhamnosus CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angptl4 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS ONE.* 2015;10:e0138880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138880>

9. Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J., Tsai T.Y., Wang M.F., Huang C.C. Lactobacillus plantarum TWK10 Supplementation Improves Exercise Performance and Increases Muscle Mass in Mice. *Nutrients.* 2016;8:205. <https://doi.org/10.3390/nu8040205>

10. Huang W.C., Hsu Y.J., Li H., Kan N.W., Chen Y.M., Lin J.S., Hsu T.K., Tsai T.Y., Chiu Y.S., Huang C.C. Effect of Lactobacillus Plantarum TWK10 on Improving Endurance Performance in Humans. *Chin. J. Physiol.* 2018;61:163-170. <https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAH587>

11. Soares A.D.N., Wanner S.P., Morais E.S.S., Hudson A.S.R., Martins F.S., Cardoso V.N. Supplementation with Saccharomyces boulardii Increases the Maximal Oxygen Consumption and Maximal Aerobic Speed Attained by Rats Subjected to an Incremental-Speed Exercise. *Nutrients.* 2019;11:2352. doi:10.3390/nu11102352

12. Rao A.V., Bested A.C., Beaulne T.M., Katzman M.A., Iorio C., Berardi J.M., Logan A.C. A randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study of a probiotic in emotional symptoms of chronic fatigue syndrome. *Gut Pathog.* 2009;1:6. <https://doi.org/10.1186/1757-4749-1-6>

13. West N.P., Pyne D.B., Cripps A.W., Hopkins W.G., Eskesen D.C., Jairath A., Christophersen C.T., Conlon M.A., Fricker P.A. Lactobacillus fermentum (PCC(R)) supplementation and gastrointestinal and respiratory-tract illness symptoms: a randomised control trial in athletes. *Nutr J.* 2011;10:30. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-30>

14. Michalickova D., Minic R., Dikic N., Andjelkovic M., Kostic-Vucicevic M., Stojmenovic T., Nikolic I., Djordjevic B. Lactobacillus helveticus Lafti L10 supplementation reduces respiratory infection duration in a cohort of elite athletes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41:782–789. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0541>
15. Strozzi G.P., Mogna L. Quantification of folic acid in human feces after administration of Bifidobacterium probiotic strains. *J Clin Gastroenterol.* 2008 Sep;42 Suppl 3 Pt 2:S179-84. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31818087d8>
16. Solopova A., Bottacini F., Venturi Degli Esposti E., Amaretti A., Raimondi S., Rossi M., van Sinderen D. Riboflavin Biosynthesis and Overproduction by a Derivative of the Human Gut Commensal Bifidobacterium longum subsp. infantis ATCC 15697. *Front Microbiol.* 2020 Sep 15;11:573335. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.573335>
17. Bashir M., Prietl B., Tauschmann M., Mautner S.I., Kump P.K., Treiber G., Wurm P., Gorkiewicz G., Hogenauer C., Pieber T.R. Effects of high doses of vitamin D3 on mucosa-associated gut microbiome vary between regions of the human gastrointestinal tract. *Eur. J. Nutr.* 2016;55:1479–1489. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0966-2>
18. Choi Y., Lee S., Kim S., Lee J., Ha J., Oh H., Lee Y., Kim Y., Yoon Y. Vitamin E (α-tocopherol) consumption influences gut microbiota composition. *Int J Food Sci Nutr.* 2020 Mar;71(2):221–225. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1639637>
19. Xuan Zhu, Shasha Xiang, Xiao Feng, Huanhuan Wang, Shiyi Tian, Yuanyuan Xu, Lihua Shi, Lu Yang, Mian Li, Yubiao Shen, Jie Chen, Yuewen Chen, and Jianzhong Han. Impact of Cyanocobalamin and Methylcobalamin on Inflammatory Bowel Disease and the Intestinal Microbiota Composition *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2019 67 (3), 916–926 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05730Rudzki>
20. Ditscheid B., Keller S. & Jahreis G. Faecal steroid excretion in humans is affected by calcium supplementation and shows gender-specific differences. *Eur J Nutr* (2009) 48, 22–30.
21. Starke I.C., Pieper, R. Neumann K., et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. 87:416–427.
22. Murakami S., Goto Y., Ito K., Hayasaka S., Kurihara S., Soga T., Tomita M., Fukuda S. The Consumption of Bicarbonate-Rich Mineral Water Improves Glycemic Control. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2015;2015:824395. <https://doi.org/10.1155/2015/824395>
23. Watson H., Mitra S., Croden F.C., Taylor M., Wood H.M., Perry S.L., Spencer J.A., Quirke P., Toogood G.J., Lawton C.L., et al. A randomised trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut.* 2018;67:1974–1983. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314968>
24. Etxeb erria U., Arias N., Boque N., Macarulla M.T., Portillo M.P., Martinez J.A., Milagro F.I. Reshaping faecal gut microbiota composition by the intake of trans-resveratrol and quercetin in high-fat sucrose diet-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* 2015;26:651–660. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.01.002>
25. Anhe F.F., Roy D., Pilon G., Dudonne S., Matamoros S., Varin T.V., Garofalo C., Moine Q., Desjardins Y., Levy E., et al. A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased Akkermansia spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut.* 2015;64:872–883. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307142>
26. Li Z., Henning S.M., Lee R.P., Lu Q.Y., Summanen P.H., Thames G., Corbett K., Downes J., Tseng C.H., Finegold S.M., et al. Pomegranate extract induces ellagitannin metabolite formation
14. Michalickova D., Minic R., Dikic N., Andjelkovic M., Kostic-Vucicevic M., Stojmenovic T., Nikolic I., Djordjevic B. Lactobacillus helveticus Lafti L10 supplementation reduces respiratory infection duration in a cohort of elite athletes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41:782–789. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0541>
15. Strozzi G.P., Mogna L. Quantification of folic acid in human feces after administration of Bifidobacterium probiotic strains. *J Clin Gastroenterol.* 2008 Sep;42 Suppl 3 Pt 2:S179-84. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31818087d8>
16. Solopova A., Bottacini F., Venturi Degli Esposti E., Amaretti A., Raimondi S., Rossi M., van Sinderen D. Riboflavin Biosynthesis and Overproduction by a Derivative of the Human Gut Commensal Bifidobacterium longum subsp. infantis ATCC 15697. *Front Microbiol.* 2020 Sep 15;11:573335. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.573335>
17. Bashir M., Prietl B., Tauschmann M., Mautner S.I., Kump P.K., Treiber G., Wurm P., Gorkiewicz G., Hogenauer C., Pieber T.R. Effects of high doses of vitamin D3 on mucosa-associated gut microbiome vary between regions of the human gastrointestinal tract. *Eur. J. Nutr.* 2016;55:1479–1489. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0966-2>
18. Choi Y., Lee S., Kim S., Lee J., Ha J., Oh H., Lee Y., Kim Y., Yoon Y. Vitamin E (α-tocopherol) consumption influences gut microbiota composition. *Int J Food Sci Nutr.* 2020 Mar;71(2):221–225. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1639637>
19. Xuan Zhu, Shasha Xiang, Xiao Feng, Huanhuan Wang, Shiyi Tian, Yuanyuan Xu, Lihua Shi, Lu Yang, Mian Li, Yubiao Shen, Jie Chen, Yuewen Chen, and Jianzhong Han. Impact of Cyanocobalamin and Methylcobalamin on Inflammatory Bowel Disease and the Intestinal Microbiota Composition *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2019 67 (3), 916–926 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05730Rudzki>
20. Ditscheid B., Keller S. & Jahreis G. Faecal steroid excretion in humans is affected by calcium supplementation and shows gender-specific differences. *Eur J Nutr* (2009) 48, 22–30.
21. Starke I.C., Pieper, R. Neumann K., et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. 87:416–427.
22. Murakami S., Goto Y., Ito K., Hayasaka S., Kurihara S., Soga T., Tomita M., Fukuda S. The Consumption of Bicarbonate-Rich Mineral Water Improves Glycemic Control. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2015;2015:824395. <https://doi.org/10.1155/2015/824395>
23. Watson H., Mitra S., Croden F.C., Taylor M., Wood H.M., Perry S.L., Spencer J.A., Quirke P., Toogood G.J., Lawton C.L., et al. A randomised trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut.* 2018;67:1974–1983. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314968>
24. Etxeb erria U., Arias N., Boque N., Macarulla M.T., Portillo M.P., Martinez J.A., Milagro F.I. Reshaping faecal gut microbiota composition by the intake of trans-resveratrol and quercetin in high-fat sucrose diet-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* 2015;26:651–660. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.01.002>
25. Anhe F.F., Roy D., Pilon G., Dudonne S., Matamoros S., Varin T.V., Garofalo C., Moine Q., Desjardins Y., Levy E., et al. A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased Akkermansia spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut.* 2015;64:872–883. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307142>
26. Li Z., Henning S.M., Lee R.P., Lu Q.Y., Summanen P.H., Thames G., Corbett K., Downes J., Tseng C.H., Finegold S.M., et al. Pomegranate extract induces ellagitannin metabolite formation

and changes stool microbiota in healthy volunteers. *Food Funct.* 2015;6:2487–2495. <https://doi.org/10.1039/C5FO00669D>

27. **Jaquet M., Rochat I., Moulin J., Cavin C., Bibiloni R.** Impact of coffee consumption on the gut microbiota: A human volunteer study. *Int. J. Food Microbiol.* 2009;130:117–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.011>.

28. **Janssens P.L., Penders J., Hursel R., Budding A.E., Savelkoul P.H., Westerterp-Plantenga M.S.** Long-Term Green Tea Supplementation Does Not Change the Human Gut Microbiota. *PLoS ONE.* 2016;11:e0153134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153134>

29. «Формуляр лекарственных средств, биологически активных добавок к пище и изделий медицинского назначения ФМБА России, используемых для медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации» (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru))

30. Всемирный антидопинговый кодекс, 2021 https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2021_vsemirnyy_antidopingovy_kodeks.pdf

31. Официальный сайт РУСАДА <https://rusada.ru/substances/bad/>

32. **Jäger R., Mohr A.E., Carpenter K.C., et al.** International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019;16(1):62. doi:10.1186/s12970-019-0329-0

33. **Coqueiro A.Y., de Oliveira Garcia A.B., Rogero M.M., Tirapegui J.** Probiotic supplementation in sports and physical exercise: does it present any ergogenic effect? *Nutr Health.* 2017. 23.: P. 239–249. <https://doi.org/10.1177/0260106017721000>

34. **Tuohy K.M., Probert H.M., Smejkal C.W., Gibson G.R.** Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drug Discov Today.* 2003 Aug 1;8(15):692–700. [https://doi.org/10.1016/s1359-6446\(03\)02746-6](https://doi.org/10.1016/s1359-6446(03)02746-6).

35. **LeBlanc J. G. Burgess C., Sesma F., de Giori G.S., & van Sinderen, D.** Ingestion of milk fermented by genetically modified *Lactococcus lactis* improves the riboflavin status of deficient rats *Journal of dairy science.* 2005;88(10):3435–3442.

36. **Mach N., Clark A.** Micronutrient Deficiencies and the Human Gut Microbiota. *Trends Microbiol.* 2017 Aug;25(8):607–610. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.06.004>

37. **Cha H.R., et al.** Downregulation of Th17 cells in the small intestine by disruption of gut flora in the absence of retinoic acid. Demonstrates how a single micronutrient, vitamin A, modulates host immune responses through its effects on the composition of the intestinal microbiota. *J Immunol.* 2010;184:6799–6806.

38. **Ivanov I.I., et al.** Induction of intestinal Th17 cells by segmented filamentous bacteria. *Cell.* 2009;139:485–498.

39. **Gaboriau-Routhiau V., et al.** The key role of segmented filamentous bacteria in the coordinated maturation of gut helper T cell responses. *Immunity.* 2009;31:677–689.

40. **Nicholas M. Fleischman, Debanu Das, Abhinav Kumar et al.** Molecular characterization of novel pyridoxal-5'-phosphate-dependent enzymes from the human microbiome /First published: 29 May 2014. <https://doi.org/10.1002/pro.2493>

41. **Yamamoto E.A., Jørgensen T.N.** Relationships between vitamin D, gut microbiome, and systemic autoimmunity. *Frontiers in immunology.* 2020:3141.

42. **Bosman E.S. Bosman E.S., Albert A.Y., Lui H., Dutz J.P., & Vallance B.A.** Skin exposure to narrow band ultraviolet (UVB) light modulates the human intestinal microbiome *Frontiers in Microbiology.* 2019:2410.

43. **Skrypnik K., Suliburska J.** Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018 May; 98(7):2449–2460. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8724>

and changes stool microbiota in healthy volunteers. *Food Funct.* 2015;6:2487–2495. <https://doi.org/10.1039/C5FO00669D>

27. **Jaquet M., Rochat I., Moulin J., Cavin C., Bibiloni R.** Impact of coffee consumption on the gut microbiota: A human volunteer study. *Int. J. Food Microbiol.* 2009;130:117–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.011>.

28. **Janssens P.L., Penders J., Hursel R., Budding A.E., Savelkoul P.H., Westerterp-Plantenga M.S.** Long-Term Green Tea Supplementation Does Not Change the Human Gut Microbiota. *PLoS ONE.* 2016;11:e0153134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153134>

29. “Formulary of medicines, biologically active food additives and medical products of the FMBA of Russia, used for medical and biological support of athletes of sports teams of the Russian Federation” (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru)) (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru))

30. World Anti-Doping Code, 2021 https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2021_vsemirnyy_antidopingovy_kodeks.pdf

31. Official website of RUSADA <https://rusada.ru/substances/bad/>

32. **Jäger R., Mohr A.E., Carpenter K.C., et al.** International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019;16(1):62. doi:10.1186/s12970-019-0329-0

33. **Coqueiro A.Y., de Oliveira Garcia A.B., Rogero M.M., Tirapegui J.** Probiotic supplementation in sports and physical exercise: does it present any ergogenic effect? *Nutr Health.* 2017. 23.: P. 239–249. <https://doi.org/10.1177/0260106017721000>

34. **Tuohy K.M., Probert H.M., Smejkal C.W., Gibson G.R.** Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drug Discov Today.* 2003 Aug 1;8(15):692–700. [https://doi.org/10.1016/s1359-6446\(03\)02746-6](https://doi.org/10.1016/s1359-6446(03)02746-6).

35. **LeBlanc J. G. Burgess C., Sesma F., de Giori G.S., & van Sinderen, D.** Ingestion of milk fermented by genetically modified *Lactococcus lactis* improves the riboflavin status of deficient rats *Journal of dairy science.* 2005;88(10):3435–3442.

36. **Mach N., Clark A.** Micronutrient Deficiencies and the Human Gut Microbiota. *Trends Microbiol.* 2017 Aug;25(8):607–610. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.06.004>

37. **Cha H.R., et al.** Downregulation of Th17 cells in the small intestine by disruption of gut flora in the absence of retinoic acid. Demonstrates how a single micronutrient, vitamin A, modulates host immune responses through its effects on the composition of the intestinal microbiota. *J Immunol.* 2010;184:6799–6806.

38. **Ivanov I.I., et al.** Induction of intestinal Th17 cells by segmented filamentous bacteria. *Cell.* 2009;139:485–498.

39. **Gaboriau-Routhiau V., et al.** The key role of segmented filamentous bacteria in the coordinated maturation of gut helper T cell responses. *Immunity.* 2009;31:677–689.

40. **Nicholas M. Fleischman, Debanu Das, Abhinav Kumar et al.** Molecular characterization of novel pyridoxal-5'-phosphate-dependent enzymes from the human microbiome /First published: 29 May 2014. <https://doi.org/10.1002/pro.2493>

41. **Yamamoto E.A., Jørgensen T.N.** Relationships between vitamin D, gut microbiome, and systemic autoimmunity. *Frontiers in immunology.* 2020:3141.

42. **Bosman E.S. Bosman E.S., Albert A.Y., Lui H., Dutz J.P., & Vallance B.A.** Skin exposure to narrow band ultraviolet (UVB) light modulates the human intestinal microbiome *Frontiers in Microbiology.* 2019:2410.

43. **Skrypnik K., Suliburska J.** Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018 May; 98(7):2449–2460. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8724>

44. **Gomes J.M., Costa J.A., Alfenas R.C.** Could the beneficial effects of dietary calcium on obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr.* 2015 Dec 14;114(11):1756–1765. <https://doi.org/10.1017/S0007114515003608>.
45. **Weaver C.M.** Diet, gut microbiome, and bone health. *Curr Osteoporos Rep.* 2015 Apr; 13(2):125–30. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0257-0>.
46. **Højberg O., Canibe N., Poulsen D., et al.** Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005. 71:2267–2277.
47. **Reed S., Neuman H., Moscovich S., et al.** 2015. Chronic zinc deficiency alters chick gut microbiota composition and function. *Nutrients* 7:9768–9784.
48. **Schaible U.E., Kaufmann S.H.** Iron and microbial infection. *Nat Rev Microbiol.* 2004;2:946–953.
49. **Reddy B.S., Pleasants J.R., Wostmann B.S.** Effect of intestinal microflora on iron and zinc metabolism, and on activities of metalloenzymes in rats. *J Nutr.* 1972;102:101–107.
50. **Werner T., et al.** Depletion of luminal iron alters the gut microbiota and prevents Crohn's disease-like ileitis. *Gut.* 2011;60:325–333.
51. **Успенский Ю.П., Новикова В.П., Барышникова Н.В.** Дефицит железа и кишечная микробиота // Медицина: теория и практика (2022), 7(2), 3–14. <https://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/4148>
52. **Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A.** l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients.* 2018;10:349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>
53. **Koeth R.A., Lam-Galvez B.R., Kirsop J., Wang Z., Levison B.S., Gu X., Copeland M.F., Bartlett D., Cody D.B., Dai H.J., Culley M.K., Li X.S., Fu X., Wu Y., Li L., DiDonato J.A., Tang W.H.W., Garcia-Garcia J.C., Hazen S.L.** l-Carnitine in omnivorous diets induces an atherogenic gut microbial pathway in humans. *J Clin Invest.* 2019 Jan 2;129(1):373–387. <https://doi.org/10.1172/JCI94601>
54. **Coutinho-Wolino K.S., de F Cardozo L.F.M., de Oliveira Leal V., Mafra D., Stockler-Pinto M.B.** Can diet modulate trimethylamine N-oxide (TMAO) production? What do we know so far? *Eur J Nutr.* 2021 Oct;60(7):3567–3584. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02491-6>.
55. **González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B., Ramírez-Goercke M.I., Pareja-Galeano H., Larrosa M.** Role of Oral and Gut Microbiota in Dietary Nitrate Metabolism and Its Impact on Sports Performance. *Nutrients.* 2020 Nov 24;12(12):3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
56. **Guillochon M., Rowlands D.S.** Solid, Gel, and Liquid Carbohydrate Format Effects on Gut Comfort and Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2017;27:247–254. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0211>
57. **O'Brien W.J., Rowlands D.S.** Fructose-maltodextrin ratio in a carbohydrate-electrolyte solution differentially affects exogenous carbohydrate oxidation rate, gut comfort, and performance. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2011;300:G181–G189. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00419.2010>
58. **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. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>
59. **Burke L.M.** Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:15–26. <https://doi.org/10.1159/000345814>
44. **Gomes J.M., Costa J.A., Alfenas R.C.** Could the beneficial effects of dietary calcium on obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr.* 2015 Dec 14;114(11):1756–1765. <https://doi.org/10.1017/S0007114515003608>.
45. **Weaver C.M.** Diet, gut microbiome, and bone health. *Curr Osteoporos Rep.* 2015 Apr; 13(2):125–30. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0257-0>.
46. **Højberg O., Canibe N., Poulsen D., et al.** Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005. 71:2267–2277.
47. **Reed S., Neuman H., Moscovich S., et al.** 2015. Chronic zinc deficiency alters chick gut microbiota composition and function. *Nutrients* 7:9768–9784.
48. **Schaible U.E., Kaufmann S.H.** Iron and microbial infection. *Nat Rev Microbiol.* 2004;2:946–953.
49. **Reddy B.S., Pleasants J.R., Wostmann B.S.** Effect of intestinal microflora on iron and zinc metabolism, and on activities of metalloenzymes in rats. *J Nutr.* 1972;102:101–107.
50. **Werner T., et al.** Depletion of luminal iron alters the gut microbiota and prevents Crohn's disease-like ileitis. *Gut.* 2011;60:325–333.
51. **Uspensky Yu.P., Novikova V.P., & Baryshnikova N.V.** (2022). Iron deficiency and intestinal microbiota // Medicine: theory and practice, 7(2), 3–14. <https://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/4148>
52. **Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A.** l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients.* 2018;10:349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>
53. **Koeth R.A., Lam-Galvez B.R., Kirsop J., Wang Z., Levison B.S., Gu X., Copeland M.F., Bartlett D., Cody D.B., Dai H.J., Culley M.K., Li X.S., Fu X., Wu Y., Li L., DiDonato J.A., Tang W.H.W., Garcia-Garcia J.C., Hazen S.L.** l-Carnitine in omnivorous diets induces an atherogenic gut microbial pathway in humans. *J Clin Invest.* 2019 Jan 2;129(1):373–387. <https://doi.org/10.1172/JCI94601>
54. **Coutinho-Wolino K.S., de F Cardozo L.F.M., de Oliveira Leal V., Mafra D., Stockler-Pinto M.B.** Can diet modulate trimethylamine N-oxide (TMAO) production? What do we know so far? *Eur J Nutr.* 2021 Oct;60(7):3567–3584. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02491-6>.
55. **González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B., Ramírez-Goercke M.I., Pareja-Galeano H., Larrosa M.** Role of Oral and Gut Microbiota in Dietary Nitrate Metabolism and Its Impact on Sports Performance. *Nutrients.* 2020 Nov 24;12(12):3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
56. **Guillochon M., Rowlands D.S.** Solid, Gel, and Liquid Carbohydrate Format Effects on Gut Comfort and Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2017;27:247–254. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0211>
57. **O'Brien W.J., Rowlands D.S.** Fructose-maltodextrin ratio in a carbohydrate-electrolyte solution differentially affects exogenous carbohydrate oxidation rate, gut comfort, and performance. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2011;300:G181–G189. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00419.2010>
58. **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. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>
59. **Burke L.M.** Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:15–26. <https://doi.org/10.1159/000345814>

60. D'Angelo S. Polyphenols: Potential Beneficial Effects of These Phytochemicals in Athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Jul;19(7):260–265. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000729>.

61. Ozdal T., Sela D.A., Xiao J., Boyacioglu D., Chen F., Capanoglu E. The Reciprocal Interactions between Polyphenols and Gut Microbiota and Effects on Bioaccessibility. *Nutrients.* 2016;8:78. <https://doi.org/10.3390/nu8020078>

62. Ma G., Chen Y. Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *J. Funct. Foods.* 2020;66:103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>

63. Sorrenti V., Fortinguerra S., Caudullo G., Buriani A. Deciphering the Role of Polyphenols in Sports Performance: From Nutritional Genomics to the Gut Microbiota toward Phytonutritional Epigenomics. *Nutrients.* 2020 Apr 29;12(5):1265. <https://doi.org/10.3390/nu12051265>

64. Wang P., Sang S. Metabolism and pharmacokinetics of resveratrol and pterostilbene. *Biofactors.* 2018;44:16–25. <https://doi.org/10.1002/biof.1410>

65. Chaplin A., Carpené C., Mercader J. Resveratrol, Metabolic Syndrome, and Gut Microbiota. *Nutrients.* 2018 Nov 3;10(11):1651. <https://doi.org/10.3390/nu10111651>

66. Hu Y., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Yu B. The Bidirectional Interactions between Resveratrol and Gut Microbiota: An Insight into Oxidative Stress and Inflammatory Bowel Disease Therapy. *Biomed Res Int.* 2019 Apr 24;2019:5403761. <https://doi.org/10.1155/2019/5403761>

67. Close G.L., Hamilton D.L., Philp A., Burke L.M., Morton J.P. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic. Biol. Med.* 2016;98:144–158. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.01.016>

60. D'Angelo S. Polyphenols: Potential Beneficial Effects of These Phytochemicals in Athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Jul;19(7):260–265. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000729>.

61. Ozdal T., Sela D.A., Xiao J., Boyacioglu D., Chen F., Capanoglu E. The Reciprocal Interactions between Polyphenols and Gut Microbiota and Effects on Bioaccessibility. *Nutrients.* 2016;8:78. <https://doi.org/10.3390/nu8020078>

62. Ma G., Chen Y. Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *J. Funct. Foods.* 2020;66:103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>

63. Sorrenti V., Fortinguerra S., Caudullo G., Buriani A. Deciphering the Role of Polyphenols in Sports Performance: From Nutritional Genomics to the Gut Microbiota toward Phytonutritional Epigenomics. *Nutrients.* 2020 Apr 29;12(5):1265. <https://doi.org/10.3390/nu12051265>

64. Wang P., Sang S. Metabolism and pharmacokinetics of resveratrol and pterostilbene. *Biofactors.* 2018;44:16–25. <https://doi.org/10.1002/biof.1410>

65. Chaplin A., Carpené C., Mercader J. Resveratrol, Metabolic Syndrome, and Gut Microbiota. *Nutrients.* 2018 Nov 3;10(11):1651. <https://doi.org/10.3390/nu10111651>

66. Hu Y., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Yu B. The Bidirectional Interactions between Resveratrol and Gut Microbiota: An Insight into Oxidative Stress and Inflammatory Bowel Disease Therapy. *Biomed Res Int.* 2019 Apr 24;2019:5403761. <https://doi.org/10.1155/2019/5403761>

67. Close G.L., Hamilton D.L., Philp A., Burke L.M., Morton J.P. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic. Biol. Med.* 2016;98:144–158. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.01.016>

Информация об авторах:

Кобелькова Ирина Витальевна*, к.м.н., в.н.с. лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14; доцент Академии постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» ФМБА России, Россия, 125371, Москва, Волоколамское ш., 91. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1237-5147> (irinavit66@mail.ru)

Коростелева Маргарита Михайловна*, к.м.н., с.н.с. лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14; доцент кафедры управления сестринской деятельностью ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2279-648X> (korostel@bk.ru)

Information about the authors:

Irina V. Kobelkova*, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher of Sports Anthropology and Nutrition Laboratory, Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology Russia, 109240, Moscow, Ustinsky Ave., 2/14; Associate Professor of the Academy of Postgraduate Education of Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Russia, 125371, Moscow, Volokolamskoe highway, 91. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1237-5147> (irinavit66@mail.ru)

Margarita M. Korosteleva, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher of Sports Anthropology and Nutrition Laboratory, Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, Russia, 109240, Moscow, Ustinsky Ave., 2/14; Associate Professor of the Department of Management of Nursing Activities of Peoples' Friendship University of Russia, Russia, 117198, Moscow, Miklouho-Maklaya str., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2279-648X> (korostel@bk.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author