

Для корреспонденции

Брагина Таисья Владимировна – аспирант кафедры гигиены питания и токсикологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)
 Адрес: 119991, Российская Федерация, г. Москва,
 ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2
 Телефон: (977) 848-85-39
 E-mail: dr.taisya@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7475-134X>

Брагина Т.В.¹, Шевелева С.А.², Елизарова Е.В.¹, Рыкова С.М.¹, Тутельян В.А.^{1,2}

Структура маркеров микробиоты кишечника в крови у спортсменов и их взаимосвязь с рационом питания

The structure of blood gut microbiota markers in athletes and their relationship with the diet

Bragina T.V.¹, Sheveleva S.A.², Elizarova E.V.¹, Rykova S.M.¹, Tutelyan V.A.^{1,2}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 119991, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, г. Москва, Российская Федерация

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russian Federation

² Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

Известно, что в условиях сверхвысоких физических нагрузок и специфического рациона питания состояние микробиоты играет значимую роль в поддержании здоровья, метаболического и энергетического статуса спортсменов.

Цель исследования – оценить состав микробных маркеров крови у профессиональных футболистов и физически активных людей и их корреляцию с рационами питания для обоснования рекомендаций по их оптимизации.

Материал и методы. В поперечном исследовании использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии для анализа микробных маркеров популяций микробиома, микобиома, вирома и метаболома крови для группы футболистов ($n=24$, возраст – 28 ± 3 года, индекс массы тела – $22,5 \pm 1,0$ кг/м²), получавших рацион согласно режиму тренировок, и группы сравнения из физически актив-

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Тутельян В.А., Брагина Т.В.; сбор данных – Брагина Т.В.; статистическая обработка данных – Брагина Т.В.; написание текста – Шевелева С.А., Брагина Т.В.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Брагина Т.В., Шевелева С.А., Елизарова Е.В., Рыкова С.М., Тутельян В.А. Структура маркеров микробиоты кишечника в крови у спортсменов и их взаимосвязь с рационом питания // Вопросы питания. 2022. Т. 91, № 4. С. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-35-46>

Статья поступила в редакцию 16.05.2022. **Принята в печать** 01.07.2022.

Funding. The study was not sponsored.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Contribution. The concept and design of the study – Tutelyan V.A., Bragina T.V.; data collection – Bragina T.V.; statistical data processing – Bragina T.V.; writing the text – Sheveleva S.A., Bragina T.V.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Bragina T.V., Sheveleva S.A., Elizarova E.V., Rykova S.M., Tutelyan V.A. The structure of blood gut microbiota markers in athletes and their relationship with the diet. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2022; 91 (4): 35–46. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-35-46> (in Russian)

Received 16.05.2022. **Accepted** 01.07.2022.

ных лиц ($n=25$, возраст – 34 ± 5 лет, индекс массы тела – $21,8\pm 2,8$ кг/м²). Данные о фактическом рационе питания собраны с помощью дневников питания в течение 3 дней с последующей обработкой данных компьютерной программой для диетологов Nutrium 2.13.0. Для анализа рассчитывали индивидуальные суточные потребности в энергии и макронутриентах на основании величины основного обмена (по формуле Миффлина–Сан Жеора с учетом антропометрических данных), коэффициента физической активности (соответственно, IV и II группа).

Результаты. Анализ рациона спортсменов, сопоставленный с индивидуальными потребностями и рекомендациями Международного сообщества спортивного питания (ISSN), выявил недостаток сложных углеводов (5 ± 1 вместо $6,1\pm 0,3$ г/кг массы тела в сутки), избыток сахара (23 ± 4 вместо $<10\%$ от калорийности рациона). Эти показатели значимо выше, чем потребление аналогичных нутриентов у физически активных людей в группе сравнения. У футболистов по сравнению с группой физически активных людей обнаружены значимые изменения микробных маркеров для *Alcaligenes* spp., *Clostridium ramosum*, *Coryneform CDC-group XX*, *Staphylococcus epidermidis* ($p<0,001$), известные своей провоспалительной активностью в кишечнике, а также *Lactobacillus* spp. ($p<0,001$), выполняющие защитную функцию. Кроме того, у них возросли маркеры микобиома: *Candida* spp. ($p<0,001$), *Aspergillus* spp. ($p<0,001$), среди которых присутствуют потенциальные возбудители микозов, что не наблюдалось в группе сравнения. При этом повышение микробных маркеров *Alcaligenes* spp., *Coryneform CDC-group XX*, *Lactobacillus* spp., *Streptomyces* spp., *Candida* spp., *Micromycetes* spp., содержащих в клеточной стенке кампестерол, у футболистов положительно коррелировало с высокой калорийностью рациона ($p<0,001$). Аналогичная корреляция маркеров микобиома (*Micromycetes* spp., содержащих в клеточной стенке ситостерол, $\rho=0,346$, $p=0,015$) наблюдалась с избытком легкоусвояемых углеводов. С учетом полученных данных предложена коррекция рациона питания: доведение потребления углеводов до $7,3\text{--}7,5$ г/кг массы тела в сутки за счет включения в рацион хлебобулочных изделий из цельнозерновой муки и каш (до $300\text{--}370$ г/сут), ограничение простых сахаров (до $90\text{--}95$ г/сут).

Заключение. Высокие физические нагрузки приводят к изменениям структуры микробных маркеров в крови, в том числе к сдвигу в сторону повышения потенциально патогенных грибов. При этом предиктивную роль играет дисбаланс макронутриентов по количественному и качественному составу, избыток простых сахаров, недостаток медленно усвояемых углеводов. Для коррекции рациона предложено дополнительное включение в рацион их основных источников – продуктов из зерновых (каш и хлебобулочных изделий).

Ключевые слова: спортсмены; физическая активность; кишечная микробиота; микробиота; ГХ-МС; микробные маркеры

It is known that under conditions of ultra-high physical activity and a specific diet, the state of the microbiota plays a significant role in maintaining the health, metabolic and energy status of athletes.

The purpose of the study was to evaluate the composition of blood microbial markers in professional football players and physically active people and their correlation with diets in order to substantiate recommendations for their optimization.

Material and methods. In a cross-sectional study a group of football players ($n=24$, 28 ± 3 years old, body mass index – $22,5\pm 1,0$ kg/m²) who received a diet according to the training regimen, and a comparison group of physically active individuals ($n=25$, 34 ± 5 years old, body mass index – $21,8\pm 2,8$ kg/m²) have been examined. The method of gas chromatography-mass spectrometry was used to analyze microbial markers of microbiome, mycobiome, virome and blood metabolome populations. Data on actual dietary intake were collected using food diaries for 3 days, followed by data processing with the Nutrium 2.13.0 nutritional computer program. For analysis, individual daily requirements for energy and macronutrients have been calculated based on the basal metabolic rate (according to the Mifflin–San Geor formula, taking into account anthropometric data), the coefficient of physical activity (groups IV and II, respectively).

Results. The analysis of the athletes' diet, compared with individual requirements and with the recommendations of the International Society for Sports Nutrition (ISSN), revealed a lack of complex carbohydrates (5 ± 1 instead of $6,1\pm 0,3$ g/kg body weight day), an excess of sugars (23 ± 4 instead of $<10\%$ of kcal). These figures are significantly higher than the intake of similar nutrients in physically active people in the comparison group. In football players, compared with the comparison group, significant changes in microbial markers were found for *Alcaligenes* spp., *Clostridium ramosum*, *Coryneform CDC-group XX*, *Staphylococcus epidermidis* ($p<0,001$), known for their pro-inflammatory activity in the intestine, as well as for *Lactobacillus* spp. ($p<0,001$) performing a protective function. In addition, mycobiome markers were increased in athletes: *Candida* spp. ($p<0,001$), *Aspergillus* spp. ($p<0,001$), among which there are potential pathogens of mycoses. This was not observed in the comparison group. At the same time, an increase in the microbial markers of *Alcaligenes* spp., *Coryneform CDC-group XX*, *Lactobacillus* spp., *Streptomyces* spp., *Candida* spp., *Micromycetes* spp., containing campesterol in the cell wall, in football players positively correlated with a high calorie diet ($p<0,001$). A similar correlation of mycobiome markers (*Micromycetes* spp., containing sitosterol in the cell wall, $\rho=0,346$, $p=0,015$) was observed with an excess of easily digestible carbohydrates. Taking into account the data obtained, a correction of the diet have been proposed: increasing the consumption of carbohydrates to $7,3\text{--}7,5$ g/kg of body weight/day by including bakery products from whole grain flour and cereals in the diet (up to $300\text{--}370$ g/day), limiting simple sugars (up to $90\text{--}95$ g/day).

Conclusion. High physical activity leads to changes in the structure of blood microbial markers, including a shift towards an increase in potentially pathogenic fungi. Wherein, a predictive role is played by an imbalance of macronutrients in terms of quantitative and qualitative composition, an excess of simple sugars, and a lack of slowly digestible carbohydrates. To correct the diet, an additional inclusion in the diet of their main sources – products from cereals (cereals and bakery products) is proposed.

Keywords: athletes; physical activity; intestinal microbiota; microbiota; GC-MS; microbial markers

Высокие и продолжительные физические нагрузки у профессиональных спортсменов могут повышать риск функциональных расстройств физиологической деятельности других органов и систем. Так, компенса-

торное снижение кровотока в кишечнике в процессе тренировок, безусловно, отражается на его пищеварительной и иммунной функции, приводя в том числе к увеличению проницаемости слизистой оболочки, наруше-

нию абсорбции макро- и микронутриентов, что, в свою очередь, может оказывать негативное влияние на снижение работоспособности спортсмена и эффективности выполнения упражнений. Соответственно, это требует всестороннего изучения как механизмов возникновения нарушений, так и путей оптимизации функционирования кишечника у спортсменов.

Как правило, высокопрофессиональные спортсмены придерживаются специального рациона, особенно в тренировочный и предсоревновательный периоды. Нутритивный состав рационов варьирует в зависимости от вида и продолжительности тренировок для получения максимальной пользы от поступающих веществ и повышения эффективности тренировки, что лежит в основе производительности спортсменов [1–3].

В зависимости от нагрузок существует несколько подходов: рацион с низким содержанием углеводов и высоким содержанием жиров, белков (LCHF); диеты с высоким содержанием легкоусвояемых углеводов (H-CHO). Измерение функциональных показателей в работах [4–6] свидетельствовало, что рацион с более высоким содержанием углеводов может увеличить физическую работоспособность у спортсменов на выносливость, а недостаток углеводов в их рационе может приводить к эрголитическим эффектам [7, 8], т.е. снижать эффективность тренировки.

В этой связи спортсменам, которые выполняют сверхвысокие нагрузки, необходим рацион питания, который должен соответствовать их потребностям с учетом этих нагрузок. За рубежом такие рекомендации разработаны Академией питания и диетологии (Academy of Nutrition and Dietetics, AND), Диетологами Канады (Dietitians of Canada, DC) и Американским колледжем спортивной медицины (The American College of Sports Medicine, ACSM), Международным обществом спортивного питания (International Society of Sports Nutrition, ISSN) [9, 10]. В Российской Федерации подобные рекомендации приняты для юниоров [11], а для взрослых средняя энергетическая ценность и наборы продуктов определяются приложением № 1 к приказу Минспорта России от 30.10.2015 № 999 «Об утверждении требований к обеспечению подготовки спортивного резерва для спортивных сборных команд Российской Федерации». В МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (далее – МР 2.3.1.0253–21) также отражены потребности людей с высокой физической активностью [12].

С учетом приведенных аспектов и исходя из задачи оптимизации функционирования кишечника у спортсменов первостепенное значение приобретает сохранение здоровой кишечной микробиоты, определенные представители которой, как теперь стало известно, участвуют не только в метаболическом, но и в энергетическом обмене организма-хозяина, способствуя аккумуляции энергии из потребляемых нутриентов [13–15]. Поэтому важно выявлять многофакторные зависимости между составом рациона, составом ки-

шечной микробиоты и эффективностью физических упражнений для обоснования оптимальных подходов к наиболее эффективному потреблению нутриентов, которое необходимо для получения высоких спортивных результатов.

Для оценки таких зависимостей в данной работе изучена структура маркеров микробиоты кишечника, отражающих состояние ее различных представителей (бактерий, архей, грибов, вирусов) и некоторых метаболитов, рациона питания и их взаимосвязь у профессиональных спортсменов на выносливость по сравнению с физически активными людьми.

Материал и методы

Общая характеристика обследуемых групп

1-ю группу составляли футболисты самого высокого уровня подготовки (спорт мастер-класса) [24 человека, средние показатели роста – 181±6 см, массы тела – 74,2±7,3 кг (от 56 до 94 кг), возраста – 28±3 года, индекс массы тела – 22,5±1,0 кг/м²]. 2-ю группу (группа сравнения) составили здоровые физически активные люди, мужчины и женщины, занимающиеся систематически фитнесом в течение года с умеренными физическими нагрузками в течение 1 ч 2 раза в неделю [*n*=25, рост – 170±11 см, масса тела – 64±16 кг (от 46 до 111 кг), возраст – 34±5 лет, индекс массы тела – 21,8±2,8 кг/м²]. Обследуемые получали рацион согласно режиму тренировок. Обследование спортсменов проводили в подготовительный период годового тренировочного цикла. Протокол тренировки, которому следуют отдельные спортсмены, был разработан в соответствии с требованиями их вида спорта, тренировочными целями и этапом подготовительного периода.

Критерием исключения был прием антибиотиков и пробиотических препаратов за последний месяц.

Методы изучения фактического рациона питания

Количественная оценка фактического рациона питания была основана на анализе заполненных дневников питания в течение 3 дней (2 рабочих дня и 1 выходной), спортсмены обучались заполнению дневников с учетом информации, изложенной в МР 2.3.1.0253–21. Информацию обрабатывали с помощью программного обеспечения для диетологов Nutrium 2.13.0, соответственно рассчитывали средние показатели за 3 дня. Фактические рационы питания сопоставляли с индивидуальными суточными потребностями в макронутриентах (за исключением пищевых волокон) и энергии, рассчитанными на основании величины основного обмена (по формуле Миффлина – Сан Жеора с учетом антропометрических данных спортсменов обеих групп), коэффициента физической активности, приравненного для футболистов к лицам с высокой физической активностью (IV группа), для группы сравнения – к лицам с низкой физической активностью

(II группа) по энерготратам, а также с рекомендациями ISSN [9] для спортсменов, занимающихся упражнениями на выносливость, и для лиц, участвующих в общей фитнес-программе (далее – физически активные люди) и не обязательно тренирующихся для достижения каких-либо целей по производительности. Потребление пищевых волокон оценивали согласно рекомендациям, включенным в МР 2.3.1.0253–21.

Методы исследования микробиоты

Был использован метод газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием системы газовой хроматографии Agilent 8890 (Agilent, США) для анализа всасывающихся в кровь микробных маркеров микрофлоры тонкой кишки (Разрешение Росздравнадзора на применение новой медицинской технологии ФС № 2010/038 от 24.02.2010). Метод основан на определении кишечных микроорганизмов различных родов и видов по присутствию для их клеточных стенок жирным кислотам, альдегидам, стеринам, а также уровня эндотоксина и плазмалогена. Для микроскопических грибов определяли специфические маркеры: гептадеценую кислоту 17:1 (*Candida* spp.), 2-окситетракозановую 2h24 (*Aspergillus* spp.); для остальных грибов – неспецифические маркеры эргостерол, кампестерол и ситостерол, входящие в состав их клеточных стенок; для вирусов определяли метаболиты холестерина: холестендиол (*Herpes simplex*), холестадиенон (*Cytomegalovirus*, Epstein – Barr virus).

Для анализа венозную кровь собирали в пробирку с ЭДТА. При необходимости биоматериал замораживали в морозильной камере холодильника при -18...-23 °С. Учитывали величины микробных маркеров, встречающихся в кишечной микрофлоре у взрослых людей с частотой >50 и <50% (определена путем статистической обработки результатов массового скрининга) [16]. Результаты, согласно программируемому расчету в вышеуказанной медицинской технологии, выражали в количестве микробных клеток или вирусных частиц на 1 г сырой массы кишечного содержимого, эквивалентном выявленным величинам микробных маркеров.

Статистическая обработка данных

Анализ данных выполнен с помощью программы StatTech v1.1.0 (разработчик – ООО «Статтех», РФ). Нормальность распределения наблюдений в каждой группе определяли по критерию Шапиро–Уилка. Используемые методы: *U*-критерий Манна–Уитни (*Me* [Q1–Q3]) и *t*-критерий Стьюдента в модификации Уэлча [*M*±*SD* (95% доверительный интервал (ДИ))], корреляцию оценивали по методу Пирсона. Показатели принимались как статистически значимые при *p*<0,05.

Исследование было одобрено этическим комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (решение от 24.11.2021 № 21-21) и проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Результаты

Анализ фактического питания спортсменов разных специализаций

Состояние фактического рациона питания спортсменов обследуемых групп показано в табл. 1.

С учетом приведенных данных в приказе Минспорта России от 30.10.2015 № 999 о средних энерготратах (4750 ккал/сут), используемых для расчета рационов питания спортсменов с большим объемом и интенсивностью физических нагрузок (к которым относятся профессиональные футболисты), калорийность фактических рационов для футболистов по сравнению с рассчитанными для них индивидуальными суточными потребностями (3839±241 ккал/сут) в период интенсивных тренировок можно было бы трактовать как недостаточную. В то же время известно, что при использовании дневников питания имеет место недооценка потребления пищи, составляющая не менее 10% [17].

По макронутриентному составу обнаружено, что в обеих группах преобладает белковая составляющая: она была больше как по средним значениям – в 1,4 раза у футболистов и в 1,1 раза у физически активных людей, так и по величинам, соотношенным с калорийностью потребляемых рационов, – в 1,7 и 1,5 раза соответственно.

Доля жиров в рационе у футболистов составляла 32±3% от калорийности суточного рациона, что в целом отвечало рассчитанным для них индивидуальным физиологическим потребностям в процентном соотношении макронутриентов. Тогда как в группе фитнеса при сравнении рациона с индивидуальными физиологическими потребностями доля потребляемых жиров превышала оптимальное значение в 1,4 раза, из них в избыточном количестве поступали насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты в 1,1–1,2 раза.

Совершенно явным был недостаток углеводов в рационах обследованных обеих групп. А именно, в абсолютных значениях футболисты потребляли в 1,4 раза меньше рассчитанных потребностей, а физически активные люди – в 1,8 раза. Это подтверждалось при оценке поступления макронутриента, соотношенного с калорийностью рациона: у футболистов 48±4%, у физически активных людей – 40±12% при рекомендуемых нормах 56–58% от калорийности рациона согласно МР 2.3.1.0253-21 (см. табл. 1).

При этом количество легкоусвояемых сахаров у футболистов в 2,3 раза превышало рекомендуемый индивидуальный уровень, а в группе фитнеса – в 1,2 раза.

Те же тенденции наблюдались при интерпретации данных о рационах потребления обследуемых спортсменов согласно рекомендациям ISSN [9]. Так, при рекомендации потребления спортсменами 8–12 г/кг в сутки углеводов (в том числе для целей увеличения максимального запаса эндогенного гликогена [18]) было выявлено, что футболисты получали углеводов в 1,9 раза меньше, чем требуется. Дефицит углеводов, по мнению

Таблица 1. Состояние фактического рациона питания у спортсменов на выносливость и физически активных людей по данным дневников питания [$M \pm SD$ (95% доверительный интервал), (min–max)]
Table 1. The state of the actual diet in endurance athletes and physically active people according to food diaries [$M \pm SD$ (95% confidence interval), (min–max)]

Показатель Index	Суточные потребности Daily requirements according				Обследуемые группы Surveyed groups
	по данным расчетов индивидуальных потребностей в макроэлементах и энергии, с учетом величины основного обмена и коэффициента физической активности* the calculation of individual requirements for macronutrients and energy, taking into account the value of the basal metabolic rate and the coefficient of physical activity*	футболисты football players	спортсмены athletes	фитнес-программа fitness program	
Калорийность рациона, ккал Diet calories, kcal	3839±241 (3737–3941)	2248±411 (2079–2419)	н/у	н/у	3193±133 (3137–3250)
Белок, г / Protein, g	115±7 (103–127)	73±13 (68–79)	н/у	н/у	160±7 (157–163)
Белок, % от ккал Protein, % of kcal	12*	13*	н/у	15–20	20±6 (17–22)
Белок, г/кг массы тела в сутки Protein, g/kg body weight per day	1,6±0,1 (1,5–1,6)	1,2±0,1 (1,1–1,2)	1,4–2,0	0,8–1,2	1,3±0,4 (1,2–1,5)
Жиры, г / Fat, g	128±8 (125–131)	75±14 (69–81)	н/у	н/у	116±13 (111–122)
Жиры, % от ккал Fat, % of kcal	30*	30*	н/у	25–35	41±10 (37–45)
Жиры, г/кг массы тела в сутки Fat, g/kg body weight per day	1,7±0,1 (1,7–1,8)	1,2±0,1 (1,1–1,2)	н/у	0,5–1,5	0,7±0,2 (0,5–0,9)
Насыщенные жирные кислоты, % от ккал Saturated fatty acids, % of kcal	10*	10*	н/у	н/у	12±5 (10–14)
Мононенасыщенные жирные кислоты, % от ккал Monounsaturated fatty acids, % of kcal	10*	10*	н/у	н/у	16±4 (14–18)
Полиненасыщенные жирные кислоты, % от ккал Polyunsaturated fatty acids, % of kcal	6–10*	6–10*	н/у	н/у	9±4 (7–11)
Углеводы (в том числе моно- и дисахариды), г Carbohydrates (including mono- and disaccharides), g	(537–557)±35 (523–572)	(314–326)±60 (290–351)	н/у	н/у	394±28 (382–405)
Углеводы, % от ккал Carbohydrates, % of kcal	56–58*	56–58*	н/у	45–55	40±12 (35–45)
Углеводы, г/кг массы тела в сутки Carbohydrates, g/kg body weight per day	(7,3–7,5)±0,3 (7,1–7,7)	(4,9–5,2)±0,5 (4,8–5,3)	8–12	3–5	2,9±1,3 (2,3–3,4)
Сахар добавленный, % от ккал Added sugar, % of kcal	<10*	<10*	н/у	н/у	12±7 (9–15)
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	20–25*	20–25*	н/у	н/у	19±9 (16–23)

Примечание. * – МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (для взрослых IV и II групп по физической активности соответственно); «н/у» – не установлено.

Note. * – MR 2.3.1.0253–21 «Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation» (for adults of groups IV and II in terms of physical activity respectively); «н/у» – not established.

C. Kerkisick и соавт. [18], не позволяет обеспечить максимальный запас энергии, следовательно, неблагоприятно сказывается на выносливости при физических нагрузках [5, 19, 20]. Что касается белка, то потребление этого макронутриента профессиональными футболистами по сравнению с рекомендациями ISSN [9] было в среднем в 1,3 раза больше.

Участники группы сравнения получали достаточное, по рекомендациям ISSN [9], количество белка, но избыточное количество жира (в 1,4 раза в процентном соотношении) и недостаточное углеводов (в том числе моно- и дисахаридов).

Такой сдвиг может приводить к ухудшению результатов у спортсменов, тренировки которых направлены на выносливость, и поэтому их рацион питания требует диетологической коррекции.

Анализ состава микробиоты спортсменов различных специализаций

В целом по результатам проведенного анализа в крови у спортсменов обнаружены маркеры бактерий, грибов, вирусов, эндотоксина и плазмалогена. Не выявлено маркеров простейших. Наиболее многочисленной была группа бактериальных маркеров. Было обнаружено 28 маркеров для кишечных микроорганизмов, встречающихся в >50% случаев, и 3 редких. Составление изученных бактериальных маркеров отражено в табл. 2.

Основные отличия по сравнению с референсными значениями у футболистов были выявлены в содержании популяций *Bifidobacterium* spp., *Eubacterium* spp., уровни которых снижались, и *Lactobacillus* spp., которые, наоборот, росли. У физически активных лиц также отмечено уменьшение содержания маркеров бифидобактерий и зубактерий, при этом и популяция лактобацилл снижалась значимо по отношению к величинам, принимаемым за норму. Что касается сопоставления групп между собой, то были заметны различия в уровнях некоторых видов клостридий: у футболистов – *Clostridium ramosum*, у лиц из группы сравнения, не имеющих чрезмерных нагрузок, – *Clostridium tetani*. По остальным маркерам микробиоты в обследуемых группах изменения не отмечались или были схожими.

При этом оптимальной картины по структуре микробных маркеров (близкой к установленным референсным величинам) не отмечено у обследованных обеих групп. Соответственно, нарушения состава микробных маркеров могут быть обусловлены выявленными нарушениями в структуре питания. Так, в рационе футболистов было резко повышено количество белка, что может приводить к повышению содержания представителей семейства *Clostridiaceae*. Преобладание пищевых волокон в рационе питания футболистов может обуславливать повышение таких сахаролитических представителей, как *Clostridium* spp., *Ruminococcus* spp. Представители защитной бактериальной флоры *Bifidobacterium* spp. по сравнению с референс-

ными значениями для этих микроорганизмов были снижены в обеих группах. В то же время у футболистов было повышено содержание *Lactobacillus* spp. по сравнению с референсными значениями и по отношению к группе сравнения. О похожих тенденциях сообщалось в работе других авторов [21]. Возможно, это связано с биохимическими процессами при усиленной мышечной нагрузке за счет повышения образования лактата и его проникновения по системе воротной вены в кишечник, который участвует в метаболизме кишечной микробиоты. Подобный механизм изменений микробиоты кишечника также подтверждался в опубликованных ранее исследованиях, которые показали, что у спортсменов, упражнения которых направлены на выносливость (легкоатлеты на длинные дистанции [22] и рацион которых характеризуется углеводного-белковой направленностью), происходит повышение уровня представителей защитной флоры *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* по сравнению с группой сравнения. А у спортсменов, упражнения которых направлены на силу (бодибилдеры [22], регбисты [23] с рационом белково-жировой направленности), приводит к противоположному эффекту: снижению численности родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, а при повышении в рационе жиров – к повышению представителей семейства *Clostridiaceae*.

На рисунке представлено сравнение содержания основных бактериальных популяций у обследуемых в обеих группах. Как видно из рисунка, их уровни в обследуемых группах также изменялись и показывали зависимость от характера нагрузок. А именно, статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$) регистрировались у спортсменов-футболистов и проявлялись в повышении уровня *Alcaligenes* spp., *Clostridium ramosum*, *Corineform CDC-group XX*, *Lactobacillus* spp., *Staphylococcus epidermidis*, *Streptomyces* spp.; у физически активных лиц – в повышении *Actinomyces viscosus*, *Clostridium tetani*, *Eubacterium* spp., *Pseudonocardia* spp., *Streptococcus mutans*, *Streptococcus* spp. Наибольшая разница выявлена в содержании таких популяций, как *Lactobacillus* spp., *Eubacterium* spp., а также *Alcaligenes* spp., *Staphylococcus epidermidis* (2 последние относятся к условно-патогенным представителям флоры). Кроме того, отмечена положительная корреляционная связь между калорийностью рациона и представителями микробиоты [r_{xy}/r (коэффициент корреляции Пирсона); теснота связи по шкале Чеддока; p]: для *Alcaligenes* spp. [0,67; Заметная; <0,001]; *Coryneform CDC-group XX* [0,53; Заметная; <0,001]; *Lactobacillus* spp. [0,55; Заметная; <0,001]; *Streptomyces* spp. [0,50; Заметная; 0,003].

Также установлено статистически значимое различие ($p < 0,001$) в содержании в крови эндотоксина с преобладанием в 2 раза у футболистов по сравнению с физически активными людьми – величины этого показателя у них составили $0,34 \pm 0,09$ [0,3–0,38] против $0,17 \pm 0,09$ [0,13–0,21] нмоль/мл ($M \pm SD$ [95% ДИ]) соответственно.

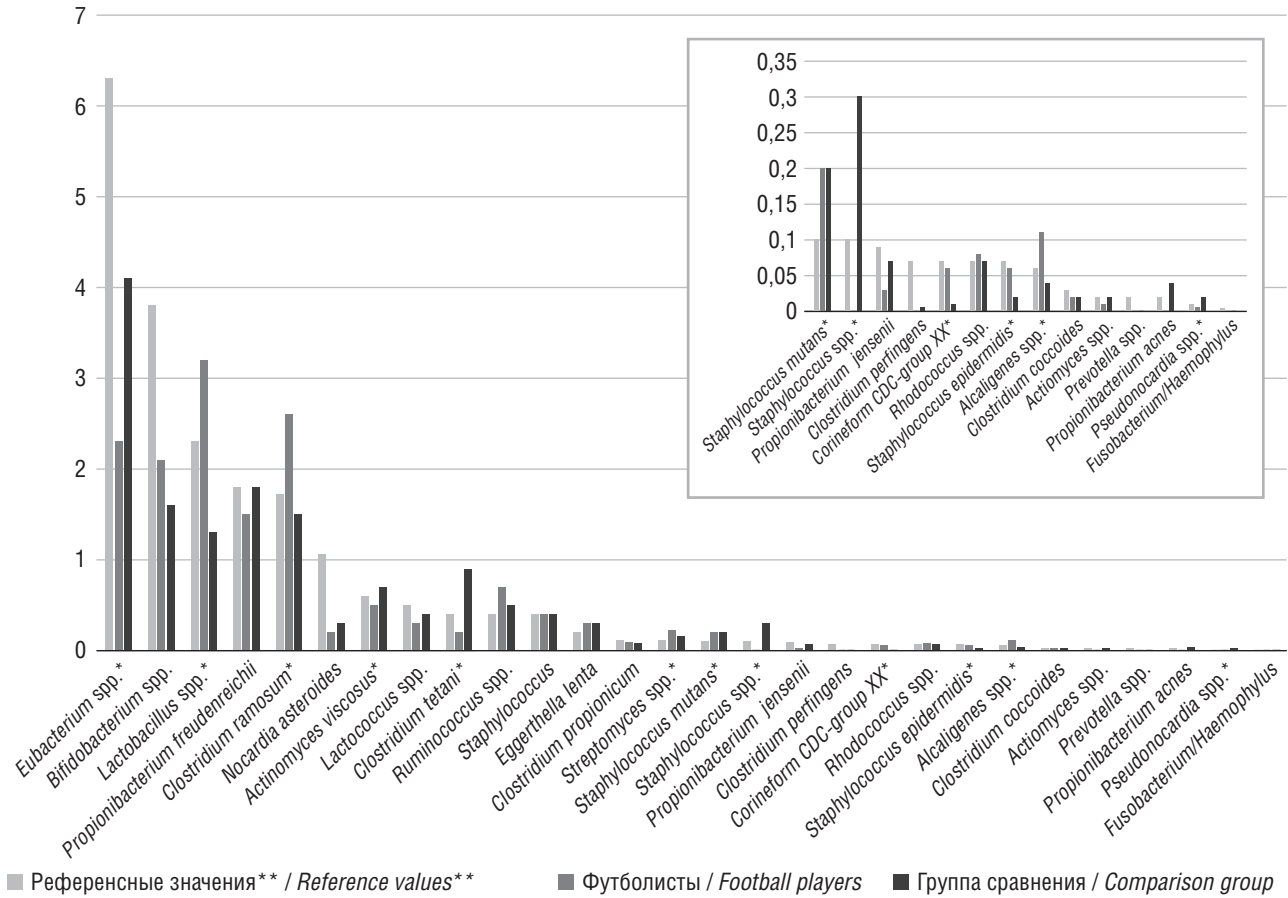
Таблица 2. Содержание микроорганизмов в кишечнике у спортсменов, эквивалентное величинам микробных маркеров в крови (количество микробных клеток/г кишечного содержимого), $M \pm SD$ (95% доверительный интервал)

Table 2. The number of microorganisms in the intestines of athletes, equivalent to the levels of blood microbial markers (the number of cells per gram of intestinal contents), $M \pm SD$ (95% confidence interval)

Показатель Index	Референсные значения / Reference values [16]	Обследуемые группы / Surveyed groups		p*
		футболисты / football players	группа сравнения / comparison group	
Микробные маркеры, встречающиеся в >50% случаев / Microbial markers occurring in >50% of cases				
<i>Actinomyces</i> spp.	$0,02 \pm 0,01 \times 10^8$	$0,0098 \pm 0,009 (0,006 - 0,01) \times 10^8$	$0,02 \pm 0,03 (0,009 - 0,03) \times 10^8$	0,076
<i>Actinomyces viscosus</i>	$0,6 \pm 0,2 \times 10^8$	$0,5 \pm 0,1 (0,5 - 0,6) \times 10^8$	$0,7 \pm 0,2 (0,6 - 0,7) \times 10^8$	0,037
<i>Alcaligenes</i> spp.	$0,06 \pm 0,04 \times 10^8$	$0,11 \pm 0,03 (0,1 - 0,1) \times 10^8$	$0,04 \pm 0,02 (0,03 - 0,05) \times 10^8$	<0,001
<i>Bifidobacterium</i> spp.	$3,8 \pm 1,5 \times 10^8$	$2,1 \pm 0,9 (1,7 - 2,5) \times 10^8$	$1,6 \pm 1,1 (1,2 - 2,1) \times 10^8$	0,1
<i>Clostridium coccooides</i>	$0,03 \pm 0,02 \times 10^8$	$0,02 \pm 0,01 (0,01 - 0,02) \times 10^8$	$0,02 \pm 0,05 (0,005 - 0,04) \times 10^8$	0,67
<i>Clostridium perfringens</i>	$0,07 \pm 0,06 \times 10^8$	$0 \pm 0 (0 - 0) \times 10^8$	$0,006 \pm 0,009 (0,001 - 0,001) \times 10^8$	0,33
<i>Clostridium propionicum</i>	$0,11 \pm 0,08 \times 10^8$	$0,09 \pm 0,04 (0,08 - 0,1) \times 10^8$	$0,08 \pm 0,09 (0,04 - 0,1) \times 10^8$	0,32
<i>Clostridium ramosum</i>	$1,7 \pm 1,03 \times 10^8$	$2,6 \pm 0,9 (2,2 - 3,0) \times 10^8$	$1,5 \pm 1,1 (1,04 - 1,97) \times 10^8$	<0,001
<i>Clostridium tetani</i>	$0,4 \pm 0,2 \times 10^8$	$0,2 \pm 0,1 (0,1 - 0,2) \times 10^8$	$0,9 \pm 1,8 (0,14 - 1,66) \times 10^8$	0,007
<i>Corineform CDC-group XX</i>	$0,07 \pm 0,05 \times 10^8$	$0,06 \pm 0,04 (0,04 - 0,08) \times 10^8$	$0,01 \pm 0,03 (0,003 - 0,02) \times 10^8$	<0,001
<i>Eggerthella lenta</i>	$0,2 \pm 0,2 \times 10^8$	$0,3 \pm 0,1 (0,2 - 0,3) \times 10^8$	$0,3 \pm 0,1 (0,2 - 0,3) \times 10^8$	0,7
<i>Eubacterium</i> spp.	$6,3 \pm 3,1 \times 10^8$	$2,3 \pm 1,1 (1,8 - 2,8) \times 10^8$	$4,1 \pm 1,7 (3,4 - 4,8) \times 10^8$	<0,001
<i>Fusobacterium/Haemophilus</i>	$0,005 \pm 0,004 \times 10^8$	$0 \pm 0 (0 - 0) \times 10^8$	$0 \pm 0 (0 - 0) \times 10^8$	0,3
<i>Lactobacillus</i> spp.	$2,3 \pm 0,8 \times 10^8$	$3,2 \pm 1,3 (2,6 - 3,7) \times 10^8$	$1,3 \pm 0,8 (0,9 - 1,6) \times 10^8$	<0,001
<i>Lactococcus</i> spp.	$0,5 \pm 0,4 \times 10^8$	$0,3 \pm 0,1 (0,3 - 0,4) \times 10^8$	$0,4 \pm 0,5 (0,2 - 0,6) \times 10^8$	0,8
<i>Neocardia asteroides</i>	$1,06 \pm 0,87 \times 10^8$	$0,2 \pm 0,1 (0,2 - 0,3) \times 10^8$	$0,3 \pm 0,3 (0,2 - 0,4) \times 10^8$	0,1
<i>Prevotella</i> spp.	$0,02 \pm 0,01 \times 10^8$	$0 \pm 0 (0 - 0) \times 10^8$	$0 (0 - 0) \times 10^8$	–
<i>Propionibacterium acnes</i>	$0,02 \pm 0,01 \times 10^8$	$0 \pm 0,03 (0 - 0,02) \times 10^8$	$0,04 \pm 0,09 (0 - 0,08) \times 10^8$	0,1
<i>Propionibacterium freudenreichii</i>	$1,8 \pm 0,8 \times 10^8$	$1,5 \pm 0,5 (1,3 - 1,8) \times 10^8$	$1,8 \pm 0,8 (1,5 - 2,1) \times 10^8$	0,1
<i>Propionibacterium jensenii</i>	$0,09 \pm 0,06 \times 10^8$	$0,03 \pm 0,04 (0 - 0,04) \times 10^8$	$0,07 \pm 0,18 (0 - 0,1) \times 10^8$	0,23
<i>Pseudomonocardia</i> spp.	$0,01 \pm 0,01 \times 10^8$	$0,006 \pm 0,005 (0,004 - 0,009) \times 10^8$	$0,02 \pm 0,02 (0,009 - 0,03) \times 10^8$	0,01
<i>Rhodococcus</i> spp.	$0,07 \pm 0,06 \times 10^8$	$0,08 \pm 0,04 (0,06 - 0,1) \times 10^8$	$0,07 \pm 0,03 (0,05 - 0,08) \times 10^8$	0,1
<i>Ruminococcus</i> spp.	$0,4 \pm 0,2 \times 10^8$	$0,7 \pm 0,2 (0,6 - 0,8) \times 10^8$	$0,5 \pm 0,3 (0,4 - 0,5) \times 10^8$	0,1
<i>Staphylococcus</i>	$0,4 \pm 0,1 \times 10^8$	$0,4 \pm 0,1 (0,3 - 0,4) \times 10^8$	$0,4 \pm 0,1 (0,3 - 0,5) \times 10^8$	0,08
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$0,07 \pm 0,04 \times 10^8$	$0,06 \pm 0,03 (0,05 - 0,07) \times 10^8$	$0,02 \pm 0,02 (0,01 - 0,03) \times 10^8$	<0,001
<i>Streptococcus mutans</i>	$0,1 \pm 0,1 \times 10^8$	$0,2 \pm 0,08 (0,1 - 0,2) \times 10^8$	$0,2 \pm 0,1 (0,2 - 0,3) \times 10^8$	0,008
<i>Streptococcus</i> spp.	$0,1 \pm 0,1 \times 10^8$	$0 (0 - 0) \times 10^8$	$0,3 \pm 0,4 (0,1 - 0,5) \times 10^8$	0,003
<i>Streptomyces</i> spp.	$0,11 \pm 0,06 \times 10^8$	$0,22 \pm 0,06 (0,2 - 0,3) \times 10^8$	$0,16 \pm 0,08 (0,1 - 0,2) \times 10^8$	0,001
Микробные маркеры, встречающиеся в >50% случаев / Microbial markers occurring in >50% of cases				
<i>Bacillus cereus</i>	$2 \pm 2 \times 10^8$	$0 \pm 0 \times 10^8$	$0,001 \pm 0,005 \times 10^8$	0,348
<i>Clostridium histolyticum</i>	$7 \pm 5 \times 10^8$	$0 \pm 0 \times 10^8$	$0,009 \pm 0,048 \times 10^8$	0,378
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i> 18623	$14 \pm 11 \times 10^8$	$0 \pm 0 \times 10^8$	$0,001 \pm 0,008 \times 10^8$	1

* – статистическая значимость различий между группами.

* – statistical significance of differences between groups.



Содержание основных групп и видов микроорганизмов в кишечнике спортсменов (медиана кл/г×10⁸)

* – статистически значимые различия между группами обследуемых; ** – [16].

The content of the main groups and types of microorganisms in the intestines of athletes (median cells/g ×10⁸)

* – differences between the groups are significant; ** – [16].

Это может служить подтверждением того, что высокие физические нагрузки влияют на уровни грамотрицательных бактерий, которые, являясь непосредственными источниками эндотоксина в кишечнике, возможно, ведут к ослаблению плотности межклеточных контактов и большему всасыванию эндотоксина [24].

В опубликованных исследованиях микробиоты кишечника у спортсменов отсутствуют данные по поведению других членов экосистемы, таких как грибы и вирусы, и их влиянию на уровень адаптации микробиоты кишечника к высоким физическим нагрузкам. Изученное нами состояние микробных маркеров микроскопических грибов отражены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, содержание всех 4 маркеров микроскопических грибов было выше у футболистов, у которых уровни 3 из них превышали референсные величины от 1,6 до 2,1 раза. Наиболее высокие значения были установлены для дрожжеподобных грибов *Candida* spp. (их медиана превышала даже верхнюю границу диапазона референсных значений), относящихся к условно-патогенной микрофлоре и способных поддерживать

дисбиотические нарушения в кишечнике. Это важный факт, поскольку известно, что изменение микобиоты наиболее часто фиксируется при сдвиге в рационе количества и качества углеводов. При проведении корреляционного анализа взаимосвязи микроскопических грибов и сахара (г) выявлены следующие значения: для *Candida* spp. [0,623; Заметная; <0,001]; *Aspergillus* spp. [0,289; Умеренная; 0,044]; *Micromyces* spp. (кампестерол) [0,515; Заметная; <0,001]; *Micromyces* spp. (ситостерол) [0,346; Умеренная; 0,015]. Также отмечена положительная корреляция между калорийностью рациона и представителями микофлоры: для *Candida* spp. [0,688; Заметная; <0,001]; *Aspergillus* spp. [0,426; Умеренная; 0,02]; *Micromyces* spp. (кампестерол) [0,591; Заметная; <0,001]; *Micromyces* spp. (ситостерол) [0,405; Умеренная; 0,004].

Наши результаты подтвердили положительную корреляцию между потреблением легкоусвояемых углеводов (в рационе футболистов содержание в 2 раза больше допустимого) и представителями *Candida* spp., *Aspergillus* spp., которые являются условно-патогенными микро-

Таблица 3. Содержание маркеров микроскопических грибов в крови у спортсменов (эквивалент количества клеток/г кишечного содержимого) $M \pm SD$ (95% доверительный интервал)

Table 3. Content of microscopic fungi in the intestines of athletes (number of cells per gram of intestinal contents) $M \pm SD$ (95% confidence interval)

Показатель <i>Index</i>	Референсные значения <i>Reference values</i> [16]	Обследуемые группы / <i>Surveyed Groups</i>		<i>p</i> *
		футболисты / <i>football players</i>	группа сравнения / <i>comparison group</i>	
<i>Candida</i> spp.	$0,49 \pm 0,32 \times 10^8$	$1,01 \pm 0,3 (0,88-1,13) \times 10^8$	$0,46 \pm 0,28 (0,35-0,58) \times 10^8$	<0,001
<i>Aspergillus</i> spp.	$0,19 \pm 0,13 \times 10^8$	$0,20 \pm 0,16 (0,13-0,27) \times 10^8$	$0,08 \pm 0,06 (0,06-0,11) \times 10^8$	0,003
<i>Micromycetes</i> spp. (кампестерол) / (<i>campesterol</i>)	$0,79 \pm 0,55 \times 10^8$	$1,53 \pm 0,59 (1,28-1,78) \times 10^8$	$0,81 \pm 0,35 (0,66-0,95) \times 10^8$	<0,001
<i>Micromycetes</i> spp. (ситостерол) / (<i>sitosterol</i>)	$0,86 \pm 0,52 \times 10^8$	$1,39 \pm 0,68 (1,11-1,68) \times 10^8$	$0,89 \pm 0,42 (0,72-1,06) \times 10^8$	0,004

* – статистическая значимость различий между группами.

* – statistical significance of differences between groups.

организмами и могут негативно сказываться на результативности физических нагрузок, что требует коррекции рациона.

С учетом полученных данных для футболистов необходимо, во-первых, доведение суточного потребления углеводов до оптимального уровня индивидуальных потребностей 7,3–7,5 г на 1 кг массы тела в сутки (см. табл. 1) за счет увеличения доли в рационе до 300–370 г/сут сложных углеводов, содержащихся в хлебобулочных изделиях из цельнозерновой муки и кашах, а во-вторых – ограничение легкоусвояемых углеводов (до 90–95 г/сут), что будет соответствовать рекомендациям о доле добавленного сахара <10% от калорийности.

Обсуждение

Таким образом, высокие физические нагрузки у профессиональных спортсменов и используемые на их фоне рационы питания достоверно влияют на картину кишечной микробиоты по сравнению со значимыми более низкими нагрузками у физически активных лиц. Это проявляется в изменении содержания наиболее представленных в ней популяций бактерий таких родов, как *Eubacterium* spp., *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus* spp., и представителей семейства *Clostridiaceae*: *Clostridium ramosum*, *Clostridium tetani*, семейства *Ruminococcaceae*: *Ruminococcus* spp., относящихся к типу *Firmicutes*; семейства *Nocardiaceae*: *Nocardia asteroides*, относящихся к типу *Actinobacteria*. При этом из опубликованных ранее работ известно, что некоторые представители *Eubacterium* spp. могут способствовать производству КЦЖК, таких как бутират [25, 26], в результате ферментации полисахаридов, а трофические взаимодействия с бактериями из семейства *Bifidobacteriaceae*, которые являются признанными представителями защитной микрофлоры, могут быть полезны для метаболизма организма-хозяина [27]. Уровень этих бактерий зависит от рациона питания. Так, их присутствие в кишечнике в значительной степени связано с повышенным

потреблением неперевариваемых полисахаридов и, как было показано, уменьшается с увеличением соотношения белка/жира в рационе [28]. Эти наблюдения подтверждаются недавними исследованиями, посвященными использованию некоторыми видами *Eubacterium* устойчивых к пищеварению сложных углеводов [29–31].

Фактическое питание футболистов характеризовалось выраженной белковой направленностью (превышение индивидуальных потребностей составляло в среднем 39%), при высокой доле простых сахаров (превышение около 90%) и избытке насыщенных и недостатке полиненасыщенных жирных кислот (в % от калорийности). При этом при расчете на 1 кг массы тела потребление белка превышало рекомендуемые суточные потребности (превышение около 38%), а потребление углеводов было недостаточным (недостаток около 35%), в их доле не хватало сложных углеводов (недостаток в 2,1 раза).

В целях оптимизации питания спортсменов разработаны рекомендации по коррекции рациона их питания.

Выводы

1. В фактическом питании спортсменов наблюдался дисбаланс с преобладанием белковой составляющей и высоким уровнем простых углеводов.
2. Показатели бактериальной составляющей микробиоты характеризовались повышением лактатзависимых представителей вследствие повышения физических нагрузок и увеличения выработки лактата, включая выделение его в просвет кишечника и участие в метаболических процессах микробиоты кишечника, и увеличением популяций *Clostridium* в ответ на повышение содержания белка в рационе.
3. Установлено наличие заметной положительной корреляционной связи между уровнем микрофлоры и потреблением повышенного количества легкоусвояемых углеводов у профессиональных спортсменов.
4. Предложена коррекция питания, которая состоит в увеличении потребления медленно усвояемых углеводов и сокращении потребления сахара.

Сведения об авторах

Брагина Таисья Владимировна (Taisya V. Bragina) – аспирант кафедры гигиены питания и токсикологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dr.taisya@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7475-134X>

Шевелева Светлана Анатольевна (Svetlana A. Sheveleva) – доктор медицинских наук, руководитель лаборатории биобезопасности и анализа нутримикробиома ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: sheveleva@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5647-9709>

Елизарова Елена Викторовна (Elena V. Elizarova) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены питания и токсикологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: enota---@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5300-8688>

Рыкова Светлана Михайловна (Svetlana M. Rykova) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: parma2009@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6695-4876>

Тутельян Виктор Александрович (Victor A. Tutelyan) – академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой гигиены питания и токсикологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: tutelyan@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Литература

- Burke L.M., Hawley J.A., Jeukendrup A., Morton J.P., Stellingwerff T., Maughan R.J. Toward a common understanding of diet–exercise strategies to manipulate fuel availability for training and competition preparation in endurance Sport // *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* 2018. Vol. 28, N 5. P. 451–463. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0289>
- Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Погожева А.В. Спортивное питание: от теории к практике. Москва : ТД ДеЛи, 2020. 256 с. ISBN 978-5-6042712-9-2
- Никитюк Д.Б., Кобелькова И.В. Спортивное питание как модель максимальной индивидуализации и реализации интегративной медицины // *Вопросы питания.* 2020. Т. 89, № 4. С. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10054>
- Bradley W.J., Hannon M.P., Benford V., Morehen J.C., Twist C., Shepherd S. et al. Metabolic demands and replenishment of muscle glycogen after a rugby league match simulation protocol // *J. Sci. Med. Sport.* 2017. Vol. 20, N 9. P. 878–883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.02.005>
- Durkalec-Michalski K., Zawieja E.E., Zawieja B.E., Jurkowska D., Buchowski M.S., Jeszka J. Effects of low versus moderate glycemic index diets on aerobic capacity in endurance runners: Three-week randomized controlled crossover trial // *Nutrients.* 2018. Vol. 10, N 3. P. 370. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU10030370>
- O'Brien L., Collins K., Webb R., Davies I., Doran D., Amirabdollahian F. The effects of pre-game carbohydrate intake on running performance and substrate utilisation during simulated gaelic football match play // *Nutrients.* 2021. Vol.13, N 5. P. 1392. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU13051392>
- Macdermid P.W., Stannard S.R. A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: Effects on endurance cycling performance // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2006. Vol.16, №1. P. 65. DOI: <https://doi.org/10.1123/IJSNEM.16.1.65>
- Gillen J.B., West D.W.D., Williamson E.P., Fung H.J.W., Moore D.R. Low-carbohydrate training increases protein requirements of endurance athletes // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2019. Vol. 51, N 11. P. 2294–2301. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002036>
- Jäger R., Kerksick C.M., Campbell B.I., Cribb P.J., Wells S.D., Skwiat T.M. et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2017. Vol. 14. P. 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/S12970-017-0177-8>
- Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance // *J. Acad. Nutr. Diet.* 2016. Vol. 116, N 3. P. 501–528. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Кобелькова И.В., Никитюк Д.Б., Раджабканиев Р.М., Выборная К.В., Лавриненко С.В., Семенов М.М. Нормативная база в области спортивной нутрициологии у взрослых в Российской Федерации (обзор литературы) // *Клиническое питание и метаболизм.* 2020. Т. 1, № 3. С. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr50227>
- Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // *Вопросы питания.* 2021. Т. 90, № 4. С. 6–19. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
- Turnbaugh P.J., Ley R.E., Mahowald M.A., Magrini V., Mardis E.R., Gordon J.I. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest // *Nature.* 2006. Vol. 444, N 7122. P. 1027–1031. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature05414>
- Bäckhed F., Manchester J.K., Semenkovich C.F., Gordon J.I. Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2007. Vol. 104, N 3. P. 979–984. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0605374104>
- Plovier H., Cani P.D. Microbial Impact on host metabolism: opportunities for novel treatments of nutritional disorders? // *Microbiol. Spectr.* 2017. Vol. 5, N 3. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.BAD-0002-2016>
- Токарев М.Ю., Платонова А.Г. Патент на изобретение № 2715223. Российская Федерация, МПК G01N 33/48 (2006.01). - 02.12.2019. Бюл. № 12. 23 с. (Способ определения референтных значений показателей микроорганизмов, исследуемых методом хромато-масс-спектрометрии <https://patentimages.storage.googleapis.com/2f/cd/91/bd555c03ee33c4/RU2715223C1.pdf>)
- Ortega R.M., Perez-Rodrigo C., Lopez-Sobaler A.M. Dietary assessment methods: dietary records // *Nutr. Hosp.* 2015. Vol. 31, Suppl 3. P. 38–45. DOI: <https://doi.org/10.3305/NH.2015.31.SUP3.8749>
- Kerksick C.M., Arent S., Schoenfeld B.J., Stout J.R., Campbell B., Wilborn C.D. et al. International society of sports nutrition position stand:

- nutrient timing // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2017. Vol. 14, N 1. P. 33. DOI: <https://doi.org/10.1186/S12970-017-0189-4>
19. Burke L.M., Ross M.L., Garvican-Lewis L.A., Welvaert M., Heikura I.A., Forbes S.G., et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers // *J. Physiol.* 2017. Vol. 595, N 9. P. 2785–2807. DOI: <https://doi.org/10.1113/JP273230>
 20. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith–Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2018. Vol. 15, N 1. P. 38. DOI: <https://doi.org/10.1186/S12970-018-0242-Y>
 21. Scheiman J., Luber J.M., Chavkin T.A., MacDonald T., Tung A., Pham L.–D., et al. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism // *Nat. Med.* 2019. Vol. 25, N 7. P. 1104–1109. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>
 22. 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. Vol. 16, N 1. P. 21. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
 23. Clarke S.F., Murphy E.F., O’Sullivan O., Lucey A.J., Humphreys M., Hogan A., et al. Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity // *Gut.* 2014. Vol. 63, N 12. P. 1913–1920. DOI: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>
 24. Fuke N., Nagata N., Sukanuma H., Ota T. Regulation of gut microbiota and metabolic endotoxemia with dietary factors // *Nutrients.* 2019. Vol. 11, N 10. P. 2277. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU11102277>
 25. Engels C., Ruscheweyh H.–J., Beerenwinkel N., Lacroix C., Schwab C. The common gut microbe *Eubacterium hallii* also contributes to intestinal propionate formation // *Front. Microbiol.* 2016. Vol. 7. P. 713. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00713>
 26. Ríos-Covián D., Ruas-Madiedo P., Margolles A., Gueimonde M., de Los Reyes-Gavilán C.G., Salazar N. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health // *Front. Microbiol.* 2016. Vol. 7. P. 185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>
 27. Bunesova V., Lacroix C., Schwab C. Mucin cross-feeding of infant *Bifidobacteria* and *Eubacterium hallii* // *Microb. Ecol.* 2018. Vol. 75, N 1. P. 228–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1037-4>
 28. Duncan S.H., Belenguer A., Holtrop G., Johnstone A.M., Flint H.J., Lobley G.E. Reduced dietary intake of carbohydrates by obese subjects results in decreased concentrations of butyrate and butyrate-producing bacteria in feces // *Appl. Environ. Microbiol.* 2007. Vol. 73, N 4. P. 1073–1078. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02340-06>
 29. Scott K.P., Martin J.C., Duncan S.H., Flint H.J. Prebiotic stimulation of human colonic butyrate-producing bacteria and bifidobacteria, *in vitro* // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. Vol. 87, N 1. P. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12186>
 30. Cockburn D.W., Orlovsky N.I., Foley M.H., Kwiatkowski K.J., Bahr C.M., Maynard M., et al. Molecular details of a starch utilization pathway in the human gut symbiont *Eubacterium rectale* // *Mol. Microbiol.* 2015. Vol. 95, N 2. P. 209–230. DOI: <https://doi.org/10.1111/mmi.12859>
 31. O.Sheridan P., Martin J.C., Lawley T.D., Browne H.P., Harris H.M.B., Bernalier-Donadille A., et al. Polysaccharide utilization loci and nutritional specialization in a dominant group of butyrate-producing human colonic Firmicutes // *Microb. Genom.* 2016. Vol. 2, N 2. DOI: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000043>

References

1. Burke L.M., Hawley J.A., Jeukendrup A., Morton J.P., Stellingwerff T., Maughan R.J. Toward a common understanding of diet-exercise strategies to manipulate fuel availability for training and competition preparation in endurance sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018; 28 (5): 451–63. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0289>
2. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Pogozheva V.A. Sports nutrition: from theory to practice. Moscow: TD DeLi; 2020: 256 p. ISBN 978-5-6042712-9-2 (in Russian)
3. Nikityuk D.B., Kobelkova I.V. Sports nutrition as a model of maximum individualization and implementation of integrative medicine. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2020. 89 (4): 203–10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10054> (in Russian)
4. Bradley W.J., Hannon M.P., Benford V., Morehen J.C., Twist C., Shepherd S., et al. Metabolic demands and replenishment of muscle glycogen after a rugby league match simulation protocol. *J Sci Med Sport.* 2017; 20 (9): 878–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.02.005>
5. Durkalec-Michalski K., Zawieja E.E., Zawieja B.E., Jurkowska D., Buchowski M.S., Jeszka J. Effects of low versus moderate glycemic index diets on aerobic capacity in endurance runners: Three-week randomized controlled crossover trial. *Nutrients.* 2018; 10 (3): 370. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10030370>
6. O’Brien L., Collins K., Webb R., Davies I., Doran D., Amirabdollahian F. The effects of pre-game carbohydrate intake on running performance and substrate utilisation during simulated gaelic football match play. *Nutrients.* 2021; 13 (5): 1392. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13051392>
7. Macdermid P.W., Stannard S.R. A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: effects on endurance cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006; 16 (1): 65–77. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsem.16.1.65>
8. Gillen J.B., West D.W.D., Williamson E.P., Fung H.J.W., Moore D.R. Low-carbohydrate training increases protein requirements of endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2019; 51 (11): 2294–301. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002036>
9. Jäger R., Kerkick C.M., Campbell B.I., Cribb P.J., Wells S.D., Skwiat T.M., et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017; 14: 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>
10. Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* 2016. 116 (3): 501–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
11. Kobelkova I. V., Nikityuk D. B., Radjabkadiev R. M., Vybornaya K. V., Lavrinenko S. V., Semenov M. M. Regulatory framework in the field of sports nutrition in adults in the Russian Federation (literature review). *Klinicheskoe pitanie i metabolism [Clinical Nutrition and Metabolism]*. 2020; 1 (3): 144–52. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr50227> (in Russian)
12. Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2021; 90 (4): 6–19. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (in Russian)
13. Turnbaugh P.J., Ley R.E., Mahowald M.A., Magrini V., Mardis E.R., Gordon J.I. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature.* 2006; 444 (7122): 1027–31. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature05414>
14. Bäckhed F., Manchester J.K., Semenkovich C.F., Gordon J.I. Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2007; 104 (3): 979–84. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0605374104>
15. Plovier H., Cani P.D. Microbial impact on host metabolism: opportunities for novel treatments of nutritional disorders? *Microbiol Spectr.* 2017; 5 (3). DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.BAD-0002-2016>
16. Tokarev M.Yu., Platonova A.G. Patent for invention No. 2715223 Russian Federation, IPC G01N 33/48 (2006.01). 02.12.2019. Bull. No. 12. 23 p. (Method for determining reference values of microorganism indicators analyzed by chromatography-mass spectrometry) (in Russian)
17. Ortega R.M., Perez-Rodrigo C., Lopez-Sobaler A.M. Dietary assessment methods: dietary records *Nutr Hosp.* 2015; 31 (Suppl 3): 38–45. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8749>; PMID: 25719769
18. Kerkick C., Harvey T., Stout J., Campbell B., Wilborn C., Kreider R., et al. International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008; 5: 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/1550-2783-5-17>
19. Burke L.M., Ross M.L., Garvican-Lewis L.A., Welvaert M., Heikura I.A., Forbes S.G., et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* 2017; 595 (9): 2785–807. DOI: <https://doi.org/10.1113/JP273230>
20. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith–Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018; 15 (1): 38. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
21. Scheiman J., Luber J.M., Chavkin T.A., MacDonald T., Tung A., Pham L.D., et al. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med.* 2019; 25 (7): 1104–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>
22. 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 (1): 21. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
23. Clarke S.F., Murphy E.F., O’Sullivan O., Lucey A.J., Humphreys M., Hogan A., et al. Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut.* 2014; 63 (12): 1913–20. DOI: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>

24. Fuke N., Nagata N., Suganuma H., Ota T. Regulation of gut microbiota and metabolic endotoxemia with dietary factors. *Nutrients*. 2019; 11 (10): 2277. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11102277>
25. Engels C., Ruscheweyh H.J., Beerenwinkel N., Lacroix C., Schwab C. The common gut microbe *Eubacterium hallii* also contributes to intestinal propionate formation. *Front Microbiol*. 2016; 7: 713. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00713>
26. Ríos-Covián D., Ruas-Madiedo P., Margolles A., Gueimonde M., de Los Reyes-Gavilán C.G., Salazar N. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health. *Front Microbiol*. 2016; 7: 185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>
27. Bunesova V., Lacroix C., Schwab C. Mucin cross-feeding of infant *Bifidobacteria* and *Eubacterium hallii*. *Microb Ecol*. 2018; 75 (1): 228–38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1037-4>
28. Duncan S.H., Belenguer A., Holtrop G., Johnstone A.M., Flint H.J., Lobley G.E. Reduced dietary intake of carbohydrates by obese subjects results in decreased concentrations of butyrate and butyrate-producing bacteria in feces. *Appl Environ Microbiol*. 2007; 73 (4): 1073–8. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02340-06>
29. Scott K.P., Martin J.C., Duncan S.H., Flint H.J. Prebiotic stimulation of human colonic butyrate-producing bacteria and bifidobacteria, in vitro. *FEMS Microbiol Ecol*. 2014; 87 (1): 30–40. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12186>
30. Cockburn D.W., Orlovsky N.I., Foley M.H., Kwiatkowski K.J., Bahr C.M., Maynard M., et al. Molecular details of a starch utilization pathway in the human gut symbiont *Eubacterium rectale*. *Mol Microbiol*. 2015; 95 (2): 209–30. DOI: <https://doi.org/10.1111/mmi.12859>
31. O Sheridan P., Martin J.C., Lawley T.D., Browne H.P., Harris H.M.B., Bernalier-Donadille A., et al. Polysaccharide utilization loci and nutritional specialization in a dominant group of butyrate-producing human colonic Firmicutes. *Microb Genom*. 2016; 2 (2): e000043. DOI: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000043>