

DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-05-12

А.С. Самойлов¹, Н.В. Рылова^{1,2}, А.В. Жолинский², В.Ю. Лизунов¹**МИКРОБИОТА КИШЕЧНИКА И ЗДОРОВЬЕ СПОРТСМЕНОВ**¹ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва²Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Рылова Наталья Викторовна: rilovanv@mail.ru

Резюме

Цель: Обобщение современных данных мировой литературы о влиянии микробиоты кишечника на здоровье атлетов.

Материал и методы: Выполнен анализ данных отечественной и зарубежной литературы о влиянии микробиоты кишечника на здоровье спортсменов. Поиск проводился с использованием электронных баз данных MEDLINE, Embase, Scopus, Web of Science, eLIBRARY, PubMed и Google Академия за период с 2012 г. по 2024 г. Для поиска мы использовали ключевые слова и их сочетания: «спортсмены», «микробиота кишечника», «бутират».

Результаты: Микробиота – это ключевой фактор в поддержании гомеостаза организма человека. Она выполняет ряд значимых функций: энергетический обмен, созревание и поддержание иммунной системы, синтез витаминов, регуляция обратного всасывания в кишечнике желчных кислот и многое другое. Кроме того, бактерии продуцируют аналоги гормонов человека: серотонин, гистамин, дофамин, норадреналин, тестостерон.

В свете последних данных представляется, что модификация кишечной микробиоты может оказать благотворное влияние на организм человека, что приведет к улучшению спортивных результатов. Модуляция иммунного ответа, окислительного стресса, метаболических процессов и биодоступности питательных веществ считаются основными механизмами, с помощью которых микробиота влияет на тренировочную адаптацию. Микробиом оказывает воздействие на синтез мышечного белка, биогенез и функцию митохондрий, а также на накопление мышечного гликогена.

Заключение: На данный момент необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение взаимосвязи «микробиом-мышцы».

Ключевые слова: спортсмены, микробиота кишечника, бутират

Для цитирования: Самойлов А.С., Рылова Н.В., Жолинский А.В., Лизунов В.Ю. Микробиота кишечника и здоровье спортсменов // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2024. №4. С. 05–12. DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-05-12

DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-05-12

A.S. Samoylov¹, N.V. Rylova^{1,2}, A.V. Zholinskiy², V.U. Lizunov^{2,1}**Gut Microbiota and Athletes' Health**¹International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia²Federal scientific and clinical center for sports medicine and rehabilitation of the FMBA of Russia, Moscow

Contact person: Rylova Natal'ya Victorovna: rilovanv@mail.ru

Abstract

Purpose: A synthesis of world literature on actual knowledge of intestine microbiota influence on athletes' health.

Methods and materials: National and foreign literature on actual knowledge of intestine microbiota influence on athletes' health was analyzed. MEDLINE, Embase, Scopus, Web of Science, eLIBRARY, PubMed data Google Academy data bases were used for searching the literature for the period from 2012 to 2024. The following key words and their combinations were applied for search: "athletes", "gut microbiota", "butyrate".

Results: A microbiota is a key factor of human organism homeostasis maintenance. It provides next functions: energy metabolism, maturation and maintenance of immune system, synthesis of vitamins, regulation of bile acids reabsorption in intestine and lots of other functions. Furthermore, bacteria produce some human hormones analogues: serotonin, histamine, dopamine, norepinephrine, testosterone.

According to the recent information, intestine microbiota modification could provide a beneficial influence on human organism that cause a sport results improvement. Modulation of immune response, oxidative stress, metabolic processes and nutrients bioavailability is a general mechanism of microbiota influence on training adaptation. Microbiome affects the muscular protein synthesis, biogenesis and function of mitochondria and the muscular glycogen accumulation.

Conclusion: Currently there is a necessity of further investigations of "microbiome-muscles" relationship.

Keywords: athletes, intestinal microbiota, butyrate

For citation: Samoylov AS, Rylova NV, Zholinskiy AV, Lizunov VU. Gut Microbiota and Athletes' Health s A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2024.4:05-12. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-05-12

Не отсутствие микробов определяет здоровье, а их разнообразие и устойчивость

Введение

Микробиота – это ключевой фактор в поддержании гомеостаза организма человека. Она выполняет ряд значимых функций: энергетический обмен, созревание и поддержание иммунной системы, синтез витаминов, регуляция обратного всасывания в кишечнике желчных кислот и многое другое [1-3]. Кроме того, бактерии продуцируют аналоги гормонов человека: серотонин, гистамин, дофамин, норадреналин, тестостерон. Оказывая влияние на стенку кишечника, эти вещества, попадая в кровоток, воздействуют на наш мозг, формируя привычки, вкусовые пристрастия и даже поведение. Концепция оси «кишечник – головной мозг – кишечник» стала парадигмой. Некоторые авторы продлевают эту ось, добавляя в нее взаимодействие между микробиотой кишечника и иммунной системой: «кишечник – головной мозг – иммунная система – микробиота». Представлен анализ характеристик микробиоты с рисками развития метаболических, иммунопатологических и аллергических заболеваний. Важное условие устойчивости нормобиоты это микробные аутометаболиты. Микрофлора кишечника является своеобразным индикатором состояния макроорганизма, потенциалом здоровья [2,3].

Еще в 1907 году Илья Ильич Мечников (лауреат Нобелевской премии 1908 г.) установил, что многочисленные ассоциации микробов, населяющие кишечник человека, определяют его психическое и физическое здоровье. Он также доказал, что кожа и слизистые человека покрыты биопленкой, состоящей из сотен видов микробов. На современном этапе исследовательская заинтересованность микробиотой кишечника (МК) переживает необычайный подъем, что обусловлено появлением методов метагеномного анализа [4]. Современные молекулярногенетические исследования доказывают, что при многих заболеваниях имеет место дисбиоз. Установленные отклонения определяют развитие хронического вялотекущего воспаления, окислительного стресса, метаболических нарушений. Очевидно, что поддержание гомеостаза и нормального обмена веществ не представляется возможным без восстановления многообразия благотворных ассоциаций микробиоты кишечника.

Микробиота организма человека представляет собой фундамент для сохранения здоровья. Принимая во внимание ее значимость в регуляции физиологических функций организма человека, она рассматривается как часть генома человека. Определение «микробиом» обозначает совокупный геном микробов, обитающих в определенной среде. Микроорганизмы (главным образом бактерии) колонизируют все поверхности организма, которые находятся в контакте с внешней средой (в частности, кожу, полости рта и носа, мочеполовой и желудочно-кишечный тракты). Помимо этого, в некоторых органах, которые считались стерильными (включая легкие, молочные железы и плаценту),

было обнаружено наличие уникальных и динамических сообществ микроорганизмов. В наибольшей степени колонизирован кишечник (особенно толстая кишка). Живущие в кишечнике бактерии включают в себя как бактерии-комменсалы (резидентные бактерии), так и временно попавшие туда бактерии, которые сосуществуют в состоянии сложного симбиоза и равновесия. Толстый кишечник человека является «домом» для приблизительно 10^{14} бактериальных клеток (что в несколько раз превышает общее количество собственных клеток человеческого организма) и средой для разнородной, динамической экосистемы микроорганизмов, которая жизненно важна для функционирования кишечника. Этот сложный спектр микробов-комменсалов в кишечнике широко известен как «микробиота кишечника». Микроорганизмы кишечника преимущественно относятся к четырем большим типам: Bacteroidetes, Firmicutes (фирмикуты), Proteobacteria (протеобактерии) и Actinobacteria (актинобактерии). На состав микробиоты кишечника оказывает влияние сложный комплекс физиологических и культурных факторов, а также факторов окружающей среды [5;6]. На сегодняшний день роль МК пересматривается. Это обосновано большой суммарной биомассой клеток (1,5-2 кг), количеством генов в совокупном метагеноме МК (значительно превышает генетический материал человека) и важностью метаболической активности. Микробиота кишечника выполняет целый ряд различных функций, включая питательную, физиологическую, метаболическую и иммунную [7]: протекция кишечника от колонизации патобионтами; влияние на развитие иммунной системы кишечника и ее модуляция на протяжении всей жизни; участие в энергетическом обмене. Микробиота кишечника в целом задействована в процессе эффективного усвоения питательных веществ, в том числе таких, для самостоятельного переваривания которых пищеварительным трактом отсутствуют необходимые ферменты (например, крахмала и пищевой клетчатки).

Исследование микробиоты кишечника и ее симбиотических и патогенных взаимодействий с человеком – это одна из наиболее активно развивающихся и перспективных областей биомедицинской науки. Благодаря использованию метагеномных, метатранскриптомных, метапротеомных и метаболомных исследований, ученые вывели концепцию «сверхорганизма», согласно которой происходит тесное взаимодействие генов человека с микробиомом [8-11]. С каждым годом исследователи пополняют перечень доказанных и потенциальных функций представителей микрофлоры кишечника в организме человека. Ключевые метаболиты, продуцируемые микроорганизмами, не только поддерживают энергетический баланс человека, но и активно участвуют в регуляции экспрессии генов, нейротрансмиссии и иммуномодуляции [12]. В последние десятилетия ученые всего мира предпринимают попытки объяснить возникновение различных заболеваний человека через призму оси «микробиота– кишечник–мозг». Эта ось реализуется эндокринным, иммунным

и нейрогуморальным путями. Микробиота оказывает системное воздействие на организм человека посредством веществ, способных проникать через кишечный барьер, которые впоследствии изменяют секрецию гормонов пищеварительного тракта, а также передают определенные сигналы по нервным волокнам [13-14]. Установлено, что кишечная микробиота играет решающую роль в коммуникации кишечника с мозгом, генерируя некоторые нейроактивные молекулы. Например, было продемонстрировано, что штаммы рода *Lactobacillus* продуцируют γ -аминоасляную кислоту, важный ингибиторный транмиттер в головном мозге. Точно так же было показано, что другие виды бактерий способны к синтезу нордреналина (например, *Bacillus mycooides*, *Bacillus subtilis*), дофамина (например, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycooides*, *Bacillus subtilis*) и серотонина (например, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus thermophilus*) [15,16]. Очевидно, что кишечные бактерии обладают потенциалом изменять активность нейромедиаторов, взаимодействуя с нервной системой хозяина для регуляции психического здоровья, а следовательно, обмена веществ и физической работоспособности. Также обнаружилось большое количество бактерий, которые вырабатывают короткоцепочечные жирные кислоты (рис. 1). Некоторые из этих соединений способствуют здоровому развитию клеток кишечника, уменьшают воспаление и участвуют в производстве энергии для организма.

Кишечный микробиом может способствовать снижению окислительного стресса. Некоторые

штаммы бактерий обладают антиоксидантными свойствами благодаря различным механизмам. Они включают в себя экспрессию антиоксидантных ферментов, модуляцию воспаления, вызванного провоспалительными цитокинами или наличием патогенов, и регуляцию метаболизма посредством большей абсорбции антиоксидантов [17]. Martatelli et al. [18] провели исследование со спортсменами, показав, что добавки пробиотических видов *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus paracasei* повышают уровень антиоксидантов в плазме. Добавки пробиотиков также были связаны с более низким уровнем реактивных метаболитов в плазме и более высоким биологическим антиоксидантным потенциалом в плазме после недели интенсивных физических тренировок [17]. В целом, эти результаты подтверждают необходимость учитывать сбалансированность питания, адекватный режим физических упражнений и здоровый микробиом, чтобы будет способствовать более высокому запасу гликогена для повышения функции митохондрий и наращивания мышечной массы. С другой стороны, нерациональное питание и недостаточный или чрезмерный режим тренировок, а также дисфункциональный микробиом все это связано с повышенным воспалением, окислительным стрессом, снижением митохондриальной функции и потенциалом мышечной атрофии (рис. 2).

Физические упражнения хорошо известны своим влиянием на обмен веществ и иммунную систему, но влияние физических упражнений на микробиоту кишечника изучено значительно меньше. В Ханчжоу в период с апреля по май 2021 года было проведено

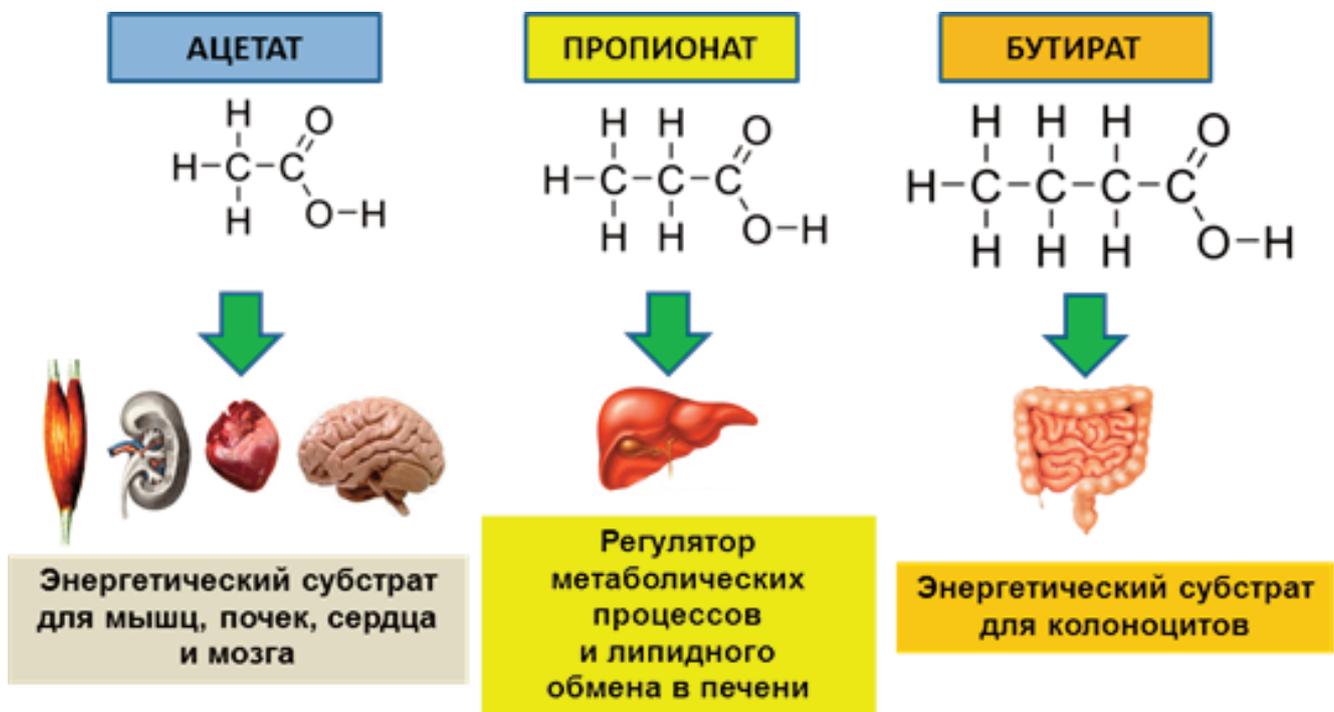


Рис. 1. Производные КЦЖК: ацетат (уксусной кислоты), пропионат (пропионовой), бутират (масляной)

(https://propionix.ru/thumb/2/LLe5Gqq-xdkehlGRPhltmQ/r/d/ацетат%2C_пропионат%2C_бутират.png)

Fig. 1. Derivatives of SCFA: acetate (acetic acid), propionate (propionic), butyrate (butyric)

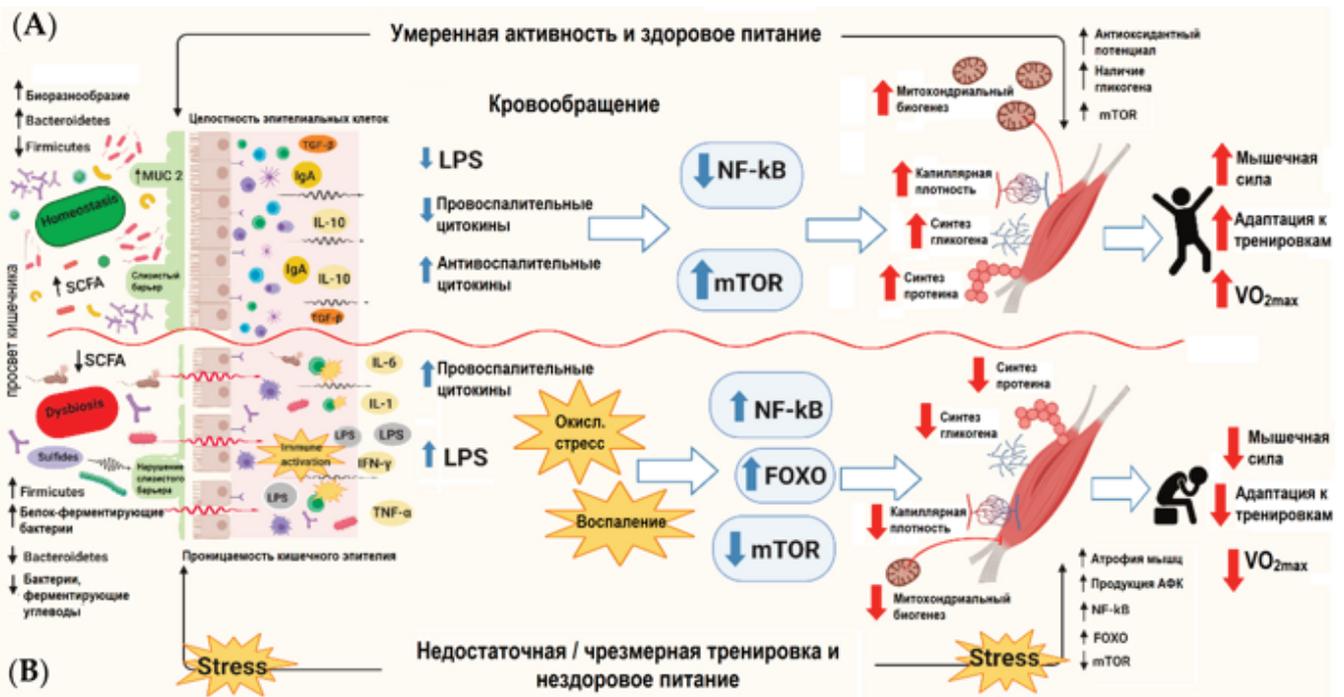


Рис. 2. Схема воздействия рационального/нерационального питания и физических упражнений/отсутствия физических нагрузок на скелетную мускулатуру человека (https://propionix.ru/thumb/2/QWQN703tz79pIrtDqIgWOw/r/d/principialnaya_shema_vozdejstviya_pitaniya_i_fizicheskikh_uprazhnenij_na_skeletnyuyu_muskulaturu_cheloveka.png)

Fig. 2. The scheme of the impact of rational/irrational nutrition and physical exercise/lack of physical activity on human skeletal muscles

исследование, в котором приняли участие в общей сложности 66 молодых людей из Китая. Разделение на группы было следующим: элитные спортсмены, физически активная группа и физически неактивная группа. Было показано, что физически неактивные молодые люди с большей вероятностью имеют более низкую иммунную функцию и более высокое количество провоспалительных кишечных бактерий, чем элитные спортсмены и физически активные молодые люди. При этом диетический статус следует рассматривать как важный фактор, который может повлиять на связь физической активности с иммунной функцией и микробиотой кишечника [19].

По сравнению с малоподвижными людьми, спортсмены и физически активные люди, по-видимому, имеют большее микробное разнообразие и больше родов микробов, связанных со здоровьем, таких как *Akkermansia*, *Veillonella* и *Prevotella* [20-22]. Однако результаты этих наблюдательных исследований могут только подтвердить связь между статусом тренировки и популяциями микробиоты, не определяя причинно-следственную связь. Помимо характера физической активности, малоподвижные люди часто отличаются от физически активных людей по характеру питания [23], а диета оказывает сильное влияние на состав микробиоты кишечника [24].

Связь между физическими упражнениями и составом микробиоты кишечника, по-видимому, двусторонняя. Исследования физических упражнений на людях показали, что регулярная физическая

активность модулирует микробный состав кишечника [25]. Состав и метаболическая активность кишечной микробиоты могут способствовать перевариванию пищевых соединений и улучшению сбора энергии во время тренировок, что может обеспечить метаболические преимущества для спортсмена во время высокоинтенсивных упражнений и восстановления. Некоторые исследования показали, что метаболизм аминокислот и углеводов, увеличиваются в микробиоме спортсменов по сравнению с таковыми у малоподвижных людей [19,20].

В кишечнике бактерии ферментируют неперевариваемые углеводы, в первую очередь в ацетат, пропионат и бутират (SCFAs). Тренировки и регулярные физические упражнения были связаны с увеличением содержания SCFAs [21], а определенные SCFAs были связаны с улучшением физической работоспособности в исследованиях на животных [20]. Бутират используется в основном эпителиальными клетками толстой кишки в качестве источника энергии. Ацетат метаболизируется в мышечной ткани, но может также проникать через гематоэнцефалический барьер. Пропионат можно использовать в качестве предшественника синтеза глюкозы в печени. Кроме того, SCFAs улучшают целостность кишечного барьера, снижая риск местного и системного воспаления. Доклинические исследования убедительно показали, что SCFAs могут представлять собой ключевые модуляторы физической работоспособности.

Недавнее исследование показало, что лактат, вырабатываемый скелетными мышцами хозяина во время анаэробных упражнений, попадает в просвет кишечника через кровообращение, обеспечивая селективное преимущество для видов, использующих лактат, которые обитают в толстой кишке [20]. Результаты этой плодотворной работы показывают, что во время высокоинтенсивных упражнений хозяин обеспечивает топливо в виде лактата для определенных бактерий, которые, в свою очередь, производят метаболиты, такие как пропионат, которые приносят пользу тренирующемуся хозяину.

Накопленные клинические данные позволяют предположить, что физические упражнения изменяют микробиоту кишечника и что состав микробиоты кишечника у спортсменов отличается от состава у людей, ведущих малоподвижный образ жизни, причем у спортсменов имеются микробные популяции, которые обогащены видами, способствующими здоровью, и имеют большее разнообразие. Диета и определенные пищевые компоненты, такие как пищевые волокна, были идентифицированы как основные факторы, влияющие на состав микробиоты кишечника [26]. Исследование с участием ирландских профессиональных игроков в регби мужского пола показало более высокое разнообразие кишечной микробиоты спортсменов по сравнению с таковой в контрольной группе, ведущей малоподвижный образ жизни [27]. Разнообразие кишечной микробиоты положительно коррелирует с потреблением белка и уровнями креатинкиназы (КК) в плазме, биомаркера повреждения мышц, вызванного физической нагрузкой. Более высокая доля бактерий рода *Akkermansia* была обнаружена у игроков в регби и контрольной группы с низким индексом массы тела (ИМТ) по сравнению с долей в контрольной группе с высоким ИМТ. Бактероиды были значительно менее распространены у спортсменов, чем у контрольной группы с низким ИМТ.

Различия между игроками в регби и контрольной группой, ведущими малоподвижный образ жизни, также были обнаружены в уровне микробного метаболизма: у спортсменов была обнаружена повышенная активность путей метаболизма аминокислот и углеводов [30]. Кроме того, у игроков в регби были обнаружены более высокие уровни SCFA (ацетата, пропионата и бутирата) по сравнению с теми, кто вел малоподвижный образ жизни.

Кларк и др. [27], Петерсен и др. [28] сообщили о более низких уровнях *Bacteroides* spp. у конкурентоспособных велосипедистов. Велосипедисты, которые тренировались >11 часов в неделю, имели более высокую относительную численность видов *Prevotella* чем те, кто тренировался реже. Кроме того, метатранскриптомный анализ показал, что транскрипты *Prevotella* положительно коррелируют с путями метаболизма аминокислот с разветвленной цепью (BCAA) в микробиоме. BCAA, особенно лейцин, являются незаменимыми аминокислотами, которые способствуют синтезу мышечного белка и могут ускорить восстановление после тре-

нировки. Тем не менее, авторы признали отсутствие диетического контроля и отсутствие контрольной группы в исследовании.

Шейман и др. [20] продемонстрировали, что относительная численность *Veillonella* spp. среди марафонцев было значительно выше после марафона по сравнению с количеством бактерий до тренировки. Кроме того, та же исследовательская группа провела метагеномный анализ с использованием образцов ультрамарафонцев и гребцов олимпийского уровня, который выявил обогащение генов, связанных с метаболизмом лактата и пропионата, после тренировки по сравнению с образцами до тренировки.

Проведены также наблюдения в сравнении с высокоинтенсивными тренировками, которые практикуют профессиональные спортсмены и у людей ведущий активный образ жизни. Упражнения выполнялись на рекомендуемом минимальном уровне, основанном на рекомендациях Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о 150 минутах упражнений средней интенсивности каждую неделю. У женщин в пременопаузе, которые практиковали постоянные физические упражнения в низкой дозе, наблюдалось увеличение численности *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* и *Roseburia hominis* по сравнению с женщинами, ведущими малоподвижный образ жизни [29]. Все эти виды бактерий обладают оздоровительным и противовоспалительным действием. Более того, *Faecalibacterium* spp. и *Roseburia* spp. являются одними из наиболее распространенных производителей бутиратов в кишечнике человека.

Однако некоторые особенности состава микробиоты у спортсменов и физически активных людей можно объяснить диетой, а не эффектами физических упражнений. Спортсмены часто соблюдают строгие диеты, которые поддерживают тренировки и производительность, а экстремальные физические нагрузки часто связаны с экстремальными диетами. Различия в потреблении пищи между исследуемыми популяциями могут объяснить некоторые несоответствия, наблюдаемые в результатах различных исследований. В клиническом исследовании, проведенном в Корее, общее потребление белка обратно коррелировало с микробным разнообразием [30], тогда как высокое потребление белка было связано с увеличением микробного разнообразия среди ирландских профессиональных игроков в регби [27]. Корейские спортсмены не соблюдали диетические рекомендации по потреблению пищевых волокон (рекомендация ≥ 25 г/день; среднее потребление у бодибилдеров 19 г/день, у спортсменов, занимающихся выносливостью, 17 г/день), тогда как у ирландских регбистов показатели потребления клетчатки были на рекомендуемом уровне (среднее потребление 39 г/день). Непереваренные пищевые волокна являются важным источником энергии и углерода для микробиоты кишечника, выступая в качестве субстрата для синтеза SCFA и внося ключевой вклад в микробное разнообразие. Диета с высоким содержанием белка

в сочетании с диетой с низким содержанием пищевых волокон может быть вредной для состава микробиоты кишечника [31].

Можно сказать, что упражнения и тренировки связаны с изменениями в составе микробиоты кишечника, включая увеличение микробного разнообразия и увеличение численности полезных для здоровья видов микробов. Хотя в нескольких исследованиях изучались небольшие популяции, которым, вероятно, не хватает достаточной статистической мощности, интригует тот факт, что они обычно идентифицируют такие роды, как *Akkermansia* [27] и *Prevotella* [27,28], с более высокой численностью среди спортсменов и физически активных людей. Однако, поскольку количество клинических исследований остается ограниченным, с очень разными демографическими группами участников и рационом питания (в частности, потреблением пищевых волокон), выводы следует делать осторожно. Наблюдательные исследования, в которых сравнивались тренированные спортсмены и физически активные люди с малоподвижными людьми, показали долгосрочное влияние физических упражнений на состав микробиоты кишечника, при этом диета играет важную роль.

Лечение антибиотиками радикально меняет состав микробиоты кишечника. Нет и др. [32] продемонстрировали, что истощение микробиоты кишечника после лечения антибиотиками широкого спектра действия уменьшало время бега мышей на выносливость, а выносливость нормализовалась после восстановления микробиоты. Изменения выносливости не были связаны с изменениями мышечной массы, типологии мышечных волокон или функции митохондрий, но были связаны с изменениями уровня мышечного гликогена, который восстанавливался после повторного посева. Окамото и др. [33] сообщили об аналогичных результатах, согласно которым время работы на беговой дорожке было короче у мышей, получавших несколько антибиотиков, по сравнению с таковым у контрольной группы, не получавшей лечения. Окамото и др. [33] также исследовали влияние производства SCFA и его роль на физическую работоспособность, кормя мышей клетчаткой с различной доступностью субстрата для микробного производства SCFA в кишечнике. Мыши, получавшие мало ферментируемых волокон, показали значительно более короткое время бега по сравнению с мышами, которых кормили высокоферментируемыми волокнами, что позволяет предположить, что микробиота и ее субстраты связаны с физической работоспособностью. Животные, свободные от микробов, конечно, представляют собой крайнюю модель и не могут объяснить более тонкие различия, наблюдаемые в микробиоте человека. Тем не менее, исследования на моделях животных, свободных от микробов, установили причинно-следственную связь между микробиотой кишечника и физической работоспособностью.

Использование пищевых эргогенных добавок популярно среди спортсменов и людей, ведущих активный отдых, всех возрастных групп; однако до-

казательства, подтверждающие эффективность многих добавок, очень ограничены или отсутствуют. Добавки, повышающие работоспособность, с хорошими или убедительными доказательствами были определены Международным олимпийским комитетом и включают в себя следующее: кофеин, креатин, нитрат, бикарбонат натрия и бета-аланин [34]. Даже если они связаны с лишь незначительным улучшением производительности, безопасные, проверенные, эргогенные пищевые добавки могут обеспечить спортсмену конкурентные преимущества. Было продемонстрировано, что добавки с пробиотиками благотворно изменяют и поддерживают состав микробиоты кишечника [35-37]. Пробиотики включают множество видов бактерий, причем наиболее изученные пробиотики принадлежат к родам *Lactobacillus* (и связанным с ними родам) или *Bifidobacterium*. Связь между пробиотиками и физической работоспособностью, а также возможные механизмы, лежащие в основе этих действий, были рассмотрены в исследованиях на животных, которые показали, что добавки с пробиотиками защищают от нежелательных физиологических изменений, которые могут быть вызваны напряженными физическими упражнениями.

На сегодняшний день эффекты добавок с пробиотиками изучались у различных спортсменов и физически активных групп населения с использованием различных штаммов пробиотиков. Поскольку количество клинических исследований связи между пробиотиками и физической работоспособностью остается очень небольшим, причем каждое исследование обычно включает небольшое количество участников и использует различные протоколы упражнений, выводы следует делать осторожно. Исследования, изучавшие влияние пробиотиков на биохимические и иммунные маркеры в период восстановления после тренировки, показали несколько противоречивые результаты из-за больших различий в дизайне исследований, протоколах тренировок, аналитических методах, спортивных популяциях и исследуемых пробиотических штаммах. Таким образом, нельзя сделать выводы относительно способности пробиотиков улучшать восстановление и ослаблять физиологические реакции, вызванные физической нагрузкой, которые частично необходимы для адаптации к тренировкам и повышения производительности. Кроме того, необходимо более четко установить взаимосвязь между процессами физиологического восстановления и улучшением работоспособности, прежде чем можно будет сделать дальнейшие выводы относительно эргогенного потенциала пробиотиков.

Микробное сообщество кишечника и его потенциальная польза для здоровья во многом зависят от индивидуального жизненного выбора, включая режим питания и уровень активности. Пробиотики известны своим потенциалом уменьшать симптомы заболеваний желудочно-кишечного тракта, а также эпизоды инфекций и, таким образом, могут принести пользу спортсмену. Кроме того, пробиотики могут поддерживать спортивные результаты за счет улучшения

адаптации к тренировкам, ослабления физиологических реакций в периоды восстановления после тренировок и улучшения настроения и психических реакций после интенсивных упражнений. Следовательно, пробиотики можно рассматривать как косвенные эргогенные средства; однако причинное влияние косвенного воздействия на работоспособность еще предстоит установить в качественных, долгосрочных исследованиях адекватного размера, в которых учитывается диета, а также тренировочные и соревновательные сезоны спортсменов. Функции пробиотиков по повышению работоспособности требуют дополнительных исследований, нацеленных на механизм действия, лежащий в основе их потенциальных преимуществ [38].

Заключение

Микробиота – это ключевой фактор в поддержании гомеостаза организма человека. Она выпол-

няет ряд значимых функций: энергетический обмен, созревание и поддержание иммунной системы, синтез витаминов, регуляция обратного всасывания в кишечнике желчных кислот и многое другое. Кроме того, бактерии продуцируют аналоги гормонов человека: серотонин, гистамин, дофамин, норадреналин, тестостерон.

В свете последних данных представляется, что модификация кишечной микробиоты может оказать благотворное влияние на организм человека, что приведет к улучшению спортивных результатов. Модуляция иммунного ответа, окислительного стресса, метаболических процессов и биодоступности питательных веществ считаются основными механизмами, с помощью которых микробиота влияет на тренировочную адаптацию. Микробиом оказывает воздействие на синтез мышечного белка, биогенез и функцию митохондрий, а также на накопление мышечного гликогена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Зиганшина А.А., Рылова Н.В. Баланс микробиоты кишечника ребенка – ключ к сохранению здоровья // Педиатрия. 2019. Т. 98. №6. С. 134–139. [Ziganshina A.A., Rylova N.V. Balancing a Child's Gut Microbiota is Key to Maintaining Health. *Pediatriya* = *Pediatrics*. 2019;98;6:134-139 (In Russ.).]
2. Рылова Н.В., Жолинский А.В. Становление микробиоты кишечника и когнитивное развитие // Практическая медицина. 2020. Т.18. №3. С. 21–25 [Rylova N.V., Zholinsky A.V. Formation of Intestinal Microbiota and Cognitive Development. *Prakticheskaya Meditsina* = *Practical Medicine*. 2020;18;3:21-25 (In Russ.). DOI: 10.32000/2072-1757-2020-3-21-25]
3. Рылова Н.В., Жолинский А.В., Самойлов А.С. Роль микробиоты кишечника в поддержании гомеостаза организма // Современные проблемы науки и образования. 2019. №6. С.204. [Rylova N.V., Zholinsky A.V., Samoylov A.S. The Role of Intestinal Microbiota in Maintaining Body Homeostasis. *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya* = *Modern Problems of Science and Education*. 2019;6:204 (In Russ.).]
4. Харитонов Л.А., Григорьев К.И., Борзакова С.Н. Микробиота человека: как новая научная парадигма меняет медицинскую практику // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019. №1. С. 55–63 [Kharitonova L.A., Grigoriev K.I., Borzakova S.N. Human Microbiota: How a New Scientific Paradigm is Changing Medical Practice. *Ekspierimental'naya i Klinicheskaya Gastroenterologiya* = *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2019;1:55-63 (In Russ.). DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-161-1-55-63.
5. Sekelja M., Berget I., Næs T., Rudi K. Unveiling an Abundant Core Microbiota in the Human Adult Colon by a Phylogroup-Independent Searching Approach. *The ISME Journal*. 2010;5:519-31. DOI: 10.1038/ismej.2010.129.
6. Yatsunenko T., Rey F.E., Manary M.J. Human Gut Microbiome Viewed Across Age and Geography. *Nature*. 2012;486;9:222–227. DOI: 10.1038/nature11053.
7. Haiser H.J., Turnbaugh P.J. Developing a Metagenomic View of Xenobiotic Metabolism. *Pharmacological Research*. 2013;69;1:21-31. DOI: 10.1016/j.phrs.2012.07.009.
8. Равин Н.В., Шестаков С.В. Геном прокариот // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т.17. №4/2. С.972–984 [Ravin N.V., Shestakov S.V. Prokaryotic Genome. *Vavilovskiy Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Selection*. 2013;17;4/2:972-984 (In Russ.).]
9. Wang WL, Xu SY, Ren ZG, Tao L, Jiang JW, Zheng SS. Application of Metagenomics in the Human Gut Microbiome. *World J. Gastroenterol*. 2015;21;3:803–814.
10. Xiong W, Abraham PE, Li Z, Pan C, Hettich RL. Microbial Metaproteomics for Characterizing the Range of Metabolic Functions and Activities of Human Gut Microbiota. *Proteomics*. 2015;15;20:3424–3438. doi: 10.1002/pmic.201400571.
11. Белобородова Н.В. Интеграция метаболизма человека и его микробиома при критических состояниях // Общая реаниматология. 2012. Т. 8. №4. Р. 42–54 [Beloborodova N.V. Integration of Human Metabolism and its Microbiome in Critical Illness. *Obshchaya Reanimatologiya* = *General Resuscitation*. 2012;8;4:42-54 (In Russ.).]
12. Tremaroli V, Bäckhed F. Functional Interactions Between the Gut Microbiota and Host Metabolism. *Nature*. 2012;489;7415:242–249. doi: 10.1038/nature11552.
13. Kennedy P.J, Cryan J.F, Dinan T.G, Clarke G. Irritable Bowel Syndrome: a Microbiome-Gut-Brain Axis Disorder. *World J. Gastroenterol*. 2014;20;39:14105–14125.
14. Schroeder BO, Backhed F. Signals from the Gut Microbiota to Distant Organs in Physiology and Disease. *Nat. Med*. 2016;22;10:1079–1089. doi: 10.1038/nm.4185.
15. Clarke G., Stilling R.M., Kennedy P.J., Stanton C., Cryan J.F., Dinan T.G. Minireview: Gut Microbiota: the Neglected Endocrine Organ. *Mol. Endocrinol*. 2014;28:1221–1238.
16. Clark A., Mach N. Exercise-Induced Stress Behavior, Gutmicrobiota-Brain Axis and Diet: a Systematic Review for Athletes. *J. Int. Soc. Sports Nutr*. 2016;13:43.
17. Schoenfeld B.J. Does Exercise-Induced Muscle Damage Play a Role in Skeletal Muscle Hypertrophy. *J. Strength Cond. Res*. 2012;26:1441–1453.
18. Martarelli D., Verdenelli M.C., Scuri S., Cocchioni M., Silvi S., Cecchini C. Effect of a Probiotic Intake on Oxidant and Antioxidant Parameters in Plasma of Athletes during Intense Exercise Training. *Curr. Microbiol*. 2011;62:1689–1696.
19. Xu Y, Zhong F, Zheng X., Lai H-Y., Wu C. and Huang C. Disparity of Gut Microbiota Composition Among Elite Athletes and Young Adults with Different Physical Activity Independent of Dietary Status: a Matching Study. *Front. Nutr*. 2022;9:843076. doi: 10.3389/fnut.2022.843076.
20. Scheiman J., Luber J.M., Chavkin T.A., MacDonald T., Tung A., Pham L.-D., Wibowo M.C., Wurth R.C., Punthambaker S., Tierney B.T., et al. Meta-Omics Analysis of Elite Athletes Identifies a Performance-Enhancing Microbe that Functions Via Lactate Metabolism. *Nat. Med*. 2019;25:1104–1109.
21. Clarke S.F., Murphy E.F., O'Sullivan O., Lucey A.J., Humphreys M., Hogan A., Hayes P., O'Reilly M., Jeffery I.B., Wood-Martin R., et al. Exercise and Associated Dietary Extremes Impact on Gut Microbial Diversity. *Gut*. 2014;63:1913–1920.
22. Petersen L.M., Bautista E.J., Nguyen H., Hanson B.M., Chen L., Lek S.H., Sodergren E., Weinstock G.M. Community Characteristics of the Gut Microbiomes of Competitive Cyclists. *Microbiome*. 2017;5:98.
23. Charreire, H., Kesse-Guyot E., Bertrais S., Simon C., Chaix B., Weber C., Touvier M., Galan P., Hercberg S., Oppert J.-M.J.B.J.o.N. Associations Between Dietary Patterns, Physical Activity (Leisure-Time and Occupational) and Television Viewing in Middle-Aged French Adults. *Brit. J. Nutr*. 2011;105:902–910.
24. Sheflin A.M., Melby C.L., Carbonero F., Weir T.L. Linking Dietary

- Patterns with gut Microbial Composition and Function. *Gut Microbes*. 2017;8:113–129.
25. Munukka E., Ahtiainen J.P., Puigbo P., Jalkanen S., Pahkala K., Keski-talo A., Kujala U.M., Pietila S., Hollmen M., Elo L., et al. Six-Week Endurance Exercise Alters Gut Metagenome that Is not Reflected in Systemic Metabolism in Over-weight Women. *Front. Microbiol*. 2018;9:2323.
26. Sheflin A.M., Melby C.L., Carbonero F., Weir T.L. Linking Dietary Patterns with Gut Microbial Composition and Function. *Gut Microbes*. 2017;8:113–129.
27. Clarke S.F., Murphy E.F., O’Sullivan O., Lucey A.J., Humphreys M., Hogan A., Hayes P., O’Reilly M., Jeffery I.B., Wood-Martin R., et al. Exercise and Associated Dietary Extremes Impact on Gut Microbial Diversity. *Gut*. 2014;63:1913–1920.
28. Petersen L.M., Bautista E.J., Nguyen H., Hanson B.M., Chen L., Lek S.H., Sodergren E., Weinstock G.M. Community Characteristics of the Gut Microbiomes of Competitive Cyclists. *Microbiome*. 2017;5:98.
29. Bressa C., Bailén-Andrino M., Pérez-Santiago J., González-Soltero R., Pérez M., Montalvo-Lominchar M.G., Maté-Muñoz J.L., Domínguez R., Moreno D., Larrosa M. Differences in Gut Microbiota Profile between Women with Active Lifestyle and Sedentary Women. *PLoS ONE*. 2017;12:e0171352.
30. Jang L.G., Choi G., Kim S.W., Kim B.Y., 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;16:21.
31. Russell W.R., Gratz S.W., Duncan S.H., Holtrop G., Ince J., Scobbie L., Duncan G., Johnstone A.M., Lobley G.E., Wallace R.J., et al. High-Protein, Reduced-Carbohydrate Weight-Loss Diets Promote Metabolite Profiles Likely to be Detrimental to Colonic Health. *Am. J. Clin. Nutr*. 2011;93:1062–1072.
32. Nay K., Jollet M., Goustard B., Baati N., Vernus B., Pontones M., Lefeuvre-Orfila L., Bendavid C., Rué O., Mariadassou M. Gut Bacteria are Critical for Optimal Muscle Function: A Potential Link with Glucose Homeostasis. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab*. 2019;317:E158–E171.
33. Okamoto T., Morino K., Ugi S., Nakagawa F., Lemecha M., Ida S., Ohashi N., Sato D., Fujita Y., Maegawa H. Microbiome Potentiates Endurance Exercise through intestinal Acetate Production. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab*. 2019;316:E956–E966.
34. 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. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab*. 2018;28:104–125.
35. Sánchez B., Delgado S., Blanco-Míguez A., Lourenço A., Gueimonde M., Margolles A. Probiotics, Gut Microbiota, and their Influence on Host Health and Disease. *Mol. Nutr. Food Res*. 2017;61:1600240.
36. Korpela K., Salonen A., Vepsäläinen O., Suomalainen M., Kolmeder C., Varjosalo M., Miettinen S., Kukkonen K., Savilahti E., Kuitunen M. Probiotic Supplementation Restores Normal Microbiota Composition and Function in Antibiotic-Treated and in Caesarean-Born Infants. *Microbiome* 2018;6:1–11.
37. Hibberd A., Yde C., Ziegler M., Honoré A.H., Saarinen M.T., Lahtinen S., Stah B., Jensen H., Stenman L. Probiotic or Synbiotic Alters the Gut Microbiota and Metabolism in a Randomised Controlled Trial of Weight Management in Overweight Adults. *Benef. Microbes*. 2019;10:121-135.
38. Marttinen M., Ala-Jaakkola R., Laitila A., Lehtinen M.J. Gut Microbiota, Probiotics and Physical Performance in Athletes and Physically Active Individuals. *Nutrients*. 2020;Sep 25;12;10:2936. doi: 10.3390/nu12102936. PMID: 32992765; PMCID: PMC7599951

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 13.05.2024. Принята к публикации: 11.06.2024.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 13.05.2024. Accepted for publication: 11.06.2024