DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

Потребление предпочитаемых овощей и фруктов и микробиота толстой кишки у молодых жителей Архангельска

Н.Н. Кукалевская[1], Т.А. Бажукова[1], М.А. Сабанаев[1], А.М. Гржибовский[1–3]

[1] Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;
[2] Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;
[3] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Состав микробиоты подвержен воздействиям окружающей среды, в том числе пищевого поведения. Имеется достаточное количество исследований по изучению характера и особенностей питания у жителей Севера, однако информации о влиянии овощей и фруктов на микробиоту северян крайне мало.

Цель. Изучить влияние потребления предпочитаемых овощей и фруктов на микробиоту толстой кишки у молодых жителей Архангельска на примере студентов и сотрудников медицинского вуза.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 90 человек (23 мужчины и 67 женщин) из числа сотрудников и студентов СГМУ. Критерии включения: возраст от 18 до 45 лет, практически здоровые лица, индекс массы тела в пределах нормы, без острых и хронических воспалительных заболеваний на момент исследования. Употребление овощей и фруктов оценивали по данным анкетирования. Материалом для молекулярно-генетического исследования представителей микробиоты толстой кишки являлись фекалии. Оценку связи между употреблением овощей и фруктов и микробиотой проводили с помощью многомерных медианных регрессионных моделей с коррекцией на пол, возраст и регион постоянного проживания для каждого из 33 показателей микробиоты.

Результаты. Ежедневно овощи употребляли 43,33% респондентов, фрукты — 15,56%. Чаще всего участники потребляли томаты (77,78%) и огурцы (80,00%), лишь 25,00% употребляли картофель и морковь. Среди фруктов чаще всего потребляли яблоки (74,44%), далее бананы (57,78%) и цитрусовые (41,11%). Значимые связи обнаружены между *Methanobrevibacter smithii* и томатами (p=0,008), а также морковью (p=0,006), между *Prevotella* spp. и огурцами (p=0,032), между *Blautia* spp. и морковью (p=0,002), бананами (p=0,020). Концентрация *Acinetobacter* spp. была связана с томатами (p=0,036), картофелем (p=0,028) и цитрусовыми (p=0,019), а *Bifidobacterium* spp. — с картофелем (p=0,039) и цитрусовыми (p=0,002). Прямая связь выявлена между *Bacteroides* spp и огурцами (p=0,023).

Заключение. Выявлены значимые связи между употреблением ряда овощей и фруктов и численностью отдельных микроорганизмов. Знания об алиментарных факторах, влияющих на микробиоту, позволяют составлять персонифицированный и сбалансированный рацион для обогащения биоразнообразия микробиоты и улучшения качества жизни северян.

Ключевые слова: микробиота; толстая кишка; овощи; фрукты; Арктика.

Как цитировать:
Кукалевская Н.Н., Бажукова Т.А., Сабанаев М.А., Гржибовский А.М. Потребление предпочитаемых овощей и фруктов и микробиота толстой кишки у молодых жителей Архангельска // Экология человека. 2024. Т. 31, № 4. С. 279–290. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

Рукопись поступила: 27.06.2024 **Рукопись одобрена:** 07.10.2024 **Опубликована online:** 06.11.2024

ЭКО • ВЕКТОР

Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2024

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

Preferred fruit and vegetable consumption and colonic microbiota in young residents of Arkhangelsk

Natalia N. Kukalevskaya[1], Tatyana A. Bazhukova[1], Michael A. Sabanaev[1], Andrej M. Grjibovski[1–3]

[1] Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;
[2] Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;
[3] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The composition of colonic microbiota is influenced by environmental factors, including dietary habits. Several studies on dietary habits and nutrition of Arctic residents have been published, but the information on the associations between fruit and vegetable consumption and gut microbiota is scarce.

AIM: This study aimed to evaluate the impact of preferred fruit and vegetable consumption on colonic microbiota in young residents of Arkhangelsk, using a sample of students and staff from a medical university.

MATERIAL AND METHODS: The study included 90 healthy volunteers (23 men and 67 women) from Northern State Medical University in Arkhangelsk aged 18–45 years with a normal body mass index. Fruit and vegetable consumption was assessed using a questionnaire. Stool samples were collected for molecular genetic analysis of colonic microbiota. Associations between fruit and vegetable consumption and concentrations of 33 microbiota indicators were examined using multivariable median regression, with adjustments made for age, gender, and place of origin.

RESULTS: Vegetables and fruits were consumed daily by 43.33% and 15.56% of respondents, respectively. The most frequently consumed vegetables were tomatoes (77.78%) and cucumbers (80.0%), while only 25.00% consumed potatoes and carrots. Among fruits, apples were consumed most frequently (74.44%), followed by bananas (57.78%) and citrus fruits (41.11%). Significant associations were found between *Methanobrevibacter smithii* and tomatoes (p=0.008) and carrots (p=0.006), between *Prevotella* spp. and cucumbers (p=0.032), *Blautia* spp. and carrots (p=0.002) and bananas (p=0.020). Additionally, association was found for *Acinetobacter* spp. with tomatoes (p=0.036), potatoes (p=0.028) and citrus fruits (p=0.019), *Bifidobacterium* spp. with potatoes (p=0.039) and citrus fruits (p=0.002). Direct association was found between *Bacteroides* spp. and cucumbers (p=0.023).

CONCLUSION: Our findings on the associations between selected fruits and vegetables and microbial concentrations may contribute to the development of personalized and balanced diet to enrich microbiota biodiversity and improve the quality of life of the residents of the North.

Keywords: microbiota; colon; vegetables; fruits; Arctic.

To cite this article:
Kukalevskaya NN, Bazhukova TA, Sabanaev MA, Grjibovski AM. Preferred fruit and vegetable consumption and colonic microbiota in young residents of Arkhangelsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2024;31(4):279–290. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

Received: 27.06.2024 **Accepted:** 07.10.2024 **Published online:** 06.11.2024

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2024

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

年轻阿尔汉格尔斯克居民偏好蔬菜水果的摄入与结肠微生物群的关系

Natalia N. Kukalevskaya[1], Tatyana A. Bazhukova[1], Michael A. Sabanaev[1], Andrej M. Grjibovski[1–3]

[1] Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;
[2] Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;
[3] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

摘要

背景。微生物群的组成受多种环境因素的影响，其中饮食行为是关键因素之一。尽管北方居民饮食特点的研究已有较多文献支持，但有关蔬菜和水果摄入对北方居民微生物群影响的研究仍极其有限。

研究目的。分析阿尔汉格尔斯克年轻居民（以医科大学的学生和工作人员为例）对蔬菜和水果的偏好及其与结肠微生物群组成之间的关系。

材料与方法。研究纳入90名参与者（23名男性和67名女性），均为北方国立医科大学的学生或工作人员。入选标准包括：18至45岁之间、身体健康、体重指数正常，以及在研究期间无急性或慢性炎症性疾病。通过问卷调查评估蔬菜和水果的摄入情况，并通过粪便样本进行结肠微生物群的分子遗传学分析。利用多变量中位数回归模型评估33种微生物群指标与蔬菜和水果摄入的关系，调整因素包括性别、年龄和常住地区。

结果。每日食用蔬菜的参与者占43.33%，每日食用水果的参与者占15.56%。最常食用的蔬菜是番茄（77.78%）和黄瓜（80.00%），土豆和胡萝卜的摄入率相对较低（25.00%）。最常见的水果包括苹果（74.44%）、香蕉（57.78%）和柑橘类水果（41.11%）。显著关联如下：Methanobrevibacter smithii 与番茄（p=0.008）和胡萝卜（p=0.006）显著相关；Prevotella spp. 与黄瓜（p=0.032）显著相关；Blautia spp. 与胡萝卜（p=0.002）和香蕉（p=0.020）显著相关；Acinetobacter spp. 与番茄（p=0.036）、土豆（p=0.028）和柑橘类水果（p=0.019）显著相关；Bifidobacterium spp. 与土豆（p=0.039）和柑橘类水果（p=0.002）显著相关； Bacteroides spp. 与黄瓜（p=0.023）显著相关。

结论。研究表明，特定蔬菜和水果的摄入显著影响某些微生物的数量和分布。更深入地研究饮食因素对微生物群的影响，有助于为北方居民制定个性化饮食方案，从而改善微生物群的多样性与整体生活质量。

关键词：微生物群；结肠；蔬菜；水果；北极地区。

引用本文：
Kukalevskaya NN, Bazhukova TA, Sabanaev MA, Grjibovski AM. 年轻阿尔汉格尔斯克居民偏好蔬菜水果的摄入与结肠微生物群的关系. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2024;31(4):279–290. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco633894

收到: 27.06.2024 **接受:** 07.10.2024 **发布日期:** 06.11.2024

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2024

ОБОСНОВАНИЕ

Микробиота толстой кишки — это самое многочисленное микробное сообщество организма человека. Оно состоит из 700 и более родов и 2500 видов микроорганизмов [1]. Состав микробиоты специфичен для хозяина, развивается на протяжении всей жизни и подвержен как экзогенным, так и эндогенным воздействиям. Эволюционно сложившаяся микроэкологическая сбалансированная система пребывает в динамическом равновесии с симбионтной микрофлорой, формируя микробные ассоциации, занимающие в ней определённую экологическую нишу [2].

Таксономические вариации кишечного микробиома на уровне типов и биоразнообразия позволяют оценивать общее состояние микробного населения в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) организма-хозяина в зависимости от пищевых потребностей у людей в разном возрасте. Но, как следует из большинства работ, в средней здоровой популяции более тонкий родовой и видовой состав остаётся недостаточно изученным. Это затрудняет оценку влияния на микробиом экзогенных и эндогенных факторов, в том числе алиментарных [3].

Важнейшими факторами, влияющими на структуру и характер питания, являются социально-экономические, такие как место проживания, уровень дохода семьи, доля расходов на питание, состав семьи и уровень образования [4]. В России в последние годы отмечается тенденция к снижению потребления молока и молочных продуктов, рыбы и морепродуктов, мяса и мясных продуктов, яиц, а также овощей и фруктов [5]. Исследование, проведённое в 38 субъектах федерации, выявило существенные нарушения структуры питания среди детского населения: снижение потребления свежих овощей и фруктов, избыточное потребление сахара и кондитерских изделий [6]. Всемирная организация здравоохранения рекомендует употреблять минимум 400 г овощей и фруктов в сутки для предотвращения хронических заболеваний системы кровообращения, новообразований, диабета и ожирения [7]. Овощи и фрукты богаты важными для организма человека нутриентами, включая витамины, минералы, пищевые волокна и ряд фитохимических элементов. Их употребление способствует поддержанию здоровья сердечно-сосудистой системы: повышение в рационе фруктов и овощей может помочь снизить уровень артериального давления [8]. Как источник пищевых волокон растительная пища способствует более ранним сигналам насыщения и более длительному ощущению сытости, снижая при этом потребление пищи, что предотвращает набор избыточной массы тела и выраженное ожирение, сопровождаемое различными клиническими осложнениями [9].

Характер и биоразнообразие микробиоты формируются под воздействием факторов окружающей среды, что указывает на необходимость её изучения у лиц, проживающих в различных климатогеографических областях. Жизнедеятельность человека на Севере связана с такими неблагоприятными факторами, как превалирующая отрицательная температура воздуха, резкие перепады атмосферного давления, нестабильность состояния магнитосферы, естественный фотопериодизм и так далее, адаптация к которым достигается ценой значительного морфофункционального напряжения. Сохранение здоровья в условиях сурового климата возможно лишь при наличии полноценного и сбалансированного питания. Однако в настоящее время структура питания коренного и пришлого населения Севера стала носить выраженный углеводно-липидный характер с пониженным содержанием витаминов, минералов, пищевых волокон и других важнейших нутриентов [10]. Отмечается высокая углеводная нагрузка на организм жителей Арктической зоны России, у которых уровень потребления сахара превышает рекомендованный на 44% [11]. Однако, несмотря на большое количество исследований, посвящённых изучению характера и особенностей питания населения Севера, в рецензируемой научной литературе практически отсутствует информация о связи характера питания и биоразнообразия микробиоты.

Цель исследования. Изучить влияние потребления предпочитаемых овощей и фруктов на микробиоту толстой кишки у молодых жителей Архангельска на примере студентов и сотрудников медицинского вуза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили с марта 2023 г. по февраль 2024 г. В выборочную совокупность вошли 90 студентов и сотрудников Северного государственного медицинского университета, находящегося в Архангельске, который по природно-климатическим характеристикам приравнен к территориям Крайнего Севера и входит в Арктическую зону Российской Федерации.

Критерии включения в исследование: возраст от 18 и до 45 лет, индекс массы тела (ИМТ) в пределах нормы, отсутствие острых и хронических воспалительных заболеваний, а также аутоиммунных, аллергических, эндокринных, злокачественных новообразований.

Употребление антибактериальных или пробиотических препаратов в течение трёх месяцев до сбора материала для исследования, отсутствие добровольного информированного согласия и анкеты участника исследования были критериями исключения.

Материал для проведения исследования — фекалии. Микробиоту толстой кишки изучали с помощью молекулярно-генетического метода — полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. Выделение ДНК из фекалий проводили с помощью комплекта реагентов («ДНК-сорб-В», AmpliSens, Россия) в соответствии с инструкцией по применению. Пробы очищенных ДНК хранили в замороженном виде при –20 °C не более одного месяца. Проведение полимеразной цепной

реакции в режиме реального времени осуществляли с помощью набора реагентов «Колонолор-16 премиум» («АльфаЛаб», Россия). Данный набор выявляет 33 показателя (общая бактериальная масса, *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., *Escherichia coli, Bacteroides* spp., *Faecalibacterium prausnitzii*, соотношение *Bacteroides* spp., *Faecalibacterium prausnitzii, Bacteroides thetaiotaomicron, Akkermansia muciniphila, Enterococcus* spp., *Escherichia coli enteropathogenic, Klebsiella pneumoniae, Klebsiella oxytoca, Candida* spp., *Staphylococcus aureus, Clostridioides difficile, Clostridium perfringens, Proteus vulgaris/mirabilis, Citrobacter* spp., *Enterobacter* spp., *Fusobacterium nucleatum, Parvimonas micra, Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Blautia* spp., *Acinetobacter* spp., *Agathobacter rectalis, Streptococcus* spp., *Roseburia inulinivorans, Prevotella* spp., *Methanobrevibacter smithii, Methanosphaera stadmanae, Ruminococcus* spp.). Количественное содержание микроорганизмов выражали в lg КОЕ/г.

Участники исследования заполняли анкету, разработанную на кафедре клинической биохимии, микробиологии и лабораторной диагностики СГМУ на основании данных о факторах питания, которые, по материалам мировой и отечественной литературы, способны оказывать влияние на биоразнообразие микробиоты толстой кишки. В паспортную часть анкеты были включены вопросы про пол, возраст, вес и рост, которые использовали для расчёта ИМТ и исключения из исследования участников с ИМТ, выходящим за пределы нормальных значений. Далее были включены вопросы, позволяющие исключить опрошенных из исследования: наличие хронических заболеваний, употребление антибиотиков/пробиотиков (симбиотиков), если да, то каких. При этом употребление любых антибиотиков являлось критерием исключения. Следующий блок — вопросы по питанию: потребление овощей и фруктов, молочных продуктов, мяса и морепродуктов, чая и кофе, а также алкогольной продукции. В данной статье мы остановились на влиянии растительной пищи (овощей и фруктов) на микробиоту толстой кишки. Предполагалось, что респонденты отвечали согласно своим вкусовым предпочтениям и характеру рациона в период пребывания на территории Архангельска (без учёта летних каникул).

У респондентов узнавали частоту потребления овощей/фруктов: «ежедневно», «1–2 раза в неделю», «3–4 раза в неделю», «5–6 раз в неделю», «несколько раз в месяц», «совсем не употребляю». Также были вопросы о предпочитаемых видах овощей и фруктов в рационе. На основе полученных данных были выбраны 4 овоща (огурцы, томаты, морковь, картофель) и 3 типа фруктов (бананы, яблоки, цитрусовые). Развитие овощеводства закрытого грунта и импорта фруктов из южных стран предоставляет возможность покупать вышеперечисленные продукты круглый год вне зависимости от сезона.

Разделения выборки на группы не происходило, так как это снизило бы её статистическую мощность.

Связь между потреблением каждого из вышеперечисленных овощей и фруктов и каждым из микроорганизмов изучали с помощью многомерных медианных регрессионных моделей, в которые, помимо основного факторного признака, включали пол, возраст и место постоянного проживания участника исследования (местный/неместный). Рассчитывали грубые и скорректированные коэффициенты регрессии. Результаты представлены в виде скорректированных коэффициентов и их стандартных ошибок. Данные анализировали с помощью пакета статистических программ Stata 18 (Stata Corp., TX, USA). Выбор медианной регрессии был обусловлен выраженной асимметрией концентраций изучаемых микроорганизмов. С учётом того что регрессионный анализ проводили на логарифмрованных данных, коэффициент, равный единице, говорит об изменении концентрации микроорганизма на один порядок при увеличении величины предиктора на единицу.

Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации 1964 г. и её последующих пересмотров. Все участники дали письменное добровольное информированное согласие. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России, протокол № 07/09-22 от 28.09.2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследовании приняли участие 67 женщин и 23 мужчины из числа студентов и сотрудников СГМУ. Средний возраст обследованных — 21,5 года.

Информация о кратности потребления овощей и фруктов представлена на рис. 1. Ежедневно фрукты и овощи употребляли 15,56% и 43,33% респондентов соответственно. Один участник отметил, что совсем не употреблял фруктов (1,11%). К овощам были отнесены томаты, огурцы, морковь, картофель, к фруктам — бананы, цитрусовые и яблоки. Частота употребления предпочитаемых видов овощей и фруктов представлена на рис. 2. Более 77% респондентов употребляли томаты и огурцы, около 25% — морковь и картофель. Среди фруктов по частоте употребления первое место занимали яблоки — 74,44%, далее бананы — 57,78% и цитрусовые — 41,11%.

Оценили связи между представителями микробиоты толстой кишки и потреблением овощей (табл. 1) и фруктов (табл. 2). Регрессионные модели были построены для 14 представителей микробиоты. Для оставшихся микроорганизмов была выявлена недостаточная для моделирования вариабельность.

При оценке связи между потреблением овощей (см. табл. 1) и представителями микрофлоры толстой кишки выявлены значимые связи между *Acinetobacter* spp. и употреблением томатов (p=0,036) и картофеля (p=0,028), между *Bacteroides* spp. и огурцами (p=0,023), между *Bifidobacterium* spp. и картофелем (p=0,039),

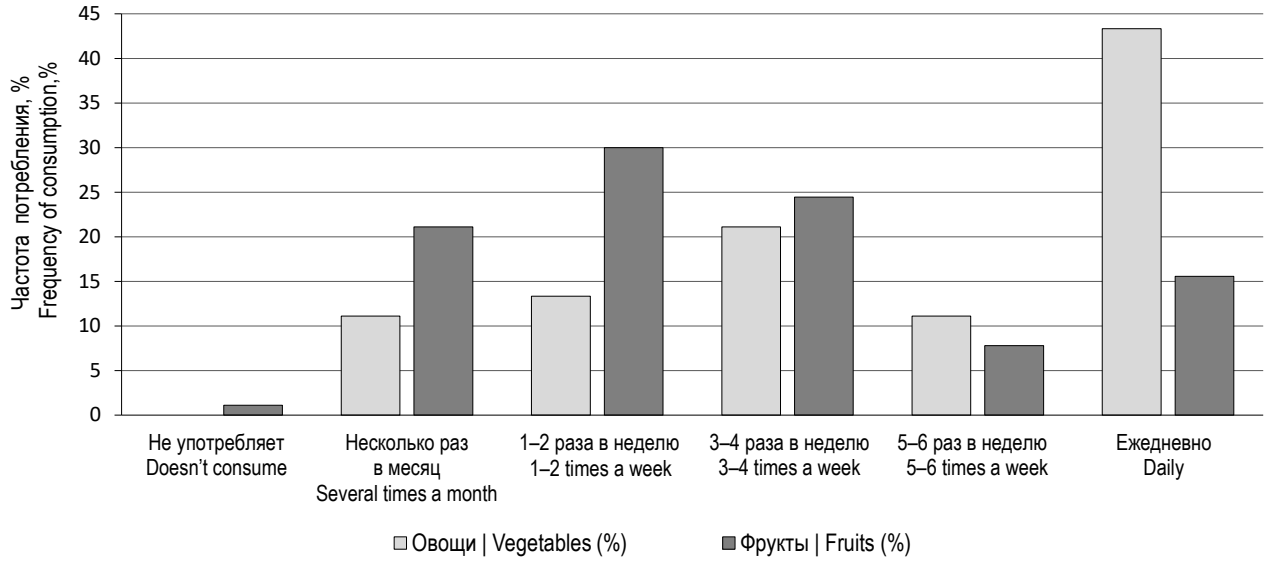

Рис. 1. Частота потребления овощей и фруктов в исследуемой выборке.
Fig. 1. Frequency of fruits and vegetables consumption in the study sample.

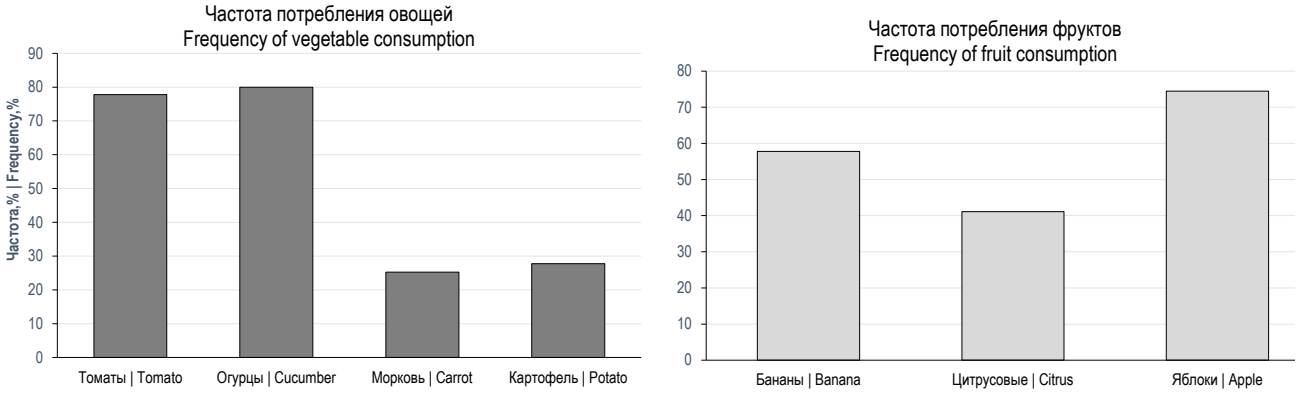

Рис. 2. Частота потребления предпочитаемых овощей и фруктов в исследуемой выборке.
Fig. 2. Frequency of preferred fruits and vegetables consumption in the study sample.

между *Faecalibacterium prausnitzii* и огурцами (p=0,005). Коэффициенты регрессии больше 1 были выявлены для *Methanobrevibacter smithii* и томатов (p=0,008), а также моркови (p=0,006), для *Prevotella* spp. и огурцов (p=0,0032), для *Blautia* spp. и моркови (p=0,002).

При оценке связей между потреблением фруктов и представителями микробиоты толстой кишки (см. табл. 2) значимые результаты были получены в трёх случаях: между цитрусовыми и *Acinetobacter* spp. (p=0,019) и *Bifidobacterium* spp. (p=0,002), но самая выраженная связь была выявлена между *Blautia* spp. и употреблением бананов (p=0,020).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования соответствуют гипотезе о влиянии овощей и фруктов на состав микробиоты толстой кишки. Прежде всего, обращает на себя внимание недостаточное потребление овощей и фруктов в выборке студентов и сотрудников медицинского вуза. Несмотря на низкую частоту потребления овощей и фруктов по данным опроса, выявлены значимые различия в численности отдельных представителей микробиоты толстой кишки в зависимости от пищевых привычек.

В нашем исследовании выбраны 4 наиболее популярных всесезонных овоща, которые чаще всего присутствуют в рационе жителей северного региона: томаты, огурцы, морковь, картофель. Тепличное выращивание овощей и международная торговля предоставляют нам возможность круглогодично приобретать на отечественном рынке свежую плодоовощную продукцию, обеспечивая полноценное питание населения страны во внесезонный период [12]. По данным литературы, употребление 2 раза в день по 150 мг экстракта томатов в течении четырёх недель приводит к значительным изменениям кишечной микробиоты: это проявляется снижением *Bacteroides* spp. и *Ruminococccus* spp. [13], что также прослеживается в нашем исследовании. Также в нашей

Таблица 1. Коэффициенты регрессии и их стандартные ошибки для оценки связи между потреблением предпочитаемых овощей и численностью представителей микробиоты толстой кишки (lg КОЕ/г)

Table 1. Regression coefficients and their standard errors for the associations between consumption of preferred vegetables and concentrations of gut microbiota species (lg CFU/g)

Род/вид представителя микробиоты толстой кишки Genus/species of colon microbiota	Регрессионные коэффициенты и их стандартные ошибки Regression coefficients and their standard errors			
	Томаты | Tomato	Огурцы | Cucumber	Морковь | Carrot	Картофель | Potato
Acinetobacter spp.	0,18 (0,08)*	0,18 (0,09)	—	–0,18 (0,08)*
Agathobacter rectalis	–0,05 (0,37)	–0,36 (0,40)	0,08 (0,36)	0,03 (0,32)
Akkermansia muciniphila	0,00 (0,80)	1,63 (2,76)	0,00 (2,69)	–3,00 (2,49)
Bacteroides spp.	–0,18 (0,26)	0,65 (0,28)*	0,07 (0,25)	0,07 (0,24)
Bacteroides thethaiotaomicron	–0,17 (1,01)	0,47 (0,88)	–0.10 (0,89)	–0,68 (0,83)
Bifidobacterium spp.	0,46 (0,38)	0,13 (0,37)	0,16 (0,33)	0,65 (0,31)*
Blautia spp.	–0,52 (2,23)	–0,52 (2,31)	6,85 (2,12)*	0,21 (2,08)
Escherichia coli	0,12 (0,44)	0,14 (0,45)	0,52 (0,42)	0,11 (0,39)
Faecalibacterium prausnitzii	0,00 (0,23)	0,55 (0,19)*	–0,08 (0,21)	–0,18 (0,23)
Methanobrevibacter smithii	5,63 (2,06)*	1,10 (2,12)	–5,54 (1,97)*	–0,52 (1,88)
Prevotella spp.	0,89 (0,96)	–2,00 (0,92)*	–0,56 (0,97)	0,14 (0,89)
Roseburia inulinivorans	0,15 (0,34)	0,01 (0,37)	–0,07 (0,32)	–0,10 (0,31)
Ruminococcus spp.	–1,00 (1.71)	0,00 (2,20)	0,00 (2,04)	0,57 (1,97)
Streptococcus spp.	0,04 (0,44)	0,78 (0,47)	0,25 (0,46)	0,23 (0,42)

* Уровень значимости *p* менее 0,05.
* The significance level of *p* is less than 0.05.

Таблица 2. Коэффициенты регрессии и их стандартные ошибки для оценки связи между потреблением предпочитаемых фруктов и численностью представителей микробиоты толстой кишки (lg КОЕ/г)

Table 2. Regression coefficients and their standard errors for the associations between consumption of preferred fruits and concentrations of gut microbiota species (lg CFU/g)

Род/вид представителя микробиоты толстой кишки Genus/species of colon microbiota	Регрессионные коэффициенты и их стандартные ошибки Regression coefficients and their standard errors		
	Бананы | Bananas	Цитрусовые | Citrus	Яблоки | Apple
Acinetobacter spp.	0,00 (1,00)	0,15 (0,06)*	0,00 (1,00)
Agathobacter rectalis	–0,12 (0,34)	0,09 (0,31)	–0,60 (0,32)
Akkermansia muciniphila	0,00 (1,00)	–0,21 (2,34)	–3,09 (2,74)
Bacteroides spp.	–0,13 (0,91)	–0,17 (0,77)	0,34 (0,88)
Bacteroides thethaiotaomicron	–0,12 (0,24)	0,05 (0,22)	0,15 (0,25)
Bifidobacterium spp.	–0,17 (0,33)	–0,70 (0,22)*	–0,59 (0,32)
Blautia spp.	4,77 (2,01)*	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)
Escherichia coli	–0,14 (0,36)	–0,44 (0,35)	–0,30 (0,44)
Faecalibacterium prausnitzii	–0,15 (0,18)	–0,22 (0,16)	0,00 (1,00)
Methanobrevibacter smithii	–0,24 (1,81)	0,10 (1,70)	–0,97 (2,04)
Prevotella spp.	–0,23 (0,84)	–1,30 (0,87)	–0,79 (1,04)
Roseburia inulinivorans	0,05 (0,30)	0,15 (0,29)	–0,36 (0,38)
Ruminococcus spp.	–0,30 (1,90)	–0,49 (1,81)	0,48 (2,07)
Streptococcus spp.	–0,13 (0,44)	–0,30 (0,35)	0,02 (0,81)

* Уровень значимости *p* менее 0,05.
* The significance level of *p* is less than 0.05.

работе при потреблении томатов значительно увеличивалась численность *Methanobrevibacter smithii*, а морковь имела противоположный эффект на данного представителя. Это подтверждает информацию о наличии этого микроорганизма в овощах [14]. Данных в литературе в отношении указанной метанобактерии недостаточно, в настоящее время происходит постепенное изучение её свойств и функциональной активности. Следовательно, наши находки помогут оценить влияние потребления овощей, способных изменять численность данных метанобактерий.

В средиземноморском рационе первое место среди овощей занимают огурцы. Такая диета снижает концентрацию холестерина в плазме и увеличивает численность *Faecalibacterium prausnitzii* [15]. Также отмечено, что ежедневное потребление солёных огурцов приводит к увеличению численности *Bacteroides* [16]. При этом сами огурцы имеют богатый микробиом, к которому относятся *Prevotella, Bacteroides, Lactobacillus, Dialester* и *Fecalibacterium*, играющие важную роль в составе микробиоты кишечника человека, тем самым показывая пользу огурца как пищевого продукта [17]. Обнаруженная нами обратная связь между огурцами и *Prevotella* spp. заставляет задуматься о факторах, препятствующих заселению кишечника из-за использования других продуктов питания, которые оказывают антагонистическое действие в отношении отдельных представителей микробиоты.

Выраженную связь с микробиотой среди корнеплодов имела морковь. Компонент клеточной стенки (рамногалактуронан-I), который был выделен из моркови, продемонстрировал пребиотические свойства, влияя на рост бутират, продуцирующих *Blautia faecis*, *Blautia obeum* и *Blautia massiliensis* [18].

При оценке связи между микроорганизмами и потреблением картофеля обнаружены незначительные отклонения медианы — численность микроорганизмов изменялась менее чем на один порядок. Главными субстратами, доступными для бифидобактерий, являются олигосахариды, некрахмальные полисахариды стенок растительных клеток, гемицеллюлоза, пектины как компоненты пищевых волокон и фракция крахмала, стойкая к ферментативному гидролизу в верхней части ЖКТ. Стойкий к действию амилаз резистентный крахмал признан эффективным субстратом, подвергающимся ферментации микробиотой, колонизирующей толстую кишку, а бактерии рода *Bifidobacterium* используют в своём метаболизме неусвояемые полисахариды, в том числе и резистентный крахмал как источник углерода и энергии [19].

Для оценки связи фруктов были выбраны 3 наиболее часто покупаемых всесезонных фрукта: яблоки, бананы, цитрусовые (апельсины, лимоны, мандарины). Из Турции и Египта в нашу страну поступают фрукты, в том числе апельсины, лимоны [20]. Мощность выборки не позволяла учесть другие, менее предпочитаемые, продукты.

Фрукты являются ещё одним распространённым источником волокон растительного происхождения. Имеются данные о том, что фрукты играют важную роль в регуляции перистальтики кишечника [21]. Например, одними из растительных соединений фруктов, овощей, зелени являются полифенолы (флавоноиды, лигнаны, изофлавоны, стильбены). Их молекулярная масса довольно мала, что обеспечивает возможность быстрой диффузии через клеточные мембраны энтероцитов [22]. Обычно считается, что полифенолы в диетах, богатых растительной пищей, обладают пребиотическим эффектом, поддерживают рост полезных бактерий, таких как *Bifidobacterium* и *Lactobacillus*, могут оказывать антимикробное действие на различные бактериальные патогены, обладают противовоспалительными свойствами [23]. Обнаружение связи бананов и бактерий рода *Blautia* может быть объяснено содержанием в них инулина — полисахарида, полимера Д-фруктозы, который увеличивает количество *Blautia* spp. [24].

Потребление цитрусовых связано с изменением численности бактерий у северян. Альбедо цитрусовых — внутренний белый рыхлый слой кожуры цитрусовых плодов, действует как резервуар для воды для соков, семян и листьев во время засухи. Ранее изучены гиполипидемические эффекты и бифидогенные потенциалы пищевых волокон, приготовленных из альбедо японского мандарина [25]. Однако результаты нашего исследования говорят о незначительном снижении (меньше чем на порядок) числа бифидобактерий у тех, кто предпочитал цитрусовые, что может быть обусловлено употреблением мякоти без альбедо. Клинические исследования, оценивающие влияние различных типов волокон на микробиоту, сообщают, что *Bifidobacterium* spp. обогащаются после потребления диет некоторыми волокнами, включая галактоолигосахариды, фруктаны инулинового типа, ксилолигосахариды и арабиноксилан-олигосахариды [26]. Цитрусовые, как и лук с тыквой, содержат большое количество витамина С. Было отмечено, что лук и тыква увеличивают численность *Acinetobacter* в 4 и 2 раза соответственно [27].

В нашем исследовании не обнаружено значимых связей яблок с представителями микробиоты толстой кишки, хотя имеются данные, указывающие на роль данного фрукта в биоразнообразии микробиоты толстой кишки. Например, сложные пектины, обнаруженные в яблоках, могут быть переварены *Bacteroides thetaiotaomicron* [28]. Предположительно, отсутствие значимых связей может быть обусловлено тем, что респонденты употребляли яблоки без кожуры, так как именно в ней находится в 4 раза больше полифенолов. Тем не менее содержание фенольных соединений заметно отличается между различными сортами яблок (у респондентов не уточняли сорт предпочитаемых яблок). Если допустить, что респонденты употребляли яблоки с кожурой, то на стабильность, высвобождение и биодоступность полифенолов влияют

определённые внутренние и наружные факторы, такие как их взаимодействие с другими пищевыми компонентами (гликозилирование и этерификация пищевыми волокнами), абсорбционная кинетика ЖКТ и их модификация печенью [29]. Также ряд соединений может оказывать негативное воздействие на кишечник. Для долгой сохранности яблок на прилавках их обрабатывают дифенилами, которые способны нарушать целостность кишечника на уровне белков плотных соединений (зонулина и окклюдина), что увеличивает проницаемость эпителия и, по видимому, транслокацию кишечной микробиоты [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашем исследовании представлены данные опроса только по частоте потребления овощей и фруктов, а также пищевые предпочтения респондентов при их выборе. Вероятно, другие компоненты рациона (мясные, молочные продукты, напитки) могли также оказать своё воздействие и скорректировать численность исследуемых микроорганизмов. Исследование опиралось на данные опроса обследуемых, без клинических испытаний влияния определённого продукта питания на человека или животных. Наша работа носит гипотезогенерирующий эксплораторный характер и призвана помочь учёным сфокусироваться в будущем на тех овощах и фруктах, а также тех представителях микробиоты, которые демонстрируют значимые связи и имеют значение для здоровья человека. Также данные о недостаточной частоте употребления овощей и фруктов среди лиц молодого возраста Архангельска говорят о необходимости доведения до них информации о роли растительной пищи для правильной работы ЖКТ и предотвращения развития патологических состояний, опосредованных снижением биоразнообразия микробиоты.

В ходе исследования выявлено, что *Acinetobacter* spp. связана с употреблением фруктов и овощей, равно как и *Methanobrevibacter smithii*, *Blautia* spp. и *Prevotella* spp. Таким образом, в исследовании, проведённом в городе Арктической зоны России, получены результаты, сходные с аналогичными работами, проведёнными в других регионах. Сформулированы новые гипотезы о потенциальном влиянии ряда продуктов на численность представителей микробиоты толстой кишки, требующие дальнейшего изучения. Информация об алиментарных факторах позволит скорректировать рацион жителей северных регионов для улучшения биоразнообразия микроорганизмов толстой кишки, что обеспечит колонизационную резистентность, иммунные механизмы и адекватную метаболическую функцию микробиоты изучаемого биотопа.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Т.А. Бажукова — концепция и дизайн исследования; Н.Н. Кукалевская, М.А. Сабанаев — сбор и интерпретация данных; А.М. Гржибовский, Н.Н. Кукалевская — статистическая обработка данных и интерпретация; Н.Н. Кукалевская, Т.А. Бажукова, А.М. Гржибовский — написание текста; все авторы — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).
Источник финансирования. Работа выполнена в рамках проекта «Разработка оптимального способа пробиотической биокоррекции для жителей Арктической зоны» СГМУ (Архангельск).
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом СГМУ (протокол № 07/09-22 от 28.09.2022 г).

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. T.A. Bazhukova — concept and design of the study; N.N. Kukalevskaya, M.A. Sabanaev — data collection and interpretation; A.M. Grjibovski, N.N. Kukalevskaya — data analysis and interpretation of the results; N.N. Kukalevskaya, T.A. Bazhukova, A.M. Grjibovski — writing the first draft; all authors — editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work).
Funding source. The work was carried out within the framework of the project "Development of an optimal method of probiotic biocorrection for residents of the Arctic zone" of SSMU (Arkhangelsk).
Competing interests. The authors declare no competing interests.
Patients' consent. Written consent was obtained from all study participants in accordance with the study protocol approved by the local ethic committee (No. 07/09-22 от 28.09.2022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина Ю.В., Корсунский А.А., Аминова А.И., и др. Микробиота кишечника как отдельная система организма // Доказательная гастроэнтерология. 2019. Т 8, № 4–5. С. 36–43. EDN: VXOAUR doi: 10.17116/dokgastro2019804-05136
2. Оганезова И.А., Медведева О.И. Изменения кишечной микробиоты как причина и потенциальная терапевтическая мишень при синдроме констипации // РМЖ. Медицин-

ское обозрение. 2020. Т. 4, № 5. С. 302–307. EDN: LJULBI doi: 10.32364/2587-6821-2020-4-5-302-307

3. Шевелева С.А., Куваева И.Б., Ефимочкина Н.Р., и др. Микробиом кишечника: от эталона нормы к патологии // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 35–51. EDN: SAVQCC doi: 10.24411/0042-8833-2020-10040
4. Батурин А.К., Мартинчик А.Н., Камбаров А.О. Структура питания населения России на рубеже XX и XXI столетий // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 60–70. EDN: BNBDXG doi: 10.24411/0042-8833-2020-10042
5. Шепелева О.А., Новикова Ю.А., Дегтева Г.Н. Продовольственная безопасность арктических и приарктических территорий Европейского Севера России // Экология человека. 2019. Т. 26, № 10. С. 24–32. EDN: LSOWBM doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-24-32
6. Батурин А.К., Кешабянц Э.Э., Сафронова А.М., Нетребенко О.К. Программирование питанием: питание детей старше года // Педиатрия. Журнал. им. Г.С. Сперанского. 2013. Т. 92, № 2. С. 92–99. EDN: QIKKCD
7. ВОЗ: Здоровое питание. [Internet]. Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet Дата обращения: 25.06.2024
8. Stefler D., Pikhart H., Kubinova R., et al. Fruit and vegetable consumption and mortality in Eastern Europe: longitudinal results from the health, alcohol and psychosocial factors in Eastern Europe study // Eur J Prev Cardiol. 2016. Vol. 23, N 5. P. 493–501. doi: 10.1177/2047487315582320
9. Ефимцева Э.А., Челпанова Т.И. Пищевые волокна как модуляторы секреции гастроинтестинальных гормональных пептидов // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 4. С. 20–35. EDN: BOJJPR doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-20-35
10. Никифорова Н.А., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Особенности питания жителей Севера (обзор литературы) // Экология человека. 2018. Т. 25, № 11. С. 20–25. EDN: YNWBUL doi: 10.33396/1728-0869-2018-11-20-22
11. Истомин А.В., Федина И.Н., Шкурихина С.В., Кутакова Н.С. Питание и север: гигиенические проблемы Арктической зоны России (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 6. С. 557–563. EDN: XVLSPZ doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563
12. Скульская Л.В., Широкова Т.К. Проблемы и перспективы овощеводства закрытого грунта // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020. № 39-3. С. 35–39. EDN: BRFNES
13. Rehman A., Tyree S.M., Fehlbaum S., et al. A water-soluble tomato extract rich in secondary plant metabolites lowers trimethylamine-n-oxide and modulates gut microbiota: a randomized, double-blind, placebo-controlled cross-over study in overweight and obese adults // J Nutr. 2023. Vol. 153, N 1. P. 96–105. doi: 10.1016/j.tjnut.2022.11.009
14. Brusa T., Ferrari F., Canzi E. Methanogenic bacteria: presence in foodstuffs // J Basic Microbiol. 1998. Vol. 38, N 2. P. 79–84.
15. Meslier V., Laiola M., Roager H.M., et al. Mediterranean diet intervention in overweight and obese subjects lowers plasma cholesterol and causes changes in the gut microbiome and metabolome independently of energy intake // Gut. 2020. Vol. 69, N 7. P. 1258–1268. doi: 10.1136/gutjnl-2019-320438
16. Jagielski P., Bolesławska I., Wybrańska I., et al. Effects of a diet containing sources of prebiotics and probiotics and modification of the gut microbiota on the reduction of body fat // Int J Environ Res Public Health. 2023. Vol. 20, N 2. P. 1348. doi: 10.3390/ijerph20021348
17. Navya B., Babu S. Comparative metataxonamic analyses of seeds and leaves of traditional varieties and hybrids of cucumber (*Cucumis sativus L.*) reveals distinct and core microbiome // Heliyon. 2023. Vol. 9, N 9. P. e20216. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20216
18. Van den Abbeele P, Deyaert S, Albers R, et al. Carrot RG-I reduces interindividual differences between 24 adults through consistent effects on gut microbiota composition and function *Ex Vivo* // Nutrients. 2023. Vol. 15, N 9. P. 2090. doi: 10.3390/nu15092090
19. Габдукаева Л.З., Никитина Е.В., Решетник О.А. Резистентные крахмалы как функциональный ингредиент при производстве продуктов питания // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 23. С. 253–255. EDN: TCCWQX
20. Сторожев Я.В. Современное состояние и тенденции импорта продукции АПК в Индию // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8, № 3. С. 187–201. EDN: TKKCCF doi: 10.55186/2413046X_2023_8_3_120
21. Katsirma Z., Dimidi E., Rodriguez-Mateos A., Whelan K. Fruits and their impact on the gut microbiota, gut motility and constipation // Food Funct. 2021. Vol. 12, N 19. P. 8850–8866. doi: 10.1039/d1fo01125a
22. Alonso-Salces R.M., Korta E., Barranco A., et al. Pressurized liquid extraction for the determination of polyphenols in apple // J Chromatogr A. 2001. Vol. 933, N 1-2. P. 37–43. doi: 10.1016/s0021-9673(01)01212-2
23. Puértolas-Balint F., Schroeder B.O. Does an apple a day also keep the microbes away? The interplay between diet, microbiota, and host defense peptides at the intestinal mucosal barrier // Front Immunol. 2020. Vol. 11. P. 1164. doi: 10.3389/fimmu.2020.01164
24. Hall D.A., Voigt R.M., Cantu-Jungles T.M., et al. An open label, non-randomized study assessing a prebiotic fiber intervention in a small cohort of Parkinson's disease participants // Nat Commun. 2023. Vol. 14, N 1. P. 926. doi: 10.1038/s41467-023-36497-x
25. Iwata E., Hotta H., Goto M. Hypolipidemic and bifidogenic potentials in the dietary fiber prepared from Mikan (Japanese mandarin orange: Citrus unshiu) albedo // J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo). 2012. Vol. 58, N 3. P. 175–180. doi: 10.3177/jnsv.58.175
26. Swanson K.S., de Vos W.M., Martens E.C., et al. Effect of fructans, prebiotics and fibres on the human gut microbiome assessed by 16S rRNA-based approaches: a review // Benef Microbes. 2020. Vol. 11, N 2. P. 101–130. doi: 10.3920/BM2019.0082
27. An J., Yang J., Kwon H., et al. Prediction of breast cancer using blood microbiome and identification of foods for breast cancer prevention // Sci Rep. 2023. Vol. 13, N 1. P. 5110. doi: 10.1038/s41598-023-32227-x
28. Ndeh D., Rogowski A., Cartmell A., et al. Complex pectin metabolism by gut bacteria reveals novel catalytic functions [published correction appears in Nature. 2017 Aug 31;548(7669):612. doi: 10.1038/nature23659] // Nature. 2017. Vol. 544, N 7648. P. 65–70. doi: 10.1038/nature21725

29. Zahid H.F., Ali A, Ranadheera CS, et al. Identification of phenolics profile in freeze-dried apple peel and their bioactivities during ***in vitro*** digestion and colonic fermentation // Int J Mol Sci. 2023. Vol. 24, N 2. P. 1514. doi: 10.3390/ijms24021514

30. Choi Y.J., Seelbach MJ, Pu H, et al. Polychlorinated biphenyls disrupt intestinal integrity via NADPH oxidase-induced alterations of tight junction protein expression // Environ Health Perspect. 2010. Vol. 118, N 7. P. 976–981. doi: 10.1289/ehp.0901751

REFERENCES

1. Yudina YuV, Korsunsky AA, Aminova AI, et al. Gut microbiota as a separate body system. *Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology.* 2019;8(4–5):3643. EDN: VXOAUR doi: 10.17116/dokgastro2019804-05136

2. Oganezova IA, Medvedeva OI. Changes in intestinal microbiota as a cause and potential therapeutic target in constipation syndrome. *Russian Medical Inquiry.* 2020;4(5):302–307. EDN: LJULBI doi: 10.32364/2587-6821-2020-4-5-302-307

3. Sheveleva SA, Kuvaeva IB, Efimochkina NR, et al. Gut microbiome: from the reference of the norm to pathology. *Problems of Nutrition*. 2020;89(4):35–51. EDN: SAVQCC doi: 10.24411/0042-8833-2020-10040

4. Baturin AK, Martinchik AN, Kambarov AO. The transit of Russian nation nutrition at the turn of the 20th and 21st centuries. *Problems of Nutrition*. 2020;89(4):60–70. EDN: BNBDXG doi: 10.24411/0042-8833-2020-10042

5. Shepeleva OA, Novikova YuA, Degteva GN. Food safety in arctic and subarctic territories of the Russian European North. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(10):24–32. EDN: LSOWBM doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-24-32.

6. Baturin AK, Keshabyants EE, Safronova AM, Netrebenko OK. Nutrition programming: nutrition for children over one year old. *Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky*. 2013;92(2):92–99. (In Russ.) EDN: QIKKCD

7. WHO. Healthy diet. [cited 2024 Jun 25]. Available from: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

8. Stefler D, Pikhart H, Kubinova R, et al. Fruit and vegetable consumption and mortality in Eastern Europe: Longitudinal results from the health, alcohol and psychosocial factors in Eastern Europe study. *Eur J Prev Cardiol*. 2016;23(5):493–501. doi: 10.1177/2047487315582320

9. Efimtseva EA, Chelpanova TI. Dietary fiber as modulators of gastrointestinal hormonal peptide secretion. *Problems of Nutrition*. 2021;90(4):20–35. EDN: BOJJPR doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-20-35

10. Nikiforova NA, Karapetyan TA, Dorshakova NV. Feeding habits of the northerners (literature review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(11):20–22. EDN: YNWBUL doi: 10.33396/1728-0869-2018-11-20-22

11. Istomin AV, Fedina IN, Shkurikhina SV, Kutakova NS. Food and the North: hygienic problems of the Arctic zone of Russia (the Review of the literature*). Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2018;97(6):557–563. EDN: XVLSPZ doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563

12. Skulskaya, LV, Shirokova TK. Problems and prospects of vegetable growing of the closed soil. *Norwegian Journal of Development of the International Science.* 2020;(39-3):35–39. EDN: BRFNES

13. Rehman A, Tyree SM, Fehlbaum S, et al. A water-soluble tomato extract rich in secondary plant metabolites lowers trimethylamine-n-oxide and modulates gut microbiota: a randomized, double-blind, placebo-controlled cross-over study in overweight and obese adults. *J Nutr*. 2023;153(1):96–105. doi: 10.1016/j.tjnut.2022.11.009

14. Brusa T, Ferrari F, Canzi E. Methanogenic bacteria: presence in foodstuffs. *J Basic Microbiol*. 1998;38(2):79–84.

15. Meslier V, Laiola M, Roager HM, et al. Mediterranean diet intervention in overweight and obese subjects lowers plasma cholesterol and causes changes in the gut microbiome and metabolome independently of energy intake. *Gut*. 2020;69(7):1258–1268. doi: 10.1136/gutjnl-2019-320438

16. Jagielski P, Bolesławska I, Wybrańska I, et al. Effects of a diet containing sources of prebiotics and probiotics and modification of the gut microbiota on the reduction of body fat. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(2):1348. doi: 10.3390/ijerph20021348

17. Navya B, Babu S. Comparative metataxonamic analyses of seeds and leaves of traditional varieties and hybrids of cucumber (*Cucumis sativus* L.) reveals distinct and core microbiome. *Heliyon*. 2023;9(9):e20216. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20216

18. Van den Abbeele P, Deyaert S, Albers R, et al. Carrot RG-I reduces interindividual differences between 24 adults through consistent effects on gut microbiota composition and function Ex Vivo. *Nutrients*. 2023;15(9):2090. doi: 10.3390/nu15092090

19. Gabdukaeva LZ, Nikitina EV, Reshetnik OA. Resistant starches as a functional ingredient in food production. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014;17(23):253–255. (In Russ.) EDN: TCCWQX

20. Storozhev YaV. Current status and trends of import of AIC products to India. *Moscow Economic Journal*. 2023;8(3):187–201. EDN: TKKCCF doi: 10.55186/2413046X_2023_8_3_120

21. Katsirma Z, Dimidi E, Rodriguez-Mateos A, Whelan K. Fruits and their impact on the gut microbiota, gut motility and constipation. *Food Funct*. 2021;12(19):8850–8866. doi: 10.1039/d1fo01125a

22. Alonso-Salces RM, Korta E, Barranco A, et al. Pressurized liquid extraction for the determination of polyphenols in apple. *J Chromatogr A*. 2001;933(1-2):37–43. doi: 10.1016/s0021-9673(01)01212-2

23. Puértolas-Balint F, Schroeder BO. Does an apple a day also keep the microbes away? The interplay between diet, microbiota, and host defense peptides at the intestinal mucosal barrier. *Front Immunol*. 2020;11:1164. doi: 10.3389/fimmu.2020.01164

24. Hall DA, Voigt RM, Cantu-Jungles TM, et al. An open label, non-randomized study assessing a prebiotic fiber intervention in a small cohort of Parkinson's disease participants. *Nat Commun*. 2023;14(1):926. doi: 10.1038/s41467-023-36497-x

25. Iwata E, Hotta H, Goto M. Hypolipidemic and bifidogenic potentials in the dietary fiber prepared from Mikan (Japanese mandarin orange: Citrus unshiu) albedo. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2012;58(3):175–180. doi: 10.3177/jnsv.58.175

26. Swanson KS, de Vos WM, Martens EC, et al. Effect of fructans, prebiotics and fibres on the human gut microbiome assessed by 16S rRNA-based approaches: a review. *Benef Microbes*. 2020;11(2):101–129. doi: 10.3920/BM2019.0082

27. An J, Yang J, Kwon H, et al. Prediction of breast cancer using blood microbiome and identification of foods for breast cancer prevention. *Sci Rep*. 2023;13(1):5110. doi: 10.1038/s41598-023-32227-x

28. Ndeh D, Rogowski A, Cartmell A, et al. Complex pectin metabolism by gut bacteria reveals novel catalytic functions [published correction appears in Nature. 2017 Aug 31;548(7669):612. doi: 10.1038/nature23659]. *Nature*. 2017;544(7648):65–70. doi: 10.1038/nature21725

29. Zahid HF, Ali A, Ranadheera CS, et al. Identification of phenolics profile in freeze-dried apple peel and their bioactivities during *in vitro* digestion and colonic fermentation. *Int J Mol Sci*. 2023;24(2):1514. doi: 10.3390/ijms24021514

30. Choi YJ, Seelbach MJ, Pu H, et al. Polychlorinated biphenyls disrupt intestinal integrity via NADPH oxidase-induced alterations of tight junction protein expression. *Environ Health Perspect*. 2010;118(7):976–981. doi: 10.1289/ehp.0901751

ОБ АВТОРАХ

*** Кукалевская Наталья Николаевна;**
адрес: Россия, 163069, Архангельск, пр. Троицкий, д. 51;
ORCID: 0000-0003-3371-1485;
eLibrary SPIN: 1844-4439;
e-mail: n.kukalevskaya@yandex.ru

Бажукова Татьяна Александровна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-7890-2341;
eLibrary SPIN: 2220-2151;
e-mail: tbazhukova@yandex.ru,

Сабанаев Михаил Алексеевич;
ORCID: 0000-0001-5642-3019;
eLibrary SPIN: 8585-3051;
e-mail: mix.sabanaeff@gmail.com

Гржибовский Андрей Мечиславович, PhD;
ORCID: 0000-0002-5464-0498;
eLibrary SPIN: 5118-0081;
e-mail: a.grjibovski@yandex.ru

AUTHORS' INFO

*** Natalia N. Kukalevskaya;**
address: 51 Troitski ave., 163069 Arkhangelsk, Russia;
ORCID: 0000-0003-3371-1485;
eLibrary SPIN: 1844-4439;
e-mail: n.kukalevskaya@yandex.ru

Tatyana A. Bazhukova, Dr. Sci (Med), Professor;
ORCID: 0000-0002-7890-2341;
eLibrary SPIN: 2220-2151;
e-mail: tbazhukova@yandex.ru,

Michael A. Sabanaev;
ORCID: 0000-0001-5642-3019;
eLibrary SPIN: 8585-3051;
e-mail: mix.sabanaeff@gmail.com

Andrej M. Grjibovski, MD, MPhil, PhD;
ORCID: 0000-0002-5464-0498;
eLibrary SPIN: 5118-0081;
e-mail: a.grjibovski@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author