

УДК 579.6

Значение фактора питания в формировании кишечного микробиома

Д-р техн. наук **Е. И. КИПРУШКИНА**¹, д-р техн. наук **В. С. КОЛОДЯЗНАЯ**,
канд. техн. наук **В. И. ФИЛИППОВ**, канд. техн. наук **ШЕСТОПАЛОВА И. А.**,
канд. техн. наук **Ю. В. БРОЙКО**, **К. О. АНДРУХОВА**, **М. А. ВЛАДЫЧ**,
А. В. СМОЛЕВА, **Д. А. КЛЕМЕНТЬЕВ**

¹kipelena@yandex.ru

Университет ИТМО

В обзоре рассмотрен вопрос, почему нужно изучать механизмы действия и учитывать метаболизм микробиоты в организме человека, и какую роль играет питание в изменении микробного биоразнообразия кишечника. Рассматривается взаимосвязь между здоровьем человека, его питанием и состоянием кишечной микрофлоры. Уделено внимание повышению разнообразия микробиома, определены требования к рациону питания. Определена роль микробиоты кишечника в патогенезе ряда заболеваний. Сделан вывод о перспективности изучения и коррекции микробиоты кишечника с помощью диетических моделей и конкретных пищевых компонентов.

Ключевые слова: микробный биоценоз, микрофлора кишечника, пробиотики, пребиотики, ферментация, микробиом, микробиота, питание.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 16.02.2020, принята к печати 28.04.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Кипрушкина Е. И., Колодязная В. С., Филиппов В. И., Шестопалова И. А., Бройко Ю. В., Андрухова К. О., Владыч М. А., Смолева А. В., Клементьев Д. А. Значение фактора питания в формировании кишечного микробиома // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С. 52–59.

The importance of nutrition in the forming of intestinal microbiome

D. Sc. **E. I. KIPRUSHKINA**¹, *D. Sc.* **V. S. KOLODYAZNAYA**,
Ph. D. **V. I. FILLIPPOV**, *Ph. D.* **I. A. SHESTOPALOVA**, *Ph. D.* **Yu. V. BROJYKO**,
K. O. ANDRUKHOVA, **M. A. VLADYCH**, **A. V. SMOLEVA**, **D. A. KLEMENTYEV**

¹kipelena@yandex.ru

ITMO University

The article analyses the reasons for investigating microbiota mechanisms of actions and metabolism in human body and the importance of nutrition in the changes of intestinal biodiversity. The interrelation between human health, nutrition, and the conditions of intestinal microflora are considered. The microbiome biodiversity increasing is paid attention to, the requirements for food ration are stated. The role of microflora in the pathogenesis of diseases is determined. Intestinal microbiome research and correction by dietary models and particular food components are concluded to be perspective.

Keywords: microbial community, gut flora, probiotics, prebiotics, fermentation, microbiome, microbiota, nutrition.

Article info:

Received 16/02/2020, accepted 28/04/2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59

Article in Russian

For citation:

Kiprushkina E. I., Kolodyaznaya V. S., Fillippov V. I., Shestopalova I. A., Broyko Yu. V., Andrukhoва K. O., Vladych M. A., Smoleva A. V., Klementyev D. A. The importance of nutrition in the forming of intestinal microbiome. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 2. p. 52–59.

Введение

Микробиом человека играет важную роль в обеспечении нормальной жизнедеятельности организма. Он защищает от патогенов, поддерживает иммунитет, уча-

ствует в переваривании пищи и обеспечивает производство важных компонентов питания. Разнообразие и численность микробного состава человека изменяется под действием разных факторов внешней среды, условий

проживания, пола и возраста, а также при появлении различных патологических состояний.

В статье представлены современные данные о роли питания в изменении микробного биоразнообразия кишечника, играющего ключевую роль в патогенезе многих заболеваний.

С целью представления данных о взаимосвязи стереотипов питания и состава кишечного микробиома, показана оценка потенциального изменения качественного и количественного состава микрофлоры кишечника человека при употреблении пищевых продуктов.

Рассматривается роль пребиотиков и пробиотиков, полученных с использованием биотехнологических приемов, в современной теории и практики адекватного питания для поддержания кишечного микробиома человека.

Среди многочисленных факторов внешней среды, именно питание является одним из важнейших, постоянно, целенаправленно и разнообразно влияющих на организм человека. Комплексным изучением питания занимается наука нутрициология [1]. Это самая мультидисциплинарная наука, которая включает в себя химию, физику, биологию, медицину, математику, информатику, новые направления знаний — геномику, протеомику, метаболомику, генетику... , политику. Такого диапазона возможностей нет ни у какой другой науки.

Правильное питание — это важнейший фактор здоровья и долголетия. А здоровье — самая большая ценность человеческой жизни. От состояния здоровья зависит все то, что делает нашу жизнь полноценной и счастливой: качество жизни, ее продолжительность, физическая активность и даже конкурентные преимущества на рынке труда и образования.

Анализ научной литературы показывает все возрастающий интерес ученых всех стран к более детальному изучению взаимосвязи между здоровьем человека, его питанием и состоянием кишечной микрофлоры [2]–[4]. До недавнего времени мир микробиома оставался мало изученным. Как это часто бывает с научными открытиями, полученные данные неправильно интерпретируются или из них делают ошибочные выводы. Непонимание роли микробиома происходило еще от того, что до последнего времени ученые не имели возможности изучать

живущие внутри человека микробы. Микробиом — это совокупность микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов и археобактерий), живущих внутри человека и на поверхности его кожи. Микробиота — это термин, который используется для характеристики микробиоценоза отдельных органов и систем (например, микробиота кишечника, кожи, плаценты, грудного молока, полости рта, дыхательных путей, мочеполовой системы и т. д.).

«Организм человека — сложный суперорганизм, симбиотическое сообщество многочисленных эукариотических, прокариотических клеток, вирусов и археобактерий. Метагеном этого суперорганизма состоит из генов собственно *Homo sapiens* и генов, присутствующих в геномах микроорганизмов, колонизирующих его тело» [5].

Связанная с человеком микробиота, состоит из не менее чем 40 000 бактериальных штаммов в 1800 родах, которые содержат до 10 млн, отличных от человека генов [6]. Биологическая среда человека изменчива и представлена различными типами микроорганизмов, заселяющих все экологические ниши организма. На уровне видов и штаммов, микробное расхождение между отдельными индивидуумами довольно значительно: каждый человек имеет свою четкую картину бактериальной композиции, частично обусловленную его генотипом, первичной колонизацией при рождении путем вертикальной передачи и диетическими привычками. Если составы микрофлоры людей очень похожи — значит, они близкие родственники, то есть микрофлоры обладают семейным сходством [6, 7]. Основные факторы, влияющие на изменения качественного и количественного состава микробиоты человека: физиологический статус человека, пол, образ жизни, включая питание, вредные привычки, место проживания, этническую принадлежность, заболевания, лекарственные препараты, экологические и профессиональные факторы и т. д. (рис. 1). Вес микробиома в основном зависит от массы тела человека и составляет от 1,2 до 3,5 кг.

В последние годы мы начали понимать, что большинство всего, что мы едим, влияет на микробы, которые живут в нашем организме, что, в свою очередь, оказывает влияние на нас. То, что мы едим за один прием пищи, может изменить наш микробиомный состав в течение 24 ч [8, 9].



Рис. 1. Факторы, влияющие на состав микробиоты
 Fig. 1. Factors affecting microbiota composition

Многие микроорганизмы помогают нам усваивать пищу, укрепляют иммунную систему, «включают» и «выключают» наши гены, заинтересованы в выживании своего хозяина (табл. 1). Микробиом регулирует многие жизненно важные процессы организма и даже оказывает влияние на поведение, мышление человека, является необходимым союзником в борьбе с болезнями [9, 10].

В условиях глобализации, миграции и урбанизации населения происходит изменение рациона питания без должной адаптации микробиома кишечника. Кишечная микрофлора попала в список возможных факторов риска возникновения ряда заболеваний, ученые и врачи отмечают при наличии того или иного заболевания в первую очередь проблемы с пищеварением [11, 12, 13, 14]. Разнообразие кишечной микробиоты программирует как здоровое функционирование органов и систем организма, так и риски соматических заболеваний. При развитии заболевания в избытке диагностируются «плохие» бактерии и резко снижается присутствие «хороших». Появляются новые исследовательские данные о взаимосвязи состава микробиоты с разными патологиями, такими как воспалительные заболевания кишечника, ожирение, сердечно-сосудистые, аутоиммунные и аллергические заболевания. В настоящее время получено множество неоспоримых доказательств того, что микробиота кишечника играет ключевую роль в патогенезе многих заболеваний

(рис. 2). Анализ микробиома позволяет диагностировать заболевания и прогнозировать их появление. Лекарства, существующие сегодня, не способны предсказуемо менять микрофлору. Микробиота кишечника является потенциальной мишенью для улучшения здоровья человека, и компоненты питания (как микро-, так и макроэлементы) признаны играющими важную роль.

Кишечник связан со всей иммунной системой, поэтому обитающие в человеческом организме микробы формируют иммунные ответы в целом. Иммунная система принимает, например, такие решения: как реагировать на вторжение патогенов; как будут возникать и развиваться аутоиммунные заболевания; какие типы микробов будут уничтожены, а какие останутся в составе микрофлоры. Некоторые исследователи микробиома даже предлагали дать иммунной системе новое название, которое отражало бы ее истинную роль, — «система взаимодействия с микробами».

То есть качество жизни и ее продолжительность зависит от микробов, которые живут в нас. Как сказал Хироси Шинья, известный японский врач, гастроэнтеролог и хирург, автор нескольких бестселлеров, посвященных здоровому образу жизни: «Войну с плохими бактериями, которую мы вели весь 20 век, мы проиграли! И единственный способ оздоровить и профилактировать свой организм — правильно кормить дружественных нам бактерий собственного микробиома» [15].

Таблица 1

Роль микробиоты кишечника

Table 1

The functions of intestinal microbiota

Метаболическая роль	Функция барьера	Защитная функция	Функция обслуживания
Способствует пищеварению: — ферментация неперевариваемых продуктов; — поглощение питательных веществ клетками кишечника; — синтез короткоцепочечных жирных кислот, витаминов, более 20 гормонов, бактерицинов, антиоксидантов; — участие в метаболизме желчных кислот, стероидов и т. д.	Щит против микробов, токсинов; производство защитной слизи,	Развитие иммунной системы; обеспечение колонизационной резистентности; синтез иммуноглобулинов	Регулирование моторной функции толстой кишки



Рис. 2. Доказанная роль микробиоты кишечника в патогенезе заболеваний
 Fig. 2. Proven role of intestinal microbiota in pathogenesis of diseases

«Сохранение видового состава микрофлоры необходимо для сохранения вида», — пишет А. М. Уголев в «Теории адекватного питания и трофология» [16]. Наши «старые друзья» эволюционируют вместе с нами тысячи лет. Внутри нас живет не менее тысячи видов, никогда не видевших дневной свет микроорганизмов, общая численность которых превышает 50 трлн. Такое разнообразие жизни не найти даже в тропическом лесу. Важны не только типы живущих в кишечнике бактерий, но и то, насколько они диверсифицированы, т.е. разнообразно представлены. Микробиом должен быть настолько «мультикультурным», насколько это возможно [17]. К сожалению, как и некоторые дикие животные, многие виды бактерий, живущие в кишечнике, могут десятилетиями пребывать в упадке и находиться на грани исчезновения. Причиной тому является однообразная пища, которую мы едим. Из более чем 200 000 видов известных съедобных растений мы используем не более 200. Потребляемая пища во всем мире на 75% состоит из 12 растений и пяти видов мяса. С возрастом ухудшаются обоняние, чувство вкуса, способность хорошо пережевывать пищу. Все это может приводить к кардинальной смене рациона, исключив из него растения, богатые пищевыми волокнами, жесткое мясо. Эти факторы меняют условия и в кишечнике [17, 18].

Другой причиной скудности и простоты микробиома является повсеместное использование медицинских препаратов и в первую очередь — антибиотиков не только в медицинских целях здравоохранения, но и в животноводстве. Пищевые добавки для пролонгации сроков хранения переработанных продуктов также способствуют обеднению микробиома [19].

Как повысить разнообразие микробиома

Во время приема пищи, в первую очередь необходимо оценивать пользу от употребляемых продуктов питания для здоровья микробиома. Микробиота кишечника — метаболически активный «орган», самовосстанавливающийся при изменениях, вызванных внешними факторами.

Можно сказать, что рациональное питание человека в значительной степени равно рациональному питанию микробов кишечника. Здоровое питание поддерживает процветающую микрофлору и таким образом обеспечивает каскадное положительное воздействие на здоровье. Эксперименты показывают, что диета, богатая пищевыми волокнами и бедная животными жирами, защищает микрофлору от упадка. Микробиота у разных людей обладает индивидуальными особенностями, поэтому и на диету отвечает по-разному. Однако, анализируя базовое состояние микробиома, можно предсказывать, будет ли микробиом реагировать на диету. Это можно применять для разработки персонализированных схем питания, которые помогут улучшить состояние конкретного человека [20].

Полезная микрофлора предъявляет к рациону питания четыре требования.

Первое — употребление продуктов, богатых доступными для микрофлоры углеводами (ДМУ) — пищевыми волокнами (клетчатка).

При покупке продуктов питания трудно ориентироваться какие именно ингредиенты, входящие в состав продукта, влияют на состав микрофлоры, способствуют

профилактике и коррекции нарушений биоценоза кишечника. На этикетке обычно указывается количество калорий, жиров, холестерина, натрия, белков и общее содержание углеводов, пищевая и энергетическая ценности. Многие фокусируют внимание на количестве калорий, жира и сахара и игнорируют все остальное. Две характеристики углеводов в продукте питания являются важными, но, к сожалению, не указываются на этикетках: гликемическая нагрузка и количество углеводов, питающих микрофлору. Чтобы вычислить, сколько приблизительно еды для микрофлоры содержится в данной упаковке, нужно понимать, как вообще интерпретируется количество углеводов. Содержание сахара — это вес всех моно- и дисахаридов, углеводов, которые с легкостью усваиваются системой кровообращения. Пищевые волокна (клетчатка) — это смесь полисахаридов, и эта подкатегория служит показателем, накормит ли этот продукт вашу микрофлору или нет. Пищевые волокна в свою очередь подразделяются на углеводы, которые ферментируются микрофлорой, и углеводы, которые недоступны микрофлоре, неферментируемые, но важные для онтогенеза пищеварительной системы [21].

Кишечная микробиота для своего питания использует два основных источника углеводов — доступные для микрофлоры углеводы (из пищевых волокон, которые мы едим) и защитный слой слизи, покрывающий кишечник. В идеале значительную часть углеводов кишечные бактерии должны получать от доступных для микрофлоры углеводов — пищевых волокон. Если же мы употребляем мало волокон, микробы начинают питаться слизью кишечника. Довольно скоро они могут эволюционировать, и мы получим сообщество, предпочитающее кишечную слизь другим видам пищи. Таким образом, окажется под угрозой слизистая кишечника — барьер, удерживающий бактерии на безопасном расстоянии от внутренних органов и систем.

Зачастую переключение на диету, богатую доступными для микрофлоры углеводами, приводит к кратковременному увеличению газообразования. Со временем микрофлора приспособится, и все нормализуется. Однако многие люди, включив в рацион высокое содержание пищевых волокон, столкнулись с неприятными последствиями и сократили употребление клетчатки. Чтобы свести дискомфорт к минимуму, можно повышать количество пищевых волокон постепенно, давая внутренней ферментации шанс приспособиться к увеличению доступных микрофлоре углеводов. Поддерживайте траекторию питания, которая выведет вас на 25–38 г пищевых волокон в день [21, 22].

Выбор пищи должен учитывать потребности микробов в конце пищеварительного тракта. Почти совсем нет доступных для микрофлоры углеводов в привычном завтраке из яиц, колбасы и белого хлеба. Если за таким завтраком следует обед из фастфуда с чипсами и газировкой — значит, микробы пропустили уже два приема пищи. Если на ужин съесть мясо, картофельное пюре и мягкие, разваренные овощи, получится, что микрофлора целый день голодала. Единственная доступная ей пища — кишечная слизь. Если ситуация повторяется день за днем, иммунная система может поднять тревогу и отреагировать воспалением в толстой кишке.

Диета, богатая ферментируемыми пищевыми волокнами, поддерживает более разнообразную популяцию микробов. Если в «меню» кишечной микрофлоры всегда одни и те же углеводы из слизи, это ограничит набор микробов, которые смогут размножиться. Но если вы предложите разнообразный ассортимент углеводов в диете, богатой овощами, фруктами и злаками, это позволит процветать многим типам микробов. В результате сформируется стабильное сообщество, которое полноценно защитит от инвазивных агентов и будет производить короткоцепочечные жирные кислоты — конечные продукты ферментации в кишечнике, полезные для здоровья [23].

Растения, содержащие инулин, такие как репчатый лук, лук-порей, чеснок, цикорий, листья одуванчика, топинамбур, спаржа, бананы, ячмень, овес, льняное семя — пребиотики — настоящее лакомство для кишечной микробиоты [19]. Если вы едите большое количество лука с высоким содержанием инулина, в вашей микрофлоре преобладают микробы, которые умеют ферментировать инулин. Яблоки поддержат распространение бактерий, разлагающих пектин. Пшеничные отруби накормят микробов, питающихся арабиноксиланами, а грибы помогут размножиться микробам, ферментирующим маннан.

Каждое растение содержит разнообразный набор углеводов, питающих микрофлору, а также множество углеводов, которые не подвержены микробному расщеплению. Растительное пищевое сырье, содержащее пребиотик бета-глюкан, обеспечивает активный рост полезных микроорганизмов, ответственных за иммунитет. Бета-глюканы связывают в кишечнике липопротеины низкой плотности, предотвращая их усвоение и попадание в кровь [19, 24]. Синтезируемые растениями пигменты и фитонутриенты, не только придают им цвет, но и выполняют множество более важных функций. Чем более «разноцветным» будет ваша питание, тем более разнообразно будут питаться и ваши кишечные микроорганизмы.

Какао, кофе — отличный источник полифенолов и флавоноидов, которые необходимы кишечным бактериям. Богаты полифенолами и сушеные травы. В процессе усвоения какао в толстой кишке вырабатывается оксид азота, который расширяет сосуды, что положительно сказывается на работе сердечно-сосудистой системы.

Красное вино, богатое полифенолами, значительно может увеличить бактериальное разнообразие, способствуя росту потенциально полезных представителей микрофлоры кишечника, включая лактобацилл и бифидобактерий [25]. Крепкие напитки не приносят пользы для микробиома. Учеными было зафиксировано изменение состава кишечных бактерий при употреблении красного вина, как и при употреблении чая, кофе, горького шоколада, фруктов и овощей, богатых различными по составу фенольными соединениями, которые могут модулировать кишечные микроорганизмы, обогащая их питание [26, 27, 28, 29]. Особенно заметно увеличивается количество бактериоидов, ассоциирующихся с нормальным весом, и бифидобактерий, контролирующих уровень холестерина.

Куркума обладает мощными антиоксидантными и противовоспалительными свойствами. Она подавляет

рост «плохих» бактерий, паразитов и патогенных грибов, а также укрепляет стенки кишечника.

Морские водоросли — уникальный пребиотик, полный витаминов, минералов, жирных кислот. При употреблении морских водорослей резко снижается количество болезнетворных бактерий, особенно кишечных палочек. Отмечается рост численности разных видов полезных бактерий при употреблении морских водорослей, снижаются воспалительные процессы в кишечнике, уменьшается тяга к сладкой и насыщенной быстрыми углеводами пище.

Пребиотики можно сравнить с удобрением, стимулирующим рост численности полезных бактерий. Древние жители употребляли около 135 г в сут грубых волокон, сегодня в лучшем случае — 10–20 г в сут. В среднем каждые 10 г пребиотических углеводов, которые попадают в кишечник, способствуют росту около 3 г полезных микроорганизмов. Это примерно 3 трлн новых полезных организмов [21].

Второе важное правило диеты для полезной микрофлоры — ограниченное употребление мяса. В нем содержится химическое вещество L-карнитин. Микробы в кишечнике преобразуют L-карнитин в триметиламин (ТМА), который окисляется в триметиламиноксид (ТМАО) [30]. При регулярном употреблении мяса отмечается высокий уровень ТМАО, что связано со значительным риском развития инсульта и сердечного приступа [30, 31]. Растительная диета с незначительным содержанием мяса или совсем без него снижает уровень ТМАО. Даже если вегетарианцы или веганы едят мясо, уровень ТМАО повышается незначительно — скорее всего, потому что у них в кишечнике не так много бактерий, вырабатывающих ТМА. Пока не станет ясно, какой состав микрофлоры устойчив к производству ТМАО вне зависимости от диеты, наиболее безопасный вариант — сокращение употребления мяса, особенно красного, в котором уровень L-карнитина наиболее высокий. Важно также не только какого цвета мясо — красное или белое, а то, в каких условиях оно было произведено. Если животные, птица выращены на антибиотиках и гормонах, то это мясо точно не принесет пользу микробиому, даже наоборот. Полезно мясо животных травяного откорма.

Третье правило — ограниченное употребление насыщенных жиров. Диета, богатая жирами, создает условия для процветания патобионтов, которые могут вызывать воспаление в кишечнике. Мононенасыщенные жиры растительного происхождения не поощряют активное размножение патобионтов. Употребление растительных масел (например, оливкового) и таких продуктов, как авокадо, удовлетворит потребности организма в жире, не оказывая содействия патобионтам, затаившимся в кишечнике [32, 33].

Оливковое масло extra-virgin — источник полифенолов и антиоксидантов.

Жирная рыба. Особенно полезны лосось, тунец, форель, сардины, скумбрия и сельдь. Как и в оливковом масле, в рыбе содержится много полезных жиров, особую ценность представляют полиненасыщенные жирные кислоты, которые способствуют заметному росту численности бактерий, участвующих в синтезе бутирата в кишечнике. Бутират, или масляная кислота, является уди-

вительным веществом, контролирующим рост клеток кишечника, обладает мощным противовоспалительным эффектом [34, 35]. Воспаление кишечника представляет серьезную опасность, вызывает боли, вздутие живота, повышенное газообразование, рак кишечника. Бутират, улучшая состояние слизистой оболочки кишечника, препятствует воспалению, всасыванию бактерий и токсинов в кровь.

Рыбий жир в капсулах не заменяет употребление жирных сортов рыбы. Многие эксперты говорят об отсутствии пользы при приеме данных капсул. Команда новозеландских ученых тщательно изучила продающиеся по всему миру капсулы и с удивлением обнаружила, что в большинстве случаев рыбий жир в них успел окислиться, несмотря на то, что срок годности не истек [36]. Кислоты омега-3 весьма нестабильны и с момента добычи рыбьего жира до аптечных полок могут утратить все полезные свойства в составе лекарственных препаратов

Четвертый фактор питания, поддерживающего хорошую микрофлору, — употребление полезных микробов, или пробиотиков. Люди тысячелетиями получали микроорганизмы из окружающей среды, особенно до распространения технологий замораживания пищевого сырья и продуктов питания и санитарии. Сегодня нужные бактерии можно также найти в ферментированных продуктах. Их регулярное употребление снижает риск заболевания от респираторных патогенов и патогенов пищевого происхождения.

Однако, нестрогий контроль за пробиотиками наряду с чересчур экспрессивными утверждениями о способностях этих продуктов создал на рынке ситуацию, которая может сбить с толку потребителя. Кроме того, пока не создан универсальный пробиотик. Поэтому, чтобы найти средство, полезное именно вам, нужно пробовать разные виды пробиотиков.

Нет никаких данных о превосходстве одних штаммов над другими. Известно лишь, что потребление бактерий из ферментированных продуктов питания в целом благотворно влияет на здоровье. Существует целый мир ферментированных продуктов питания. Попробуйте разные варианты ферментированной пищи, чтобы понять, что наилучшим образом подходит вам и вашей микрофлоре [37, 38]. Необходимо исключать из рациона многократно обработанную еду с добавлением пробиотических культур (зачастую ее продают в красочно оформленной, яркой упаковке).

Группа израильских ученых пришла к выводу: продукты, искусственно обогащенные пробиотиками — биологически активными добавками, содержащими живые микрокультуры, на самом деле практически бесполезны: выживаемость пробиотиков в ЖКТ экспериментальных животных не превышает 0,0001 % [39]. Исследователи говорят о том, что в будущем пробиотики нужно будет адаптировать к потребностям конкретного потребителя.

Микробные содружества микробиома организованы в так называемые биопленки, сбалансированные по видовому составу и функциональному распределению членов сообщества. Внутри биопленки происходит адгезия микробов к различным поверхностям и коадгезия. Чем плотнее биопленка, тем меньше возможности внедриться в нее другим микробам. Результаты, опубликованные

в журнале «Cell», показывают, что в половине случаев поступившие в организм с пищей полезные пробиотические бактерии незамедлительно покидали его естественным путем. Биотехнологические пробиотики в форме медицинских препаратов не имеют «пароля» для входа пробиотических микробов внутрь биопленки кишечника, и поэтому пребывают в нем также транзитивно, как микрофлора пищи.

Пробиотические добавки — чаще «пустышки» в сложно сформированном микробиоме, выше эффект от пребиотиков, которые действуют подобно удобрению для биома [40, 41].

Эра единой модели пробиотиков проходит. В перспективе, при проведении пробиотической терапии, скорее всего, будут принимать во внимание развитие микрофлоры на разных этапах жизни [42]. А пока подобные пробиотики, учитывающие возраст и индивидуальные особенности человека, недоступны, потребителям приходится выбирать подходящий продукт методом проб и ошибок.

Заключение

Резюмируя материалы, приведенные в данном обзоре, можно с уверенностью сказать, что микробиота играет огромную роль в метаболизме нутриентов, выработке гормонов, трансмисмиттеров. Различные состояния, а также качество и количество поступающей пищи, нарушающие нормальное функционирование микрофлоры, неизбежно приводят к нутриентной недостаточности, являются фактором нарушения патологического изменения метаболизма в целом.

Насыщение организма комплексом бактерий является рациональным и полезным, с точки зрения поддержания общего состояния здоровья человека и резистентности к инфекциям. Именно поэтому актуальны исследования микробиома человека, взаимосвязи функций кишечной микрофлоры и управлением голодом, уровнем сахара в крови, количеством извлеченной энергии из съеденной пищи, вкусовыми предпочтениями, выбором еды, работой головного мозга, влияния рационов на настроение, функциональные возможности и психическое здоровье человека в целом. Человеческий организм — сложная экосистема. Думая о своем здоровье, нужно помнить о микроорганизмах, которые на нас и в нас обитают, и о том, какое воздействие наш рацион и образ жизни оказывают на нашу микробную сущность.

Проведенный анализ исследований свидетельствует о том, что микрофлора кишечника является ключевым фактором, опосредующим взаимосвязь между особенностями питания, здоровьем и долголетием человека. Наиболее перспективными в настоящее время следует считать направление изучения и коррекция микробиоты кишечника с помощью диетических моделей и конкретных пищевых компонентов.

Необходимы направленные исследования влияния диетического вмешательства на внутри- и межиндивидуальную изменчивость кишечного микробиома, что позволит любому человеку взять под контроль программирование (или перепрограммирование) микробного биоразнообразия кишечника с целью профилактики и коррекции нарушений его биоценоза.

Литература/References

1. Тель Л. З. и др. Нутрициология: учебник. — М.: Литтерра, 2018. 544 с. [Tel L. Z. et al. Nutriciology: textbook. Moscow, Litterra, 2018. 544 p. (in Russian)]
2. Aagaard K., Petrosino J., Keitel W., Watson M., Katancik J., Garcia N., et al. The Human Microbiome Project strategy for comprehensive sampling of the human microbiome and why it matters. *FASEB J.* 2013;27 (3):1012–22.
3. NIH HMP Working Group, Peterson J., Garges S., Giovanni M., McInnes P., Wang L., et al. The NIH Human Microbiome Project. *Genome Res.* 2009; 19 (12): 2317–2323.
4. Backhed F., Ley R. E., Sonnenburg J. L., Peterson D. A., Gordon J. I. Host-bacterial mutualism in the human intestine. *Science.* 2005; 307 (5717): 1915–1920.
5. Lederberg J. Infectious history. *Science* 2000; 288: 287–293.
6. De Vrese M., Philippe R. Marteau. Probiotics and Prebiotics: Effects on Diarrhea. *J Nutr.* 2007;137:803–811.
7. Claesson M. J., Jeffery I. B., Conde S., et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. *Nature*, 2012, 488: 178–184.
8. Huycke M. M., Gaskins H. R. Commensal bacteria, redox stress, and colorectal cancer: mechanisms and models. *Exp. Biol. Med. (Maywood).* 2004; 229: 586–597.
9. Isolauri E., Kalliomaki M., Laitinen K., Salminen S. Modulation of the maturing gut barrier and microbiota: a novel target in allergic disease. *Curr. Pharm. Des.* 2008; 14: 1368–1375.
10. Stilling R., Dinan T., Cryan J. Microbial genes, brain&behavior — epigenetic regulation of the gut-brain axis. *Genes, Brain and Behav.* 2013; 13: 69–86.
11. Rieder R., Wisniewski P. J., Alderman B. L., Campbell S. C. Microbes and mental health: A review. *Brain, Behavior, and Immunity.* 2017, 66: 9–17.
12. Proal A. D., Albert P. J., Marshall T. G. Autoimmune disease in the Human Metagenome. In: Nelson K. (eds). *Metagenomics of the Human Body.* Springer, New York, NY. 2011.
13. Needell J. C., Zipris D. The Role of the Intestinal Microbiome in Type 1 Diabetes Pathogenesis. *Curr. Diab. Rep.* 2016 Oct; 16 (10): 89.
14. Boulangé C. L., Neves A. L., Chilloux J., Nicholson J. K., Dumas M-E. Impact of the gut microbiota on inflammation, obesity, and metabolic disease. *Genome Med.* 2016 Apr 20; 8 (1): 42.
15. Ding H. T., Taur Y., Walkup J. T. Gut Microbiota and Autism: Key Concepts and Findings. *J Autism Dev Disord.* 2017 Feb; 47 (2): 480–489.
16. Hiromi Shinya. *The Enzyme Factor.* San Francisco: Council Oak Books, 2007. 168 p.
17. Уголев А. М. Трофология — новая междисциплинарная наука. // Вестник АН СССР. 1980, № 1. С. 50–68. [Ugolev A. M. food Sciences is a new interdisciplinary science. *Vestnik an SSSR.* 1980, no. 1. Pp. 50–68. (in Russian)]
18. Мосли М. Твой кишечник не дурак// пер. с англ. А. Толмачева. М.:РИПОЛ классик, 2018. 272 с. [Mosley M. Your gut is not a fool. Translated from the English by A. Tolmachev. Moscow, RIPOLL classic, 2018. 272 p. (in Russian)]
19. Mchiza Z. J., Steyn N. P., Hill J., Kruger A., Schönfeldt H., Nel J., et al. A review of dietary surveys in the adult South African population from 2000 to 2015. *Nutrients.* 2015; 7 (9): 8227–8250.
20. Falony G., Joossens M., Vieira-Silva S., Wang J., Darzi Y., Faust K., et al. Population-level analysis of gut microbiome variation. *Science.* 2016 Apr 29; 352 (6285): 560–564.
21. Шагина В. Н., Блохина И. И., Серов И. С. Влияние кишечной микрофлоры на здоровье человека // Молодой ученый. 2019. № 28. С. 200–203. [Shagina V. N., Blokhina I. I., Serov I. S. Influence of intestinal microflora on human health. *Young scientist.* 2019. no. 28. Pp. 200–203. (in Russian)]
22. Сонненбург Д., Сонненбург Э. Здоровый кишечник. Как обрести контроль над весом, настроением и самочувствием. Пер. с англ. Е. Куприяновой. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 256 с. [Sonnenburg D., Sonnenburg E. Healthy gut. How to gain control over weight, mood and well-being. TRANS. with English E. Kupriyanova. M.: Mann, Ivanov and Ferber, 2019. 256 p. (in Russian)]
23. Чиркин В. И., Лазарев И. А., Ардатская М. Д. Долгосрочные эффекты препарата пищевых волокон псиллиума у пациентов с метаболическим синдромом // Клинические перспективы гастроэнтерологии, гепатологии. 2012. № 1. С. 34–42. [Chirkin V. I., Lazarev I. A., Ardatskaya M. D. long-Term effects of psyllium dietary fiber preparation in patients with metabolic syndrome. *Clinical perspectives of gastroenterology, hepatology.* 2012. No. 1. P. 34–42. (in Russian)]
24. Canfora E. E., Jocken J. W., Blaak E. E. Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. *Nat Rev Endocrinol.* 2015 Oct; 11 (10): 577–591.
25. Selma M. V., Espin J. C., Tomas-Barberan F. A. Interaction between phenolics and gut microbiota: Role in human health. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 6485–6501.
26. Etxeberria U., Arias N., Boqué N., Macarulla M., Portillo M., Martínez J., Milagro F. Reshaping faecal gut microbiota composition by the intake of trans-resveratrol and quercetin in high-fat sucrose diet-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* 2015, 26, 651–660.
27. Taira T., Yamaguchi S., Takahashi A., Okazaki Y., Yamaguchi A., Sakaguchi H., Chij H. Dietary polyphenols increase fecal mucin and immunoglobulin a and ameliorate the disturbance in gut microbiota caused by a high fat diet. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 2015, 57, 212–216.
28. Wang L., Zeng B., Liu Z., Liao Z., Zhong Q., Gu L., Wei H., Fang X. Green tea polyphenols modulate colonic microbiota diversity and lipid Metab. in high-fat diet treated hfa mice. *J. Food Sci.* 2018, 83, 864–873.
29. Raninen K., et al. Dietary Fiber Type Reflects Physiological Functionality: Comparison of Grain Fiber, Inulin, and Polydextrose. *Nutr. Rev.* 2011. 69.1: 9–21.
30. Koeth R. A., et al. Intestinal Microbiota Metabolism of L-Carnitine, a Nutrient in Red Meat, Promotes Atherosclerosis. *Nat Med.* 2013. 19.5: 576–585.
31. Drouin-Chartier J. P., et al. Systematic review of the association between dairy product consumption and risk of cardiovascular-related clinical outcomes. *Advances in Nutrition.* 2016. Vol. 7 (6). P. 1026–1040.
32. Díaz-López A., et al. Dairy product consumption and risk of type 2 diabetes in an elderly Spanish Mediterranean population at high cardiovascular risk. *European Journal of Nutrition.* 2016. Vol. 55 (1). P. 349–360.
33. Yu E., Hu F. B. Dairy Products, dairy fatty acids, and the prevention of cardiometabolic disease: a review of recent evidence. *Current Atherosclerosis Report.* 2018. Vol. 20 (5). 24.
34. Drouin-Chartier J. P., et al. Systematic review of the association between dairy product consumption and risk of cardiovascular-

- related clinical outcomes. *Advances in Nutrition*. 2016. Vol. 7 (6). P. 1026–1040.
35. Blottiere H. M., Buecher B., Galmiche J. P., Cherbut C. Molecular analysis of the effect of short-chain fatty acids on intestinal cell proliferation. *Proc. Nutr. Soc.* 2003; 62 (1): 101–106.
36. Evangelos C. Rizos, Evangelia E. Ntzani, Eftychia Bika, et al. Association Between Omega-3 Fatty Acid Supplementation and Risk of Major Cardiovascular Disease Events: a Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*. 2012. 308 (10):1024–1033.
37. Park K. Y., Jeong J. K., Lee Y. E., Daily J. W. Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food. *Journal of Medicinal Food*. 2014. Vol. 17. P. 6–20.
38. An S. Y., et al. Beneficial effects of fresh and fermented kimchi in prediabetic individuals. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2013. Vol. 63. P. 111–119. DOI: 10.1159/000353583.
39. David Zeevi, et al. Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Response. *Cell*. 2015, 163, 1079–1094.
40. Morgan X. C., et al. Dysfunction of the intestinal microbiome in inflammatory bowel disease and treatment. *Genome Biol*. 2012. 13: 76–79
41. Versalovic J. The Human Microbiome and Probiotics: Implications for Pediatrics. *Ann Nutr Metab*. 2013. 63 (Suppl. 2): 42–52.
42. Ley R. E., Lozupone C., Hamady M., Knight R., Gordon J. I. Worlds within worlds: evolution of the vertebrate gut microbiota. *Nature Rev Microbiol*. 2008. Vol. 6. P. 776–88.

Сведения об авторах

Кипрушкина Елена Ивановна

Д.т. н., доцент факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kipelena@yandex.ru, Researcher ID (WoS) N-1474–2014, Scopus ID 56539993600, SPIN-код: 4424–6265, AuthorID: 342009, ORCID 0000-0001-5350-4550

Колодязная Валентина Степановна

Д.т. н., профессор факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kvs_holod@mail.ru, Researcher ID (WoS) A-5106–2019, Scopus ID 55801868700, Author ID (РИНЦ) 547638

Филиппов Валерий Иванович

К.т. н., преподаватель факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, valery98rus@mail.ru

Шестопалова Ирина Анатольевна

К.т. н., доцент факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, irina_1_83@mail.ru, Scopus ID 57195994915

Бройко Юлия Владимировна

К.т. н., старший преподаватель факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, yuliyabroyko@mail.ru, Scopus ID 56180863600

Андрухова Ксения Олеговна

Магистрант факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, andrukova.ksenia@yandex.ru

Владыч Маргарита Алексеевна

Магистрант факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, vladych.margaret@gmail.com

Смолева Анна Владимировна

Магистрант факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, smole-anya@yandex.ru

Клементьев Дмитрий Анатольевич

Аспирант факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, klementjev.dmitry2016@yandex.ru

Information about authors

Kiprushkina Elena I.

D. Sc., Associate Professor of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, kipelena@yandex.ru, Researcher ID (WoS) N-1474–2014, Scopus ID 56539993600, SPIN-код: 4424–6265, AuthorID: 342009, ORCID 0000-0001-5350-4550

Kolodyaznaya Valentina S.

D. Sc., Professor of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, kvs_holod@mail.ru, ID (WoS) A-5106–2019, Scopus ID 55801868700, Author ID 547638

Fillippov Valeriy I.

Ph.D., Lecturer of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, valery98rus@mail.ru

Shestopalova Irina A.

Ph.D., Associate Professor of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, irina_1_83@mail.ru, Scopus ID 57195994915

Broyko Yuliya V.

Ph.D., Senior lecturer of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, yuliyabroyko@mail.ru, Scopus ID 56180863600

Andrukhoa Ksenia O.

Undergraduate of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, andrukhoa.ksenia@yandex.ru

Vladych Margarita A.

Undergraduate of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, vladych.margaret@gmail.com

Smoleva Anna V.

Undergraduate of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, smole-anya@yandex.ru

Klementyev Dmitry A.

Graduate student of Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, klementjev.dmitry2016@yandex.ru