

Министерство здравоохранения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ

VOPROSY PITANIYA
(PROBLEMS OF NUTRITION)

Основан в 1932 г.

ТОМ 90
№ 4 (536), 2021

Журнал входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, которые рекомендованы Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК) для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Журнал представлен в следующих информационно-справочных изданиях и библиографических базах данных: Реферативный журнал ВИНТИ, Biological, MedART, eLibrary.ru, The National Agricultural Library (NAL), Nutrition and Food Database, FSTA, EBSCOhost, Health Index, Scopus, Web of Knowledge, Social Sciences Citation Index, Russian Periodical Catalog



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»

Для корреспонденции

Тутельян Виктор Александрович – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
Телефон: (495) 698-53-46
E-mail: tutelyan@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Попова А.Ю.¹, Тутельян В.А.², Никитюк Д.Б.²

О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации

On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation

Popova A.Yu.¹, Tutelyan V.A.², Nikityuk D.B.²

¹ Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 127994, г. Москва, Российская Федерация

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

¹ Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, 127994, Moscow, Russian Federation

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

В статье представлены основные положения разработанных и утвержденных в установленном порядке новых Норм физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (далее – Нормы), аккумулирующих новейшие фундаментальные знания и весь мировой и отечественный опыт, определяющих величины физиологических

Финансирование. Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № 075-00721-21-01 от 25.12.2020 в рамках Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Благодарность. Авторы выражают глубокую признательность канд. техн. наук, заведующему лабораторией демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Смирновой Е.А. и докт. мед. наук, профессору, Ученому секретарю ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Тармаевой И.Ю. за помощь при оформлении данной статьи.

Для цитирования: 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>

Статья поступила в редакцию 20.07.2021. **Принята в печать** 22.07.2021.

Funding. Research work was carried out at the expense of subsidies for the implementation of state assignment No. 075-00721-21-01 of December 25, 2020 within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

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

Acknowledgments. The authors express their deep gratitude to the head of the laboratory of demography and nutritional epidemiology of the Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Ph.D. Smirnova E.A. and the Scientific Secretary of the Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, MD, Professor Tarmaeva I.Yu. for help with the design of this article.

For citation: 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)

Received 20.07.2021. **Accepted** 22.07.2021.

Таблица 1. Средние величины основного обмена (ВОО) и антропометрические параметры взрослого населения РФ с нормальной массой тела (с индексом массы тела 20–25 кг/м²) [1]

Table 1. Average values of basal metabolic rate (BMR) and anthropometric parameters of the adult population of the Russian Federation with normal body weight (with a body mass index of 20–25 kg/m²) [1]

Возраст, годы <i>Age, years</i>	ВОО, ккал/сут / <i>BMR, kcal/day</i>		Масса тела, кг / <i>Body weight, kg</i>		Рост, см / <i>Height, cm</i>	
	мужчины / <i>men</i>	женщины / <i>women</i>	мужчины / <i>men</i>	женщины / <i>women</i>	мужчины / <i>men</i>	женщины / <i>women</i>
18–29	1692–1746	1337–1392	72,1	60,8	177,5	165,4
30–44	1615–1684	1269–1338	72,3	61,6	176,7	165,0
45–64	1490–1583	1166–1259	70,9	61,9	174,6	163,7
65–74	1405–1449	1091–1136	68,9	60,7	172,1	161,6
≥75	≤1362	≤1045	66,7	58,3	169,6	158,8

чины основного обмена (табл. 1), смещением тренда структуры заболеваемости населения в сторону роста распространенности социально значимых неинфекционных заболеваний, связанных с нарушениями питания и обмена веществ, в особенности избыточной массы тела и ожирения у детей и взрослых, развитием исследований по оценке роли ряда пищевых и биологически активных веществ и взаимосвязи питания и здоровья.

Новые Нормы последовательно прошли многоуровневую экспертизу на Ученом совете ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Бюро профильной комиссии по специальности «Диетология» Минздрава России, Комиссии Научного совета Отделения медицинских наук РАН по медицинским проблемам питания, Бюро Секции профилактической медицины Отделения медицинских наук РАН, Бюро отделения медицинских наук РАН. Вопросы, касающиеся новых Норм, широко обсуждались научной общественностью, многократно рассматривались в открытой печати [2–4].

В документе представлены величины потребности в энергии для лиц каждой выделяемой (в зависимости от пола, возраста, профессии, условий быта и т.п.) группы,

а также рекомендуемые величины потребления пищевых веществ, которые должны обеспечивать потребность соответствующей категории населения.

Нормы:

- являются научной базой при планировании объемов производства основного продовольственного сырья и пищевых продуктов в Российской Федерации;
- используются при разработке перспективных среднелюдских размеров (норм) потребления основных пищевых продуктов с учетом изменения социально-экономической ситуации и демографического состава населения РФ;
- применяются для обоснования оптимального развития отечественного агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности страны;
- используются для планирования питания в организованных коллективах и медицинских организациях;
- применяются для обоснования составов специализированных и обогащенных пищевых продуктов;
- используются при разработке рекомендаций по питанию для различных групп населения и мер социальной защиты;
- служат критерием оценки фактического питания на персонализированном и популяционном уровнях;
- используются при разработке программ подготовки специалистов и обучении населения принципам здорового питания и др.

Существенно расширен и актуализирован понятийный аппарат, введены термины и определения к ним: нутриом, кишечный микробиом, транс-изомеры жирных кислот, критически значимые пищевые вещества, пищевая соль, гликемический индекс пищевой продукции и др., впервые внедрен дифференцированный подход к разделению терминов, характеризующих сахара, позволяющий выделить моно- и дисахариды, доля (удельный вес) которых в калорийности суточного рациона может быть ограничена (добавленные сахара) с целью профилактики ожирения и других неинфекционных заболеваний.

Понятие «нутриом» представляет собой совокупность алиментарных факторов, необходимых для поддержания динамического равновесия между человеком как

Таблица 2. Возрастная периодизация детского населения [1]

Table 2. Age periodization of the child population [1]

Возрастной период / <i>Age period</i>	Значение / <i>Value</i>
Ранний возраст / <i>Early age</i> • грудной / <i>infancy</i> • преддошкольный / <i>toddler</i>	0–11 мес* / <i>0–11 months*</i> 1–2 года / <i>1–2 years old</i>
Дошкольный возраст / <i>Preschool age</i>	3–6 лет / <i>3–6 years old</i>
Школьный** возраст / <i>School** age</i> • младший / <i>younger (primary)</i> • средний / <i>middle (secondary)</i> • старший / <i>senior (high)</i>	7–10 лет / <i>7–10 years old</i> 11–14 лет / <i>11–14 years old</i> 15–17 лет / <i>15–17 years old</i>

П р и м е ч а н и е. * – здесь и далее у детей и взрослых считать год полностью, включая месяцы и дни до наступления следующего (например, 11 мес 29 дней, 2 года 11 мес 29 дней); ** – включая детей в возрасте от 7 до 17 лет (включительно) независимо от формы обучения или профессиональной деятельности.

N o t e. * – hereinafter, for children and adults, the year is counted as a full, including the months and days until the next one (for example, 11 months 29 days, 2 years 11 months 29 days); ** – includes children aged 7 to 17 years (inclusive) regardless of the form of education or professional activity.

Таблица 3. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для мужчин [1]

Table 3. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for men [1]

Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>	Группа физической активности / <i>Physical activity group</i>													
	1-я (КФА – 1,4) 1 (CPA – 1.4)			2-я (КФА – 1,6) 2 (CPA – 1.6)			3-я (КФА – 1,9) 3 (CPA – 1.9)			4-я (КФА – 2,2) 4 (CPA – 2.2)			КФА – 1,7** CPA – 1.7**	
Возраст, годы <i>Age, years</i>	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	65–74	старше 75
Энергия, ккал* <i>Energy, kcal *</i>	2400	2300	2150	2750	2650	2450	3250	3150	2900	3800	3650	3400	2400	2300
Белок, г*** <i>Protein, g***</i>	84	81	75	89	86	80	102	98	91	114	110	102	84	81
В том числе животный <i>Including animal origin</i>	42	41	38	45	43	40	51	49	46	57	55	51	42	41
Жиры, г / <i>Fat, g</i>	80	77	72	92	88	82	108	105	97	127	122	113	80	77
Углеводы, г <i>Carbohydrates, g</i>	336	322	301	392	378	349	467	453	417	551	529	493	336	322
Пищевые волокна, г <i>Dietary fiber, g</i>	20–25													

Примечание. Здесь и в табл. 8: КФА – коэффициент физической активности; * – для лиц, работающих в условиях Крайнего Севера, энерготраты увеличиваются на 15% и пропорционально возрастают потребности в белке, жирах и углеводах; ** – желаемая физическая активность; *** – для обеспечения азотистого равновесия минимальная потребность в белке, аминокислотный скор которого с учетом усвояемости соответствует 1,0, составляет 0,83 г на 1 кг массы тела.

Note. CPA – coefficient of physical activity; * – for people working in the Far North, energy expenditure increases by 15% and the requirements in protein, fats and carbohydrates proportionally increase; ** – desired physical activity; *** – to ensure nitrogen balance, the minimum requirement in protein, which amino acid rate corresponds to 1.0 (taking into account digestibility), is 0.83 g per 1 kg of body weight.

сформировавшимся в процессе эволюции биологическим видом и окружающей средой, направленного на обеспечение жизнедеятельности, сохранение и воспроизводство вида, поддержание адаптационного потенциала организма, системы антиоксидантной защиты, апоптоза, метаболизма, функции иммунной системы. Нутриом является формулой оптимального питания, которая постоянно совершенствуется, дополняется и отражает всю полноту научных знаний в области нутрициологии. Знание этой формулы – ключ к форми-

рованию оптимальной для человека структуры питания, а значит, и к сохранению его здоровья. На популяционном уровне нутриом имеет свои особенности, свою структуру для каждого возрастного периода жизни человека.

За 2008–2020 гг. для Российской Федерации приобрели существенное значение демографические вызовы, связанные с изменением возрастного-половой структуры населения, такие как сокращение доли лиц трудоспособного возраста на 2,4%, увеличение численности

Таблица 4. Оптимальное соотношение долей макронутриентов в калорийности рациона для мужчин и женщин (старше 18 лет) [1]

Table 4. Optimal ratio of macronutrient proportions in the daily diet calorie value for men and women (over 18 years old) [1]

Показатель (в сутки), % от калорийности <i>Indicator (per day), percent of daily calories</i>	Группа физической активности / <i>Physical activity group</i>				
	1-я (КФА – 1,4) 1 (CPA – 1.4)	2-я (КФА – 1,6) 2 (CPA – 1.6)	3-я (КФА – 1,9) 3 (CPA – 1.9)	4-я (КФА – 2,2) 4 (CPA – 2.2)	КФА – 1,7 CPA – 1.7
Белок* / <i>Protein *</i>	14	13	12,5	12	14
Жир / <i>Fat</i>	30				
Насыщенные жирные кислоты <i>Saturated fatty acids</i>	10				
Мононенасыщенные жирные кислоты <i>Monounsaturated fatty acids</i>	10				
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) <i>Polyunsaturated fatty acids (PUFA)</i>	6–10				
ПНЖК семейства ω -6 / <i>PUFA ω-6</i>	5–8				
ПНЖК семейства ω -3 / <i>PUFA ω-3</i>	1–2				
Углеводы / <i>Carbohydrates</i>	56	57	57,5	58	56
Добавленные сахара / <i>Added sugars</i>	<10				

Примечание. КФА – коэффициент физической активности; * – для обеспечения азотистого равновесия минимальная потребность в белке, аминокислотный скор которого с учетом усвояемости соответствует 1,0, составляет 0,83 г на 1 кг массы тела.

Note. CPA is the coefficient of physical activity; * – to ensure nitrogen balance, the minimum requirement in protein, which amino acid rate corresponds to 1.0 (taking into account digestibility), is 0.83 g per 1 kg of body weight.

Таблица 5. Нормы физиологических потребностей в витаминах для мужчин (старше 18 лет) [1]

Table 5. Norms of physiological requirements in vitamins for men (over 18 years old) [1]

Витамин <i>Vitamin</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Витамин С <i>Vitamin C</i>	100 мг <i>100 mg</i>
Витамин В ₁ <i>Vitamin B₁</i>	1,5 мг / 1.5 mg
	0,6 мг / 1000 ккал <i>0.6 mg / 1000 kcal</i>
Витамин В ₂ <i>Vitamin B₂</i>	1,8 мг / 1.8 mg
	0,75 мг / 1000 ккал <i>0.75 mg / 1000 kcal</i>
Витамин В ₆ <i>Vitamin B₆</i>	2,0 мг <i>2.0 mg</i>
Ниацин <i>Niacin</i>	20 мг ниацин экв. <i>20 mg niacin eq</i>
	8 мг ниацин экв. / 1000 ккал <i>8 mg niacin eq / 1000 kcal</i>
Витамин В ₁₂ <i>Vitamin B₁₂</i>	3,0 мкг <i>3.0 µg</i>
Фолаты <i>Folates</i>	400 мкг <i>400 µg</i>
Пантотеновая кислота <i>Pantothenic acid</i>	5,0 мг <i>5.0 mg</i>
Биотин <i>Biotin</i>	50 мкг <i>50 µg</i>
Витамин А <i>Vitamin A</i>	900 мкг рет. экв. <i>900 µg retinol eq</i>
β-Каротин <i>β-Carotene</i>	5,0 мг <i>5.0 mg</i>
Витамин Е (α-токоферол) <i>Vitamin E (α-tocopherol)</i>	15 мг ток. экв. <i>15 mg tocopherol eq</i>
Витамин D <i>Vitamin D</i>	15* мкг <i>15* µg</i>
Витамин К <i>Vitamin K</i>	120 мкг <i>120 µg</i>

П р и м е ч а н и е . * – для лиц старше 65 лет – 20 мкг.

N o t e . * – for persons over 65 years old – 20 µg.

Таблица 6. Нормы физиологических потребностей в минеральных веществах для мужчин (старше 18 лет) [1]

Table 6. Norms of physiological requirements in mineral substances for men (over 18 years old) [1]

Минеральное вещество <i>Mineral substance</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Кальций, мг / <i>Calcium, mg</i>	1000*
Фосфор, мг <i>Phosphorus, mg</i>	700
Магний, мг <i>Magnesium, mg</i>	420
Калий, мг / <i>Potassium, mg</i>	3500
Натрий, мг / <i>Sodium, mg</i>	1300
Хлориды, мг <i>Chlorides, mg</i>	2300
Железо, мг / <i>Iron, mg</i>	10
Цинк, мг / <i>Zinc, mg</i>	12
Йод, мкг / <i>Iodine, µg</i>	150
Медь, мг / <i>Copper, mg</i>	1,0
Марганец, мг <i>Manganese, mg</i>	2,0
Молибден, мкг <i>Molybdenum, µg</i>	70
Селен, мкг / <i>Selenium, µg</i>	70
Хром, мкг / <i>Chromium, µg</i>	40

П р и м е ч а н и е . * – для лиц старше 65 лет – 1200 мг.

N o t e . * – for persons over 65 years old – 1200 mg.

Таблица 7. Адекватные уровни потребления минеральных веществ для мужчин (старше 18 лет) [1]

Table 7. Adequate dietary mineral intake for men (over 18 years old) [1]

Микроэлемент <i>Trace element</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Кобальт, мкг / <i>Cobalt, µg</i>	10
Фтор, мг / <i>Fluorine, mg</i>	4,0
Кремний, мг / <i>Silicon, mg</i>	30
Ванадий, мкг / <i>Vanadium, µg</i>	15

Таблица 8. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для женщин [1]

Table 8. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for women [1]

Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>	Группа физической активности / <i>Physical activity group</i>													
	1-я (КФА – 1,4) <i>1 (CPA – 1.4)</i>			2-я (КФА – 1,6) <i>2 (CPA – 1.6)</i>			3-я (КФА – 1,9) <i>3 (CPA – 1.9)</i>			4-я (КФА – 2,2) <i>4 (CPA – 2.2)</i>			КФА – 1,7** <i>CPA – 1.7**</i>	
Возраст, годы <i>Age, years</i>	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	18–29	30–44	45–64	65–74	старше 75
Энергия, ккал* <i>Energy, kcal *</i>	1900	1800	1700	2200	2100	1950	2600	2500	2300	3000	2850	2700	1900	1800
Белок, г*** <i>Protein, g***</i>	67	63	60	72	68	63	81	78	72	90	86	81	67	63
В том числе животный <i>Including animal origin</i>	34	32	30	36	34	32	41	39	36	45	43	41	34	32
Жиры, г <i>Fat, g</i>	63	60	57	73	70	65	87	83	77	100	95	90	63	60
Углеводы, г <i>Carbohydrates, g</i>	266	252	238	314	299	278	374	359	331	435	413	392	266	252
Пищевые волокна, г <i>Dietary fiber, g</i>	20–25													

Таблица 9. Нормы физиологических потребностей в витаминах для женщин (старше 18 лет) [1]

Table 9. Norms of physiological requirements in vitamins for men (over 18 years old) [1]

Витамин <i>Vitamin</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Витамин С <i>Vitamin C</i>	100 мг <i>100 mg</i>
Витамин В ₁ <i>Vitamin B₁</i>	1,5 мг / 1.5 mg
	0,6 мг / 1000 ккал <i>0.6 mg / 1000 kcal</i>
Витамин В ₂ <i>Vitamin B₂</i>	1,8 мг / 1.8 mg
	0,75 мг / 1000 ккал <i>0.75 mg / 1000 kcal</i>
Витамин В ₆ <i>Vitamin B₆</i>	2,0 мг <i>2.0 mg</i>
Ниацин <i>Niacin</i>	20 мг ниацин экв. <i>20 mg niacin eq</i>
	8 мг ниацин экв. / 1000 ккал <i>8 mg niacin eq / 1000 kcal</i>
Витамин В ₁₂ <i>Vitamin B₁₂</i>	3,0 мкг <i>3.0 µg</i>
Фолаты <i>Folates</i>	400 мкг <i>400 µg</i>
Пантотеновая кислота <i>Pantothenic acid</i>	5,0 мг <i>5.0 mg</i>
Биотин <i>Biotin</i>	50 мкг <i>50 µg</i>
Витамин А <i>Vitamin A</i>	800 мкг рет. экв. <i>800 µg retinol eq</i>
β-Каротин <i>β-Carotene</i>	5,0 мг <i>5.0 mg</i>
Витамин Е (α-токоферол) <i>Vitamin E (α-tocopherol)</i>	15 мг ток. экв. <i>15 mg tocopherol eq</i>
Витамин D <i>Vitamin D</i>	15* мкг <i>15* µg</i>
Витамин К <i>Vitamin K</i>	120 мкг <i>120 µg</i>

Примечание. * – для лиц старше 65 лет – 20 мкг.

Note. * – for persons over 65 years old – 20 µg.

Таблица 10. Нормы физиологических потребностей в минеральных веществах для женщин (старше 18 лет) [1]

Table 10. Norms of physiological requirements in mineral substances for women (over 18 years old) [1]

Минеральное вещество <i>Mineral substance</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Кальций, мг / <i>Calcium, mg</i>	1000*
Фосфор, мг <i>Phosphorus, mg</i>	700
Магний, мг <i>Magnesium, mg</i>	420
Калий, мг / <i>Potassium, mg</i>	3500
Натрий, мг / <i>Sodium, mg</i>	1300
Хлориды, мг <i>Chlorides, mg</i>	2300
Железо, мг / <i>Iron, mg</i>	18
Цинк, мг / <i>Zinc, mg</i>	12
Йод, мкг / <i>Iodine, µg</i>	150
Медь, мг / <i>Copper, mg</i>	1,0
Марганец, мг <i>Manganese, mg</i>	2,0
Молибден, мкг <i>Molybdenum, µg</i>	70
Селен, мкг / <i>Selenium, µg</i>	55
Хром, мкг / <i>Chromium, µg</i>	40

Примечание. * – для лиц старше 65 лет – 1200 мг.

Note. * – for persons over 65 years old – 1200 mg.

Таблица 11. Адекватные уровни потребления минеральных веществ для женщин (старше 18 лет) [1]

Table 11. Adequate dietary mineral intake for women (over 18) [1]

Микроэлемент <i>Trace element</i>	Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>
Кобальт, мкг / <i>Cobalt, µg</i>	10
Фтор, мг / <i>Fluorine, mg</i>	4,0
Кремний, мг / <i>Silicon, mg</i>	30
Ванадий, мкг / <i>Vanadium, µg</i>	15

Таблица 12. Потребности в энергии и пищевых веществах для женщин в период беременности и кормления ребенка [1]

Table 12. Energy and macronutrients requirements for women during pregnancy and lactation [1]

Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>	Беременные / <i>Pregnant</i>			Кормящие / <i>Nursing</i>	
	I триместр <i>I trimester</i>	II триместр <i>II trimester</i>	III триместр <i>III trimester</i>	1-6 мес <i>1-6 months</i>	7-12 мес <i>7-12 months</i>
Энергия и макронутриенты <i>Energy and macronutrients</i>					
Белок, % от ккал / <i>Protein, percent of daily calories</i>	12	12–15	12–15	12–15	12–15
Жиры, % от ккал / <i>Fat, percent of daily calories</i>	30–33			30–33	
Углеводы, % от ккал <i>Carbohydrates, percent of daily calories</i>	55–58			55–58	
Дополнительные потребности в энергии и пищевых веществах <i>Additional energy and nutrient requirements</i>					
Энергия, ккал / <i>Energy, kcal</i>	–	250	350	500	450
Белок, г / <i>Protein, g</i>	–	10	30	40	30
Жиры, г / <i>Fat, g</i>	–	10	12	15	
Углеводы, г / <i>Carbohydrates, g</i>	–	30		50	
Докозагексаеновая кислота, мг <i>Docosahexaenoic acid, mg</i>	200			200	

Таблица 13. Потребности в витаминах и минеральных веществах для женщин в период беременности и кормления ребенка [1]

Table 13. Vitamin and mineral requirements for women during pregnancy and lactation [1]

Показатель (в сутки) Indicator (per day)	Беременные / Pregnant			Кормящие / Nursing	
	I триместр I trimester	II триместр II trimester	III триместр III trimester	1-6 мес 1-6 months	7-12 мес 7-12 months
Витамин С, мг / Vitamin C, mg	110	110	110	130	130
Витамин В ₁ , мг / Vitamin B ₁ , mg	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8
Витамин В ₂ , мг / Vitamin B ₂ , mg	1,8	2,0	2,0	2,1	2,1
Витамин В ₆ , мг / Vitamin B ₆ , mg	2,0	2,3	2,3	2,5	2,5
Ниацин, мг ниацин экв. / Niacin, mg niacin eq	20	20	20	20	20
Витамин В ₁₂ , мкг / Vitamin B ₁₂ , µg	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5
Фолаты, мкг / Folate, µg	600	600	600	500	500
Пантотеновая кислота, мг / Pantothenic acid, mg	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0
Биотин, мкг / Biotin, µg	50	50	50	50	50
Витамин А, мкг рет. экв. / Vitamin A, µg retinol eq	800	900	900	1200	1200
β-Каротин, мг / β-Carotene, mg	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Витамин Е (α-токоферол), мг ток. экв. Vitamin E (α-tocopherol), mg tocopherol eq	15	17	17	19	19
Витамин D, мкг / Vitamin D, µg	15	15	15	15	15
Витамин К, мкг / Vitamin K, µg	120	120	120	120	120
Кальций, мг / Calcium, mg	1000	1300	1300	1400	1400
Фосфор, мг / Phosphorus, mg	700	900	900	900	900
Магний, мг / Magnesium, mg	420	450	450	450	450
Калий, мг / Potassium, mg	2500	2500	2500	2500	2500
Натрий, мг / Sodium, mg	1300	1300	1300	1300	1300
Хлориды, мг / Chlorides, mg	2300	2300	2300	2300	2300
Железо, мг / Iron, mg	18	33	33	18	18
Цинк, мг / Zinc, mg	12	15	15	15	15
Йод, мкг / Iodine, µg	150	220	220	290	290
Медь, мг / Copper, mg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Молибден, мкг / Molybdenum, µg	70	70	70	70	70
Марганец, мг / Manganese, mg	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Селен, мкг / Selenium, µg	55	55	55	55	55
Хром, мкг / Chromium, µg	50	50	50	50	50

лиц старше 65 лет на 16,1%, сокращение численности женщин репродуктивного возраста. При этом ожидаемая продолжительность жизни в 2019 г. по сравнению с 2008 г. выросла на 5,35 года, численность детей и подростков увеличилась на 15,5%. Учитывая эти изменения, а также в целях более дифференцированного учета физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах внесены изменения в возрастную периодизацию детского и взрослого населения РФ. Для взрослого населения введены группы 18–29 лет, 30–44, 45–64, 65–74 года, 75 лет и старше, для детского – 0–11 мес, 1–2 года, 3–6, 7–10, 11–14 и 15–17 лет (табл. 2) [1].

На основании данных об изменении структуры профессиональной занятости населения, связанной со снижением доли лиц, занятых тяжелым и особо тяжелым трудом, и существенным увеличением доли лиц, занятых легким и преимущественно умственным трудом, а также низкой долей лиц, занимающихся физкультурой и спортом (40% мужчин и 35% женщин), внесены коррективы в дифференциацию населения по уровню физической активности, которая представлена 4 груп-

пами для мужчин и женщин (ранее 5 групп у мужчин и 4 у женщин). С учетом этих данных скорректированы рекомендации по доле (удельный вес) белка в калорийности суточного рациона. Для лиц с низкой физической активностью доля белка в калорийности составляет 14%, а для лиц, занятых физическим трудом, эта величина составляет 12%, хотя в абсолютном выражении размеры потребности в белке выше, чем у первой группы. Для населения старше 65 лет доля белка в калорийности суточного рациона составляет 14%. Удельный вес жиров во всех четырех группах принят в размере 30% от калорийности. Доля углеводов колеблется соответственно от 56 до 58%.

Основываясь на данных, полученных в рамках нового направления медицинской науки – антропонутиологии, связанных с оценкой влияния пищевого статуса и обеспеченности организма всеми необходимыми нутриентами на процесс анатомического формообразования и определением влияния генетически обусловленных конституционных особенностей на индивидуальные потребности организма в энергии и пищевых веществах,

Таблица 14. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для детей [1]

Table 14. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for children [1]

Показатель (в сутки) Indicator (per day)	Возрастные группы / Age groups											
	0-3 мес 0-3 months	4-6 мес 4-6 months	7-11 мес 7-11 months	1-2 года 1-2 years	3-6 лет 3-6 years	7-10 лет 7-10 years	11-14 лет*** 11-14 years ***		15-17 лет*** 15-17 years ***			
							мальчики boys	девочки girls	юноши boys	девушки girls		
Энергия и пищевые вещества / Energy and macronutrients												
Энергия, ккал* / Energy, kcal *	115*	115*	110*	1300	1800	2100	2500	2300	2900	2500		
Белок, г / Protein, g	2,2*	2,6*	2,9*	39	54	63	75	69	87	75		
В том числе животный, % / Including animal origin, %	–	–	–	70	65	60						
Жиры, г / Fat, g	6,5*	6*	5,5*	44	60	70	83	77	97	83		
Докозагексаеновая кислота, мг / Docosahexaenoic acid, mg	100				–							
Докозагексаеновая + эйкозапентаеновая кислоты, мг Docosahexaenoic + Eicosapentaenoic acids, mg	–				250							
Холестерин, мг / Cholesterol, mg	–	–	–	<300								
Углеводы, г / Carbohydrates, g	13*	13*	13*	188	261	305	363	334	421	363		
Пищевые волокна, г / Dietary fiber, g	–	–	–	10	12	16	20		22			
Витамины / Vitamins												
Витамин С, мг / Vitamin C, mg	30	35	40	45	50	60	70	60	90	70		
Витамин В ₁ , мг / Vitamin B ₁ , mg	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9	1,1	1,3		1,5	1,3		
Витамин В ₂ , мг / Vitamin B ₂ , mg	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	1,2	1,5		1,8	1,5		
Витамин В ₆ , мг / Vitamin B ₆ , mg	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	1,6	2,0	1,6		
Ниацин, мг ниацин экв. / Niacin, mg niacin eq	5,0	6,0	7,0	8,0	11,0	15,0	18,0		20,0	18,0		
Витамин В ₁₂ , мкг / Vitamin B ₁₂ , µg	0,3	0,4	0,5	0,7	1,5	2,0	3,0					
Фолаты, мкг / Foliates, µg	50		60	100	200		300–350		400			
Пантотеновая кислота, мг / Pantothenic acid, mg	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0		3,5		5,0	4,0		
Биотин, мкг / Biotin, µg	10			10	15	20	25		50			
Витамин А, мкг рет. экв. / Vitamin A, µg retinol eq	400			450	500	700	1000	800	1000	800		
Витамин Е (α-токоферол), мг ток. экв. / Vitamin E (α-tocopherol), mg tocopherol eq	3,0		4,0	4,0	7,0	10,0	12,0		15,0			
Витамин D, мкг / Vitamin D, µg	10			15								
Витамин К, мкг / Vitamin K, µg	30			30	55	60	80	70	120	100		
Минеральные вещества / Mineral substances												
Кальций, мг / Calcium, mg	400	500	600	800	900	1100	1200					
Фосфор, мг / Phosphorus, mg	300	400	500	600	700	800	900		900			
Магний, мг / Magnesium, mg	55	60	70	80	200	250	300		400			
Калий, мг / Potassium, mg	–	–	–	1000	1500	2000	2500		3200			
Натрий, мг / Sodium, mg	200	280	350	500	700	1000	1100		1300			
Хлориды, мг / Chlorides, mg	300	450	550	800	1100	1700	1900		2300			
Железо, мг / Iron, mg	4,0	7,0	10,0	10,0		12,0		15,0		18,0		
Цинк, мг / Zinc, mg	3,0		4,0	5,0	8,0	10,0	12,0					
Йод, мкг / Iodine, µg	70			90			130		150			
Медь, мг / Copper, mg	0,5			0,5	0,6	0,7	0,8		1,0			
Марганец, мг / Manganese, mg	–		0,02– 0,5	0,5	1,0	1,5	2,0		3,0			
Молибден, мкг / Molybdenum, µg	–		10	15	20	30	45		65			
Селен, мкг / Selenium, µg	10	12		15	20	30	40		50			
Хром, мкг / Chromium, µg	–	–	–	11	15		25		35			
Фтор, мг** / Fluorine, mg**	–	–	0,4	0,6	0,9 (м)	1,0 (д)	1,4 (м)	1,5 (д)	2,2	2,3	2,8	3,2

Примечание. * – потребности для детей первого года жизни, находящихся на искусственном вскармливании, в энергии, белках, жирах, углеводах даны в г/кг массы тела; ** – адекватный уровень потребления; *** – при организации питания в организованных детских коллективах потребности детей старших возрастных групп в энергии и пищевых веществах, имеющие деление по половому признаку, следует рассчитывать по большему значению.

Note. * – requirements in energy, proteins, fats, carbohydrates for bottle-fed children of the first year of life are given in g/kg of body weight; ** – adequate consumption level; *** – when catering in organized children's groups, the requirements for children of older age groups in energy and nutrients, which are divided by sex, should be calculated according to a larger value.

Таблица 15. Оптимальное соотношение долей макронутриентов в калорийности рациона для детей [1]

Table 15. Optimal ratio of macronutrient proportions in the daily diet calorie value for children [1]

Показатель (в сутки), % от калорийности Indicator (per day), percent of daily calories	Возрастные группы / Age groups									
	0-3 мес 0-3 months	4-6 мес 4-6 months	7-11 мес 7-11 months	1-2 года 1-2 years	3-6 лет 3-6 years	7-10 лет 7-10 years	11-14 лет*** 11-14 years ***		15-17 лет*** 15-17 years ***	
							мальчики boys	девочки girls	юноши boys	девушки girls
Энергия, ккал* / Energy, kcal *	115*	115*	110*	1300	1800	2100	2500	2300	2900	2500
Белок / Protein	–	–	10–15	12–15						
Жир / Fat	–	–	–	30–40	25–35					
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) Polyunsaturated fatty acids (PUFA)	–	–	–	5–10	6–10					
ПНЖК семейства ω-6 / PUFA ω-6	–	–	–	4–9	5–8					
ПНЖК семейства ω-3 / PUFA ω-3	–	–	–	0,8–1	1–2					
Углеводы / Carbohydrates	–	–	–	55–60						
В том числе сахара / Including sugar	–	–	–	<10						

Примечание. * – на 1 кг массы тела.

Note. * – per 1 kg of body weight.

в Норммах введен новый раздел, характеризующий современные стандарты физического развития различных групп населения. На основе данных Выборочного наблюдения фактического питания населения РФ в 2018 г., выполненного Росстатом, установлены антропометрические параметры стандартного взрослого человека (россиянина) с нормальной массой тела, которые были использованы для расчетов величин основного обмена и потребностей различных возрастно-половых групп населения в энергии и белке. Раздел дополнен критериями оценки индекса массы тела и других антропометрических показателей пищевого статуса (см. табл. 1).

Анализируя результаты этих исследований, можно сделать вывод об отсутствии в настоящее время угроз недостаточности питания. Рационы питания детского и взрослого населения в целом обеспечивают потребности в энергии и основных пищевых веществах. Однако важнейшие глобальные вызовы, характеризующиеся нерациональным соотношением основных пищевых веществ, дефицитом микронутриентов, ростом распространенности избыточной массы тела, ожирения и других факторов риска неинфекционных заболеваний, остаются для Российской Федерации крайне актуальными:

- только 24–27% населения ежедневно потребляют 400 г и более овощей и фруктов, около 20% детей регулярно не употребляют овощи и фрукты, более 40% детей и взрослых практически ежедневно употребляют переработанные мясные продукты (колбасы и сосиски) и кондитерские изделия, потребление молока и молочных продуктов ниже рекомендуемых величин в 1,1–1,4 раза;
- содержание жира в рационе детей и взрослых составляет до 38% по калорийности (рекомендации – не более 30%), насыщенных жирных кислот – до 14,6% (рекомендации – не более 10%);

- содержание добавленных сахаров в рационах обеспечивает до 13–14% по калорийности (рекомендации – не более 10%);
- отмечен высокий уровень содержания пищевой соли в рационах – до 13 г в день у взрослых и 7–9 г у детей (более чем в 2 раза, рекомендации – не более 5 г в день);
- 22% взрослого и 40% детского населения имеют полигиповитаминозные состояния (недостаток 3 витаминов и более), обеспечены всеми витаминами только 14% взрослого и 17% детского населения (старше 4 лет);
- около 62% лиц старше 18 лет имеют избыточную массу тела или ожирение (63% мужчин и 60% женщин), распространенность ожирения (индекс массы тела >30 кг/м²) составила 22,2% (17,3% мужчин и 25,3% женщин). 17,1% детей (0–17 лет) имеют избыточную массу тела, а 9,9% – ожирение.

В новых Норммах отражены уровни физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах в зависимости от физической активности населения (табл. 3, 4), включая витамины и минеральные вещества как для мужчин (табл. 5–7), так и для женщин (см. табл. 4, 8–11), включая период беременности и кормления (табл. 12, 13), а также для детей разного возраста (табл. 14, 15).

Учитывая имеющиеся нарушения структуры питания населения, в Нормы впервые включены рекомендации по снижению потребления критически значимых для здоровья нутриентов (пищевой соли, добавленных сахаров, транс-изомерных жирных кислот), основанные на данных современных метаанализов по оценке негативных эффектов на здоровье их избыточного потребления.

С учетом новых научных данных о роли полиненасыщенных жирных кислот семейств ω -3 и ω -6 в метаболизме и значении в профилактике неинфекционных заболеваний, существенно расширены рекомендации по их потреблению детьми и взрослыми, в том числе

Таблица 16. Адекватные уровни потребления минорных биологически активных веществ пищи для взрослых [1]

Table 16. Adequate intake of minor biologically active substances for adults [1]

Пищевые вещества <i>Micronutrients</i>	Адекватный уровень потребления, мг/сут <i>Adequate intake, mg/day</i>
Витаминоподобные соединения / Vitamin-like substances	
Мионозит (инозит) / <i>Inositol</i>	500
L-карнитин / <i>L-carnitine</i>	300
Коэнзим Q ₁₀ (убихинон) / <i>Coenzyme Q₁₀ (ubiquinone)</i>	30
Липоевая кислота / <i>Lipoic acid</i>	30
Метилметионинсульфоний / <i>Methylmethionine sulfonium</i>	200
Оротовая кислота / <i>Orotic acid</i>	300
Парааминобензойная кислота / <i>Para-aminobenzoic acid</i>	100
Холин / <i>Choline</i>	500
Индольные соединения / Indole compounds	
Индол-3-карбинол / <i>Indole-3-carbinol</i>	50
Фенольные соединения / Phenolic compounds	
<i>Фенольные кислоты / Phenolic acids</i>	
Гидроксibenзойные кислоты (галловая, эллаговая и др.) / <i>Hydroxybenzoic acids (gallic, ellagic, etc.)</i>	50
Гидроксикоричные кислоты (хлорогеновая, феруловая, цикориевая, кафтаровая и др.) / <i>Hydroxycinnamic acids (chlorogenic, ferulic, chicoric, caftaric etc.)</i>	200
<i>Флавоноиды / Flavonoids</i>	
Флавонолы (кверцетин, кемпферол, мирицетин, изорамнетин и их гликозиды в пересчете на агликон) / <i>Flavonols (quercetin, kaempferol, myricetin, isorhamnetin and their glycosides in terms of the equivalent amount of aglycone)</i>	30
Флаваноны (гесперетин, нарингенин, эриодиктиол и их гликозиды в пересчете на агликон) / <i>Flavanones (hesperetin, naringenin, eriodictyol and their glycosides in terms of the equivalent amount of aglycone)</i>	30
Флаван-3-олы (эпигаллокатехин, эпикатехин, катехин и их галлаты) / <i>Flavan-3-ols (epigallocatechin, epicatechin, catechin and their gallates)</i>	200
Флавоны (апигенин, лутеолин и их гликозиды в пересчете на агликон) / <i>Flavones (apigenin, luteolin and their glycosides in terms of aglycone)</i>	10
Антоцианы (гликозиды цианидина, мальвидина, пеларгонидина, дельфинидина, петунидина) / <i>Anthocyanins (glycosides of cyanidin, malvidin, pelargonidin, delphinidin, petunidin)</i>	50
Изофлавоноиды (генистеин, глицитеин, дайдзеин и их гликозиды в пересчете на агликон) / <i>Isoflavones (genistein, glycitein, daidzein and their glycosides in terms of aglycone)</i>	2
<i>Полимерные фенольные соединения / Polyphenolic compounds</i>	
Конденсированные танины (проантоцианидины) / <i>Condensed tannins (proanthocyanidins)</i>	200
Гидролизуемые танины (галло- и эллаготанины) / <i>Hydrolyzable tannins (gallotannin and ellagotannins)</i>	200
Стильбены / Stilbenes	
Ресвератрол, пикеатаннол, виниферин и их гликозиды в пересчете на агликон / <i>Resveratrol, piceatannol, viniferin and their glycosides in terms of aglycone</i>	2
Биологически активные вещества липидной природы / Biologically active substances of lipid nature	
β-Ситостерин / <i>β-Sitosterol</i>	100
Стигмастерин / <i>Stigmasterol</i>	100
β-Ситостерол-D-гликозид / <i>β-Sitosterol-D-glucoside</i>	100
Другие биологически активные вещества / Other biologically active substances	
Карнозин / <i>Carnosine</i>	200
Глюкозамин сульфат / <i>Glucosamine sulfate</i>	700

беременными и кормящими женщинами. Впервые введены адекватные уровни потребления для растительных стеридов: β-ситостерина, β-ситостерол-D-гликозида и стигмастерина.

Появление новых данных о величинах потребления и биологическом действии фенольных биологически активных веществ, создание новых баз данных их содержания в пищевых продуктах позволило уточнить адекватные уровни потребления отдельных фенольных соединений (фенольных кислот, флавоноидов, полимерных фенольных соединений и стильбенов). Уточнены описания биологического действия для миоинозита

(инозита), L-карнитина, коэнзима Q₁₀, липоевой кислоты, метилметионинсульфония, оротовой кислоты, парааминобензойной кислоты, холина, индол-3-карбинола, глюкозамина сульфата (табл. 16, 17).

Фенольные соединения широко представлены в пищевых продуктах растительного происхождения. Получены доказательства важной роли фенольных соединений в регуляции защитно-адаптационного потенциала организма [5–8], а регулярное потребление с рационом фенольных соединений ассоциировано со снижением риска развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. К числу основных фенольных соединений

Таблица 17. Адекватные уровни потребления минорных биологически активных веществ пищи для детей [1]

Table 17. Adequate intake of minor biologically active substances for children [1]

Показатель <i>Indicator</i>	Величины потребления в зависимости от возраста детей, мг/сут <i>Adequate intake depending on the age of children, mg/day</i>			
	0–11 мес <i>0–11 months</i>	1–3 года <i>1–3 years</i>	4–6 лет <i>4–6 years</i>	7–18 лет <i>7–18 years</i>
Мионозит (инозит) / <i>Inositol</i>	30–40	50–60	80–100	200–500
L-карнитин / <i>L-carnitine</i>	10–15	30–50	60–90	100–300
Холин / <i>Choline</i>	50–70	70–90	100–200	200–500
Флавоноиды (за счет фруктов и овощей) / <i>Flavonoids (from fruits and vegetables)</i>	–	–	–	150–250
В том числе флаван-3-олы (катехины) / <i>Including flavan-3-ols (catechins)</i>	–	–	–	50–100

Таблица 18. Рекомендуемое потребление воды и напитков для поддержания водного баланса организма взрослых (индекс массы тела 20–25 кг/м²) [1]

Table 18. Recommended levels of water and drink consumption to maintain water balance in the adult body (body mass index 20–25 kg/m²) [1]

Группа населения / <i>Group of population</i>	КФА / <i>CFA</i>	Потребность в воде (напитках), л/сут / <i>Water (drinks) intake, l/day</i>
Мужчины, 18–64 года <i>Men, 18–64 years old</i>	1,4	1,3–1,4
	1,6	1,5–1,6
	1,9	1,8–1,9
	2,2	2,1–2,2
Мужчины, ≥65 лет / <i>Men over 65</i>	1,7	1,4–1,5
Женщины, 18–64 года <i>Women, 18–64 years old</i>	1,4	1,0–1,1
	1,6	1,2–1,3
	1,9	1,4–1,5
	2,2	1,7–1,8
Женщины, ≥65 лет / <i>Women over 65</i>	1,7	1,1–1,2

П р и м е ч а н и е. КФА – коэффициент физической активности.

N o t e. CPA – coefficient of physical activity.

Таблица 19. Рекомендуемое потребление воды и напитков для поддержания водного баланса организма детей [1]

Table 19. Recommended levels of water and drink consumption to maintain water balance in the child body [1]

Показатель (в сутки) <i>Indicator (per day)</i>	Возрастная группа / <i>Age group</i>								
	7-11 мес <i>7-11 months</i>	1-2 года <i>1-2 years</i>	3-6 лет <i>3-6 years</i>	7-10 лет / <i>7-10 years</i>		11-14 лет / <i>11-14 years</i>		15-17 лет / <i>15-17 years</i>	
				мальчики <i>boys</i>	девочки <i>girls</i>	мальчики <i>boys</i>	девочки <i>girls</i>	мальчики <i>boys</i>	девочки <i>girls</i>
Вода, л <i>Water intake. /</i>	0,2–0,3	0,6–0,7	0,8–0,9	1,2–1,3	1,1–1,2	1,3–1,4	1,2–1,3	1,5–1,6	1,4–1,5

относятся представители фенольных кислот, флавоноидов, полимерных фенольных соединений и стильбенов. В новом подразделе «Фенольные соединения» впервые конкретизированы уровни адекватного потребления для 4 отдельных подклассов. Установлен адекватный уровень потребления для карнозина, входящего в состав мяса и рыбы, который рассматривают в качестве антиоксиданта, обладающего нейропротекторным действием [9–12].

На основании новых данных о взаимодействии различных микронутриентов (витаминов и минеральных веществ) и их оптимальных соотношениях в рационе, а также распространенности среди взрослого и детского населения в Российской Федерации полигиповитаминозных состояний уточнены физиологические

потребности в ряде витаминов. Принимая во внимание дефицит витамина D у всех групп населения и с целью поддержания нормального состояния опорно-двигательного аппарата и снижения риска развития ряда хронических неинфекционных заболеваний, величина физиологической потребности в витамине D увеличена с 10 до 15 мкг (600 МЕ) для детей и взрослых (см. табл. 5, 9, 14). Поскольку потребность в витаминах B₁, B₂ и PP зависит от потребления энергии, наряду с сохранением норм потребности, выраженных в абсолютных величинах, нормы дополнены величинами, соотношенными с потреблением энергии (см. табл. 5, 9). Учитывая, что потребление женщинами витамина A свыше 1,5 мг/сут приводит к увеличению риска развития остеопороза, норма физиологической потреб-

Таблица 20. Основные качественно-количественные показатели эталонного кишечного микробиома взрослых людей [1, 3]

Table 20. The main qualitative and quantitative indicators of the reference intestinal microbiome of adults [1, 3]

Показатель / Indicator	Значение / Value	
Таксономические и популяционные характеристики		
Метагеномная характеристика сообщества в ранге филумов (филотипов) Соотношение в ДНК, выделенной из содержимого кишечника, %	Наличие 7 основных филотипов <i>Firmicutes</i> , <i>Bacteroidetes</i> , <i>Actinobacteria</i> , <i>Proteobacteria</i> , <i>Verrucomicrobia</i> , <i>Fusobacteria</i> , <i>Euryarchaeota</i> (<i>Methanobacteraeota</i>) Соотношение <i>Bacteroidetes</i> : <i>Firmicutes</i> (индекс B/F) – 1,7–6,0	
Наличие в составе микробиоты представителей основного микробиома (таксонов в ранге рода и вида, % и диапазон содержания, Ig КОЕ/г кала) Соотношение в ДНК, выделенной из содержимого кишечника (индекс <i>Bfr</i> / <i>Fprau</i>)	Роды и виды <i>Bifidobacteria</i> , <i>Atopobium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Bacteroides</i> spp., в том числе <i>B. fragilis</i> , <i>Bacteroides thetaiotaomicron</i> , <i>Parabacteroides</i> , <i>Prevotella</i> , <i>Alistipes</i> spp., <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> , <i>Blautis</i> , <i>Dorea</i> , <i>Ruminococcus</i> , <i>Roseburia</i> , <i>Coprococcus</i> , <i>Clostridium</i> spp. (кроме <i>C. perfringens</i> , <i>C. botulinum</i>), <i>Lachnobacterium</i> , <i>Anaerostipes</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Akkermansia</i> spp., <i>Methanobrevibacter smithii</i>) Соотношение видов <i>Bacteroides fragilis</i> : <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> – не более 1,3	
Встречаемость условно-патогенных и патогенных микроорганизмов (% и диапазон содержания, Ig КОЕ/г кала)	Не должны присутствовать <i>C. difficile</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp., <i>Klebsiella</i> spp., <i>Pseudomonadaceae</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Campylobacter coli</i> & <i>jejuni</i> & <i>lari</i> , <i>Helicobacter pylori</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> . Могут выделяться транзиторно <i>Fusobacterium</i> spp., <i>Candida</i> spp. в количестве не более 4	
Уровень α-разнообразия (число видов кишечной микробиоты индивида)	Индекс Пиелу – более 0,4	
Показатели активности защитных и факультативных популяций (маркеры антагонизма)		
Кислотообразование у бифидобактерий (ед. pH в среде культивирования первой генерации)	Не более 4,5	
Гемолитическая активность аэробных и анаэробных микроорганизмов, %	Число КОЕ с признаками гемолиза эритроцитов в среде культивирования – менее 10% от общего количества КОЕ/г кала	
Иммунологические и метаболические характеристики копрофильтрата		
Содержание КЦЖК, в том числе ацетата (А), пропионата (П), бутирата (Б)	мМоль/л, Σ	соотношение А : П : Б
	50–150	3:1:1
Фекальные аминокислоты и их производные, частота обнаружения, %, не более	β-Аспартилглицин	0
	γ-Аминокислотная	0
	β-Аспартиллизин	0–10
	β-Аланин	0–5
	5-аминовалериановая	0–10
	γ-Аминоизомасляная	0–10
Концентрация секреторного IgA, мг/л	В пределах 0–50	
Суммарная антилизотическая, антииммуноглобулиновая и антиинтерфероновая активность (индекс ингибирования тест-культур, частота обнаружения, %) данные в процессе сбора		
Кислотность содержимого толстой кишки, ед. pH	От 7,0 до 7,5	

КЦЖК – короткоцепочечные жирные кислоты.

ности в нем для женщин снижена до 800 мкг/сут (см. табл. 9) при одновременном повышении величины потребности в витамине С для взрослых до 100 мг/сут (см. табл. 5, 9).

Учитывая новые данные о связи недостаточного потребления калия с повышенным риском развития инсульта и других сердечно-сосудистых заболеваний, увеличена величина физиологической потребности взрослых в калии до 3500 мг/сут (см. табл. 6, 10). Основываясь на данных о связи дефицита магния с развитием гипокальциемии и гипокалиемии, повышением риска развития артериальной гипертензии и болезней сердца, а также с учетом международного опыта норма физиологической потребности в магнии увеличена с 400 до 420 мг/сут (см. табл. 6, 10). Для оптимизации соотношения кальция: фосфор физиологическая потребность в фосфоре снижена до 700 мг/сут (см. табл. 6, 10).

Впервые в Нормы включены рекомендуемые уровни потребления воды (напитков) для поддержания вод-

ного баланса организма при оптимальных условиях окружающей среды для взрослых мужчин и женщин при разных уровнях физической активности (табл. 18), для детей (табл. 19), а также для беременных и кормящих женщин.

Впервые в мировой практике представлен комплекс качественно-количественных показателей эталонного кишечного микробиома (табл. 20). В него включены современные таксономические и функциональные характеристики, дающие представление о фенотипе микробиоты у взрослых с нормальным индексом массы тела, потребляющих сбалансированные по энергетической и пищевой ценности рационы, адекватные возрасту и энерготратам [1, 3].

Нормы дополнены справочными приложениями, включающими:

- оценку вероятного риска недостаточного потребления пищевых веществ;
- коэффициенты пересчета для эквивалентов витаминов;

- энергетическую ценность пищевых веществ;
- основные таксономические и функциональные характеристики кишечного микробиома.

Настоящая статья анонсирует новые Нормы и подчеркивает важность их незамедлительного практического применения в медицине и агропромышленном комплексе.

Выход на установленные Нормы при формировании важнейших социально-экономических показателей является гарантом обеспечения оптимального питания различных групп населения РФ, снижения потерь от социально значимых неинфекционных заболеваний, повышения качества и увеличения продолжительности жизни россиян.

Сведения об авторах

Попова Анна Юрьевна (Anna Yu. Popova) – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Роспотребнадзора, Главный государственный санитарный врач РФ (Москва, Российская Федерация)

E-mail: popova_a_yu@staff.sechenov.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2567-9032>

Тутельян Виктор Александрович (Victor A. Tutelyan) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: tutelyan@ion.ru

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

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitriy B. Nikityuk) – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4968-4517>

Литература

1. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека – Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.07.2021.
2. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Батурин А.К., Васильев А.В., Гаппаров М.М.Г., Жилинская Н.В. и др. Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
3. Шевелева С.А., Куваева И.Б., Ефимочкина Н.Р., Маркова Ю.М., Просянкин М.Ю. Микробиом кишечника: от эталона нормы к патологии // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 35–51. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10040>
4. Коденцова В.М., Мендель О.И., Хотимченко С.А., Батурин А.К., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Физиологическая потребность и эффективные дозы витамина D для коррекции его дефицита. Современное состояние проблемы // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 2. С. 47–62. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00033>
5. Тутельян В.А., Лашнева Н.В. Биологически активные вещества растительного происхождения. Катехины: пищевые источники, биодоступность, влияние на ферменты метаболизма ксенобиотиков // Вопросы питания. 2009. Т. 78, № 4. С. 4–20.
6. Тутельян В.А., Лашнева Н.В. Биологически активные вещества растительного происхождения. Флаваноны: пищевые источники, биодоступность, влияние на ферменты метаболизма ксенобиотиков // Вопросы питания. 2011. Т. 80, № 5. С. 4–23.
7. Аксенов И.В., Авреньева Л.И., Гусева Г.В., Трусов Н.В., Балакина А.С., Мжельская К.В. и др. Влияние кверцетина на защитный потенциал крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10047>
8. Мжельская К.В., Трусов Н.В., Гусева Г.В., Аксенов И.В., Кравченко Л.В., Тутельян В.А. Изучение влияния кверцетина на экспрессию генов ферментов углеводного и липидного обмена в печени крыс, получавших высокофруктозный рацион // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2019. Т. 167, № 2. С. 218–222.
9. Девятков А.А., Рыжков И.Н. Действие минорных компонентов пищи карнозина, кверцетина и гесперетина при экспериментальной фокальной ишемии/реперфузии // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 5, Приложение. С. 256–257. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10366>
10. Berezhnuy D.S., Stvolinsky S. L., Lopachev A.V. et al. Carnosine as an effective neuroprotector in brain pathology and potential neuro-modulator in normal conditions // Amino Acids. 2019. Vol. 51, N 1. P. 139–150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2667-7>
11. Davis P.K., Laud P.J., Bahor Z. et al. Systematic review and stratified meta-analysis of the efficacy of carnosine in animal models of ischemic stroke // J. Cereb. Blood Flow Metab. 2016. Vol. 36, No 10. P. 1686–1694. DOI: <https://doi.org/10.1177/0271678X16658302>
12. Стволинский С.Л., Федорова Т.Н., Девятков А.А., Медведев О.С., Белоусова М.А., Рыжков И.Н., Тутельян В.А. Нейропротективное действие карнозина в условиях экспериментальной фокальной ишемии-реперфузии головного мозга // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова 2017. Т. 117, № 12, вып. 2. С. 60–64. DOI: <https://doi.org/10.17116/jnevro201711712260-64>

References

1. Methodical recommendations MR 2.3.1.0253-21 “Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation”, approved by the Head of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation 22.07.2021. (in Russian)

2. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Baturin A.K., Vasiliev A.V., Gaparov M.M.G., Zhilinskaya N.V., et al. Nutriome as the direction of the "main blow": determination of physiological needs in macro- and micronutrients, minor biologically active substances. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 24–34. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039> (in Russian)
3. Sheveleva S.A., Kuvaeva I.B., Efimochkina N.R., Markova Yu.M., Prosyannikov M.Yu. Gut microbiome: from the reference of the norm to pathology. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 35–51. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10040> (in Russian)
4. Kodentsova V.M., Mendel' O.I., Khotimchenko S.A., Baturin A.K., Nikitiuk D.B., Tutelyan V.A. Physiological needs and effective doses of vitamin D for deficiency correction. Current state of the problem. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2017; 86 (2): 47–62. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00033>
5. Tutelyan V.A., Lashneva N.V. Biologically active substances of plant origin. Catechins: food sources, bioavailability, effect on xenobiotic metabolism enzymes. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2009; 78 (4): 4–20. (in Russian)
6. Tutelyan V.A., Lashneva N.V. Biological active substances of plant origin. Flavanones: dietary sources, bioavailability, the influence on xenobiotic metabolizing enzymes. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2011; 80 (5): 4–23. (in Russian)
7. Aksenov I.V., Areneva L.I., Guseva G.V., Trusov N.V., Balakina A.S., Mzhelskaya K.V., et al. Effect of quercetin on the protective potential of rats with increased fructose content in the diet. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 6–12. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10047> (in Russian)
8. Mzhelskaya K.V., Trusov N.V., Guseva G.V., Aksenov I.V., Kravchenko L.V., Tutelyan V.A. Study of the effect of quercetin on the expression of genes of carbohydrate and lipid metabolism enzymes in the liver of rats receiving a high-fructose diet. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2019; 167 (2): 218–22. (in Russian)
9. Devyatov A. A., Ryzhkov I. N. Action of minor food components carnosine, quercetin and hesperetin in experimental focal ischemia/reperfusion. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87(S5): 256–7. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10366> (in Russian)
10. Berezhnoy D.S., Stvolinsky S.L., Lopachev A.V., et al. Carnosine as an effective neuroprotector in brain pathology and potential neuromodulator in normal conditions. *Amino Acids*. 2019; 51 (1): 139–50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2667-7>
11. Davis P.K., Laud P.J., Bahor Z., et al. Systematic review and stratified meta-analysis of the efficacy of carnosine in animal models of ischemic stroke. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2016; 36 (10): 1686–94. DOI: <https://doi.org/10.1177/0271678X16658302>
12. Stvolinsky S.L., Fedorova T.N., Devyatov A.A., Medvedev O.S., Belousova M.A., Ryzhkov I.N., Tutelyan V.A. A neuroprotective action of carnosine in conditions of experimental focal cerebral ischemia-reperfusion. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova* [S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]. 2017; 117 (12, is. 2): 60–4. DOI: <https://doi.org/10.17116/jnevro201711712260-64> (in Russian)

Для корреспонденции

Ефимцева Элеонора Африкановна – старший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
 Адрес: 167982, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50
 Телефон: (8212) 24-16-83
 E-mail: el.efimz@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0144-854X>

Ефимцева Э.А., Челпанова Т.И.

Пищевые волокна как модуляторы секреции гастроинтестинальных гормональных пептидов

Dietary fiber as modulators of gastrointestinal hormonal peptide secretion

Efimtseva E.A., Chelpanova T.I.

Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», 167982, г. Сыктывкар, Российская Федерация

Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", 167982, Syktyvkar, Russian Federation

В обзоре обобщена информация о влиянии пищевых волокон на секрецию ключевых гастроинтестинальных гормональных пептидов, участвующих в регуляции пищевого поведения и контроле над аппетитом. Обсуждаются механизмы действия пищевых волокон на секрецию регуляторных пептидов, связанных с формированием чувства голода, насыщения и сытости. Модуляция секреции гастроинтестинальных гормональных пептидов, вовлеченных в регуляцию баланса энергии, аппетита и массы тела, пищевыми волокнами может рассматриваться в качестве одной из стратегий контроля над пищевым поведением человека.

Цель обзора – представить и обобщить информацию об эффектах, оказываемых пищевыми волокнами на секрецию основных гастроинтестинальных гормональных пептидов, вовлеченных в контроль над аппетитом, формирование чувства голода, насыщения и сытости.

Результаты. Гастроинтестинальные гормоны как физиологические регуляторы потребления пищи играют существенную роль в формировании чувства голода, насыщения и сытости, способствуют контролю над аппетитом и поддержанию нормальной массы тела. Различные пищевые волокна в зависимости от химической структуры, физико-химических свойств, количества и продолжительности потребления оказывают модулирующее влияние на секрецию гормона голода грелина и гормонов сытости: лептина, глюкагоноподобного пептида-1, холецистокинина и пептида YY.

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР «Механизмы регуляции аппетита неусвояемыми полисахаридами пищи» № ГР АААА-А17-117012310147-8 (2017–2020 гг.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Ефимцева Э.А., Челпанова Т.И. Пищевые волокна как модуляторы секреции гастроинтестинальных гормональных пептидов // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 4. С. 20–35. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-20-35>

Статья поступила в редакцию 16.04.2021. **Принята в печать** 22.07.2021.

Funding. The paper was carried out on the theme of research work: «Mechanisms of appetite regulation by indigestible polysaccharides of food», № GR АААА-А17-117012310147-8 (2017–2020).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Efimtseva E.A., Chelpanova T.I. Dietary fiber as modulators of gastrointestinal hormonal peptide secretion. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (4): 20–35. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-20-35> (in Russian)

Received 16.04.2021. **Accepted** 22.07.2021.

Заключение. Пищевые волокна, оказывая влияние на процессы усвоения нутриентов в желудочно-кишечном тракте, модулируют высвобождение аппетита-регулирующих гормонов, вовлеченных в формирование чувства голода и сытости. Создание в организме благоприятного профиля эндогенных гастроинтестинальных гормонов посредством включения в рацион питания пищевых волокон в составе натуральной пищи или в качестве биологически активных добавок к пище представляет интерес как одна из стратегий контроля над аппетитом и поддержания нормальной массы тела.

Ключевые слова: пищевые волокна, гастроинтестинальные гормоны, секреция, насыщение, сытость, голод, аппетит, масса тела

The review provides information on the effect of dietary fibers on the production of key gastrointestinal hormonal peptides that affect eating behavior and the formation of feelings of hunger and satiety. The mechanisms of action of dietary fiber on the production of appetite-regulating peptides are discussed. Modulation of gastrointestinal hormonal peptide secretion by dietary fibers is involved in the regulation of the balance of energy, appetite, and body weight.

The aim of the research was to expand the understanding about the effects of dietary fiber on the secretion of major gastrointestinal hormonal peptides involved in appetite control, the formation of feelings of hunger, satiety and satiation.

Results. Gastrointestinal hormones, as physiological regulators of food intake, play an essential role in the formation of feelings of hunger, satiety and satiation, helping to reduce appetite and maintain normal body weight. Various dietary fibers, depending on the physico-chemical properties, the amount and duration of the consumption period, can have a modulating effect on the secretion of the hunger hormone ghrelin and the hormones of satiety: leptin and intestinal peptides (glucagon-like peptide-1, cholecystokinin and YY peptide).

Conclusion. Dietary fiber influence on processes of energy intake, food ingestion and nutrient absorption in gastrointestinal tract, enhance neuroendocrine responses, modulate release of appetite-regulating hormones involved in energy balance and regulation of feelings of hunger and satiety. The possibility to promote a favorable profile of the endogenous gastrointestinal hormones by inclusion of dietary fiber in food ration both in the form of the natural food and additionally as dietary supplements is of interest as one from strategies of over appetite control and normal body weight maintenance.

Keywords: dietary fiber, gastrointestinal hormonal peptides, secretion, satiety, satiation, hunger, appetite, weight

Поддержание процессов нормальной жизнедеятельности организма зависит от поступления энергии в виде основных пищевых веществ: белков, жиров, углеводов – и правильном их соотношении, а также от потребления микронутриентов в адекватном количестве. Между тем структура питания современного человека на фоне малоподвижного образа жизни характеризуется повышенной калорийностью, несбалансированным потреблением необходимых для организма макро- и микронутриентов и недостаточным потреблением пищевых волокон (ПВ). Дефицит ПВ в питании человека повышает риск развития различных заболеваний, приводит к серьезным нарушениям здоровья: расстройствам со стороны желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), сердечно-сосудистой системы, нарушениям углеводного и липидного обмена, избыточной массе тела [1].

Основными источниками ПВ являются продукты растительного происхождения, а также продукты их переработки. Выделенные из натуральных источников, эти ценные компоненты используются в качестве функциональных ингредиентов для обогащения пищи, для создания новых функциональных продуктов, способных сни-

жать калорийность рациона и избыточное потребление пищи. Растительная пища способствует более ранним сигналам насыщения и более длительному ощущению сытости, снижая при этом потребление пищи, предотвращая набор избыточной массы тела и выраженное ожирение, сопровождаемое различными клиническими осложнениями [1].

Сигналы о потребности в энергии регулируются в организме посредством гуморальных и нервных механизмов. Центром интеграции сигналов, регулирующих энергетический баланс в организме, является гипоталамус, в определенных областях которого формируются ощущения голода, насыщения и сытости. Неотъемлемой частью нейрогуморальной системы, участвующей в регуляции потребления и расхода энергии, являются гормональные пептиды ЖКТ и жировой ткани. Полагают, что гормональные пептиды ЖКТ, связанные с инициацией приема пищи, могут рассматриваться в качестве биомаркеров голода, тогда как пептиды, связанные с завершением потребления пищи, – в качестве биомаркеров насыщения и сытости. Участвуя в контроле над аппетитом и массой тела, гормональные пептиды

как медиаторы пищевого поведения представляют собой привлекательные мишени для различных воздействий, вызывающих стимуляцию или угнетение приема пищи [2].

В литературе широко обсуждается влияние ПВ на процессы переваривания и усвоения различных нутриентов в ЖКТ, однако влияние ПВ на секрецию гастроинтестинальных пептидов, вовлеченных в механизмы регуляции аппетита, расхода и потребления энергии, оценивается неоднозначно из-за разнообразия наблюдаемых эффектов.

Цель настоящего обзора – представить и обобщить информацию об эффектах, оказываемых ПВ на секрецию основных гастроинтестинальных пептидов, вовлеченных в контроль над аппетитом и в формирование чувства голода, насыщения и сытости.

Гормональные пептиды как биомаркеры голода, насыщения и сытости

Полагают, что насыщение и сытость – не взаимозаменяемые понятия. Ощущение наполнения желудка, которое возникает непосредственно во время еды и приводит к удовлетворению количеством принятой пищи и исчезновению голода, определяют как насыщение. Физическое ощущение наполненности и чувство удовлетворения, которое сохраняется между приемами пищи и определяет интервалы между ними до возвращения сигналов голода, относят к чувству сытости. Данные состояния характеризуются когнитивными, сенсорными, пре- и постабсорбтивными фазами. В этой связи ощущение, связанное с потребностью в пище, мотивирующее ее поиск и выбор, определяют как аппетит. Между тем аппетит представляет собой сложный психофизиологический механизм, регулирующий поступление пищевых веществ в организм [2, 3].

Чувство сытости или голода возникает благодаря разнообразным метаболическим и нервным сигналам, генерируемым ЖКТ и жировой тканью, при их интеграции в мозге. В зависимости от направления сигнальной трансдукции реализуются центральные механизмы регуляции пищевого поведения с вовлечением различных нейротрансмиттеров и нейропептидов головного мозга и периферические (гомеостатические, гуморальные) механизмы с вовлечением различных биологически активных веществ, в том числе гормонов ЖКТ и жировой ткани, при участии периферической нервной системы. На состояние аппетита влияет комплекс центральных и периферических стимулов, которые, в свою очередь, взаимодействуют с факторами внешней среды [2, 4].

В регуляции аппетита принимают участие такие гормональные пептиды, как грелин, холецистокинин (ССК), глюкагоноподобный пептид-1 (GLP-1), соматостатин, окситомодулин, пептид тирозин-тирозин (РYY), энтеростатин и множество других, а также пептиды, синтез которых происходит преимущественно вне ЖКТ: нейро-

пептид Y (NPY), лептин, глюкозозависимый инсулинотропный полипептид (GIP), панкреатический полипептид (PP), инсулин и др. [2, 3, 5].

По своему действию гормональные пептиды являются или орексигенными, повышающими аппетит, или анорексигенными – угнетающими аппетит. Сенсорные сигналы, вовлеченные в энергетический гомеостаз, являются либо долгосрочными (отражают уровень запасов энергии, участвуют в регуляции массы тела) или краткосрочными, сопровождающими эпизоды приема пищи и процесс переваривания, отвечающими за чувство голода и сытости [2–6].

Биологическое действие гормональных пептидов желудочно-кишечного тракта

Грелин стимулирует чувство голода и аппетит. Прогормон грелина продуцируется у человека преимущественно клетками P/D1 слизистой фундального отдела желудка. Грелин подвергается посттрансляционной модификации – ферментативному ацилированию по 3-му остатку Ser-3 жирными кислотами средней длины, в основном октановой кислотой, с участием грелин-О-ацилтрансферазы. Пептид секретируется через базальные мембраны клеток слизистой оболочки в общий кровоток (до $2/3-3/4$ желудочного происхождения) и циркулирует в виде двух форм – активной и неактивной.

Функционально активный пептид, проникая через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), присоединяется к секреторному рецептору гормона роста 1a (GHSR-1a), сопряженному с G-белком, обильно экспрессируемому в определенных областях гипоталамуса, и вовлекается в регуляцию аппетита и энергетического баланса. Деацилированный пептид представляет собой неактивную форму гормона, однако в последнее время появляются предположения, что данная форма также может оказывать эндокринные воздействия [7, 8].

Полагают, что орексигенное действие грелина осуществляется через стимуляцию секреции нейропептидов NPY и агутин-родственного белка (AgRP), экспрессируемых орексигенными нейронами в аркуатном ядре гипоталамуса, подавляя при этом активность анорексигенных нейронов, экспрессирующих нейропептиды проопиомеланокортин (POMC) и кокаин-амфетамин-регулируемый транскрипт (CART) [7, 8].

Грелин осуществляет плейотропное действие и через «грелиновые» рецепторы, экспрессируемые нейронами дугообразного ядра гипоталамуса, вагусного нерва и различных органов, оказывает в организме разные физиолого-биохимические эффекты: влияет на моторику ЖКТ и стимулирует продукцию желудочных секретов, влияет на метаболизм липидов и углеводов (глюкоза и инсулин – важные модуляторы уровня гормона).

Концентрация гормона в плазме крови у здоровых индивидуумов повышается натощак, стимулируя потребление пищи, и снижается после ее употребления. Внутривенное однократное введение грелина здоровым

добровольцам и экспериментальным животным стимулирует потребление пищи и аппетит, способствуя поддержанию массы тела, а хроническое введение гормона приводит к ожирению [7, 9].

Гормон принимает участие как в краткосрочной регуляции аппетита, так и в долговременной регуляции энергетического гомеостаза и массы тела. Дисбаланс между уровнем грелина и лептина приводит к ожирению, при этом уровень грелина в крови коррелирует с фазами суточного ритма лептина [9–11].

Лептин секретируется в основном адипоцитами белой жировой ткани, контролируя ее массу посредством воздействия на липидный обмен. Через этот циркулирующий в кровотоке адипокин происходит передача в мозг информации о запасе энергии от жировой ткани и регулируется потребность в приеме пищи и расход энергии. В норме уровень лептина повышается после приема пищи, что сопровождается снижением аппетита. Во время голодания уровень лептина в плазме крови падает, стимулируя аппетит, при этом угнетается потребление энергии до момента, пока не произойдет восстановление жировой массы. Если масса жира в теле увеличивается, то возрастает и уровень лептина, угнетая аппетит до тех пор, пока не произойдет снижение массы тела. Большинство людей с избыточной массой тела и ожирением или имеют высокий уровень сыровоточного гормона, или резистентны к лептину. Легко проникая через ГЭБ и активируя рецепторы LepR в аркуатном ядре, лептин ингибирует экспрессию генов, вовлеченных в синтез отдельных орексигенных пептидов (NPY, AgRP) и активирует нейроны POMC/CART, стимулируя экспрессию генов, продуцирующих пептиды с анорексигенным действием [12, 13].

Гормон обладает циркадным ритмом секреции: наибольшая концентрация лептина обнаруживается в ночное время. Диета с высоким содержанием жира уменьшает воздействие лептина на гипоталамус [12]. Выявлена положительная корреляция между уровнем лептина в сыворотке и индексом массы тела. Полагают, что лептин, как регулятор энергетического обмена, действует на прием пищи как в краткосрочном, так и в долгосрочном режиме, взаимодействуя с другими эндокринными сигналами [14].

Гормоны кишечника также вовлечены в регуляцию аппетита. Данные пептиды секретируются эндокринными L-клетками, которые диффузно локализованы между энтероцитами вдоль кишечника, с нарастанием плотности их распределения в направлении от тонкой кишки к толстой. Эндокринные L-клетки (клетки открытого типа) обладают на поверхности апикальных мембран специфическими рецепторами и транспортерами, которые реагируют при контакте с кишечным химусом на различные сигналы (пищевые, физико-химические, механические и др.). В ответ на пищевые стимулы сенсорная информация через базальные мембраны L-клеток посредством афферентных волокон блуждающего нерва передается в гипоталамус. Обратные сигналы из центральной нервной системы (ЦНС) по

эфферентным волокнам блуждающего нерва (основного связующего звена между ЖКТ и ЦНС) достигают L-клеток, стимулируя секрецию кишечных гормонов, подавляющих потребление пищи [15, 16]. Кишечные гормоны проявляют свое действие и через автономную сеть нейронов кишечника и клетки нейропода. Взаимосвязь между кишечником и мозгом осуществляется также благодаря гуморальной регуляции за счет освобожденных в циркуляцию из L-клеток пептидных гормонов, которые достигают с кровотоком определенных областей мозга и активируют специфические рецепторы, экспрессируемые в гипоталамусе [17–19].

Среди кишечных пептидов ССК, секретируемый большей частью I-клетками двенадцатиперстной кишки, был первым гормоном, признанным в качестве модулятора пищевого поведения. Уровень высвобождаемого пептида достигает пика в пределах ≈ 15 мин после приема пищи, при этом полупериод жизни гормона в кровотоке кратковременный и составляет несколько минут. Гормон функционирует в виде различных биологически активных форм (ССК-5, ССК-8, ССК-22, ССК-33, ССК-58), при секреции которых не только снижается объем потребляемой пищи, но и пролонгируются временные интервалы между очередными ее приемами [20]. Пептиды ССК-8 и ССК-58, введенные интраперитонеально лабораторным крысам в больших дозах (3,6 нмоль на 1 кг массы тела), снижали количество потребляемого животными корма, вызывая быстрое чувство насыщения, а введение ССК-58, кроме того, приводило к увеличению временных интервалов между приемами пищи. Анорексигенное действие ССК опосредовано рецепторами CCKR1 и CCKR2 на афферентах вагусного нерва, через которые идет передача сигналов насыщения и сытости в ЦНС [20, 21].

У человека внутривенная инфузия гормона ССК-8 вызывала замедление скорости эвакуации содержимого желудка и стимулировала секрецию желчи и панкреатических ферментов. Секреция ССК стимулируется жирами (длинноцепочечными свободными жирными кислотами) и белками (аминокислотами) [20–22].

Другой пептид кишечного происхождения РYY, секретируемый L-клетками преимущественно толстой кишки, был обнаружен в крови в виде двух основных форм РYY(1-36) и РYY(3-36), из которых доминирующая форма РYY(3-36) образуется в результате посттрансляционной модификации – путем отщепления концевых остатков тирозин-пролина от пептида при действии дипептидилпептидазы IV [23].

Гормон РYY(3-36) освобождается из L-клеток пропорционально калорийности пищи и сохраняется в течение нескольких часов в достаточно высокой концентрации. Секреция гормона стимулируется как жирными кислотами, так и белками пищи. При повышении секреции РYY, как и других кишечных пептидов, в гипоталамус посылается сигнал сытости, тогда как снижение уровня гормона сигнализирует о необходимости в приеме пищи [24].

Установлено, что РYY(3-36) связывается с наивысшей аффинностью с рецептором Y2R дугообразного

ядра гипоталамуса, подавляя синтез NPY и ингибируя аппетит и потребление пищи. PYY(3-36) обладает наивысшим сродством к гипоталамическому рецептору Y2R. Анорексигенное действие PYY(3-36) отсутствует у мышей, нокаутных по Y2R, а также блокируется антагонистами данного рецептора, и такие животные страдают гиперфагией. Гормон связывается и с другими Y-рецепторами (Y1, Y4–Y6), но с меньшей аффинностью, в отличие от PYY(1-36), способного связываться со всеми Y-рецепторами. Полагают, что анорексигенный эффект PYY(3-36) индуцируется также через рецепторы на афферентах вагусного нерва [24, 25].

Гормон способствует снижению желудочной и панкреатической секреции, секреции желчного пузыря, замедлению скорости эвакуации содержимого желудка и увеличению времени транзита кишечного химуса за счет участия в механизме «подвздошного тормоза». У человека инфузия PYY(3-36) в постпрандиальных концентрациях приводила к снижению количества потребляемой пищи на 33% в течение суток [23, 25].

Гормональные пептиды GLP-1 и окситомодулин – продукты гена препроглюкагона – секретируются L-клетками кишечника, α -клетками поджелудочной железы и нейронами, локализованными в стволе головного мозга и в ядрах гипоталамуса. Наибольшее количество GLP-1 синтезируется в подвздошной и толстой кишке, что предполагает участие гормона наряду с PYY, CCK и грелином в «подвздошном тормозе», активация которого приводит к замедлению опорожнения желудка и продвижения химуса в проксимальном отделе кишечника, обеспечивая его более длительное нахождение в люминальном пространстве, что стимулирует секрецию кишечных гормонов.

Данные пептиды подвергаются посттрансляционным преобразованиям в зависимости от места синтеза их предшественника (под действием конвертаз 1 и 2). Полупериод жизни GLP-1 при циркуляции составляет ≈ 2 мин, после чего пептид подвергается ферментативной деградации под действием дипептидилпептидазы IV. Выявлены 2 биологически активные формы гормона: GLP-1(7-37)-амид и GLP-1(7-36)-амид. Из-за их быстрой энзиматической деградации не представляется возможным использовать гормон в фармацевтических целях, в частности при инъекциях. В этой связи актуальна задача создания аналогов гормона, обладающих более длительным полупериодом жизни, или миметиков, устойчивых к действию дипептидилпептидазы IV, или ингибиторов этого фермента (глиптинов) [26].

Влияние GLP-1 на потребление пищи происходит через взаимодействие с рецепторами GLP-1R, обнаруженными как на периферии, так и в ядрах гипоталамуса, а также паракринным путем. Уровень GLP-1 в плазме крови у человека в течение примерно 2 ч после приема пищи повышается в 2–3 раза по сравнению с уровнем натощак. Среди триггеров секреции GLP-1 выявлены углеводы – наиболее сильные стимуляторы секреции, аминокислоты и короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК) [27, 28].

Пептид GLP-1, как инсулинотропный инкретин, вовлечен в процессы поддержания гомеостаза глюкозы: участвует в стимуляции синтеза и секреции инсулина по глюкозозависимому механизму, пролиферации β -клеток поджелудочной железы, контроле синтеза гликогена в мышечных клетках, в ингибировании секреции глюкагона и соматостатина [26, 29].

Полагают, что сниженная секреция GLP-1 может привести к развитию ожирения, а чрезмерно усиленная секреция гормона может быть ответственна за постпрандиальную гипогликемию. У тучных людей, которым перед очередным употреблением пищи подкожно вводили рекомбинантный препарат rGLP-1 (76 нмоль, или в дозе 8 нмоль на 1 кг массы тела, 4 раза в сутки за 30 мин до еды, 5 сут), обнаружили сокращение количества употребляемой пищи на 15% при каждом ее приеме [27]. Гормон способствует повышению растяжения стенок желудка и замедлению скорости эвакуации содержимого, снижению секреции желудочного сока, что приводит к ограничению чрезмерного потребления пищи [14, 28]. Внутривенная комбинированная инфузия синтетических гормонов GLP-1(7-36) и PYY(3-36) лицам с нормальной массой тела приводила к снижению количества потребляемой пищи [26, 27, 30].

Таким образом, гормональные пептиды влияют на формирование пищевой мотивации через механизм взаимосвязи ЖКТ, жировой ткани и областей мозга (ось «кишечник–мозг») посредством гуморальных, нейроэндокринных и паракринных сигналов [3, 4]. Данные гормоны и их рецепторы представляют собой мишени не только для фармакологического, но и для пищевого воздействия. В этой связи такие важные компоненты пищи, как ПВ, обладающие широким спектром физиологических эффектов, представляют интерес в качестве возможных пищевых стимулов, способных влиять на секрецию гормональных пептидов.

Механизмы действия пищевых волокон в желудочно-кишечном тракте

Согласно Пищевому кодексу ФАО/ВОЗ, к ПВ относят углеводные полимеры, состоящие из 10 и более мономерных единиц, которые не гидролизуются пищеварительными ферментами в тонкой кишке человека, но полностью или частично ферментируются симбиотной микрофлорой толстой кишки [31]. Ряд олигосахаридов, фруктоолигосахаридов и резистентный крахмал также не гидролизуются в тонкой кишке человека и физиологически имеют много общего с ПВ.

Часть ПВ в растительных продуктах является некрахмальными не утилизируемыми полисахаридами (НПС) и представляет собой структурные элементы стенок растительных клеток и компоненты, поддерживающие строение, прочность и функции тканей растений. Организм человека не обладает набором эндогенных ферментов, способных гидролизовать β -гликозидные связи

в молекулах НПС. Кроме того, из-за крупных размеров молекул эти биополимеры не абсорбируются в верхних отделах ЖКТ.

В зависимости от растительного источника и химической структуры макромолекул НПС обладают разнообразными биологическими и физико-химическими свойствами, в первую очередь растворимостью, вододерживающей способностью, набухаемостью, вязкостью, гелеобразованием и способностью к ферментации в толстой кишке под действием симбиотной микрофлоры.

Растворимые в воде ПВ содержатся в основном в овощах, фруктах, ягодах, зелени, бобовых и др. К этим ПВ относятся пектиновые вещества, камеди, слизи, инулин, альгиновая кислота, каррагинан, β -глюканы, псиллиум, растворимые фракции гемицеллюлозы и другие НПС, своеобразными свойствами которых являются способность к гидратации и ферментируемость, а некоторые из них могут образовывать вязкие растворы или гели. Нерастворимые в воде ПВ представлены целлюлозой, резистентным крахмалом, гемицеллюлозами и лигнином. Данные ПВ впитывают воду за счет заполнения пустых пространств волокнистой структуры, набухают, но не образуют вязкие гелеобразные растворы. Источниками этой категории ПВ являются преимущественно зерновые.

Среди ПВ различают полностью ферментируемые кишечной микрофлорой НПС, частично ферментируемые и не ферментируемые – природный полимер лигнин [32].

Многочисленными исследованиями показано, что ПВ оказывают существенное влияние на важнейшие стадии пищеварения и усвоения пищи. Судя по приведенным в литературе данным, не все НПС из гетерогенной группы ПВ способствуют снижению потребления энергии, снижению аппетита и избыточной массы тела. Функциональность ПВ определяется их химической структурой, физико-химическими свойствами, а также вовлечением их в определенные физиологические и биохимические процессы. На физиологическую активность ПВ могут повлиять способы обработки растительного сырья, способы выделения и очистки волокон, а также использование ПВ в виде изолированных волокон или в виде функционального ингредиента. Имеют значение соотношение растворимых/нерастворимых ПВ в пище, количество и продолжительность потребления ПВ, а также индивидуальные характеристики и метаболические особенности макроорганизма.

Вязкость растворимых ПВ, образующих гидроколлоидные растворы и гели в ЖКТ, – одна из основных причин, замедляющих процесс пищеварения. Набухая в пищеварительном тракте и образуя гелевый матрикс, вязкие ПВ способствуют увеличению объема пищи и механическому растяжению стенок желудка и кишечника. Механо- и хеморецепторы этих отделов ЖКТ активируют вагусные афферентные нейроны, посредством которых передается сигнал в ЦНС о более раннем возникновении ощущения насыщения, способствуя при этом снижению аппетита и формированию более длительного чувства сытости после еды [33].

Вязкие растворимые ПВ модулируют скорость транзита кишечного химуса, замедляют транспорт, диффузию и абсорбцию нутриентов, что влияет на частоту приема пищи, обеспечивая позитивный эффект на сытость [32]. Под действием вязких ПВ пролонгируется кишечная фаза переваривания, изменяются пре- и пост-абсорбтивные сигналы. Ограничивается доступ нутриентов к стенкам кишечника, ферментов – к субстратам, ингибируются пищеварительные ферменты, замедляется транспорт и абсорбция глюкозы, снижаются гликемический и инсулиноотропный отклики, активируется механизм «подвздошного тормоза», индуцируются гормональные эффекты [32, 33]. Водонерастворимые ПВ увеличивают объем пищи и, не оказывая существенного влияния на скорость всасывания пищевых веществ, механически стимулируют секрецию слизи, влияют на перистальтику кишечника, увеличивают объем стула [1, 3].

ПВ изменяют текстуру пищи, обуславливая более длительное пережевывание, вызывающее повышенную продукцию слюны и желудочного сока. Более длительное нахождение пищи за счет удержания воды в желудке (индуцируются сигналы насыщения) и в кишечнике способствует более раннему формированию чувства сытости. Благодаря измененным текстурным свойствам в желудке задерживаются пищевые частицы большего размера по сравнению с частицами рафинированной пищи, в результате чего формируется иллюзорное ощущение гораздо большего употребленного количества еды и сенсорное чувство насыщения. Так, твердые фруктовые или овощные плоды, употребленные перед основным приемом пищи, вызывают более раннее насыщение и сытость и снижают аппетит по сравнению с потреблением соков и пюре из этих же плодов [34, 35].

Существенное влияние на регуляцию аппетита и поддержание массы тела оказывает кишечная микробиота. Толстая кишка человека и животных обладает высокой плотностью колонизации различными симбиотными микроорганизмами с преобладанием анаэробных сахаролитиков (*Bacteroides*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Bifidobacterium* и др.), способных деградировать многие НПС. Разнообразие видов бактерий в кишечнике и их соотношение в составе микробиома зависят от характера питания, от генетических особенностей индивидуума, от факторов внешней среды. Полагают, что ПВ селективно стимулируют рост и активность одних видов бактерий, ограничивая рост других. В толстой кишке человека доминируют филумы *Firmicutes* и *Bacteroidetes* (до 90% от общего количества всех представителей микрофлоры) [36].

Обсуждается возможная корреляция между ожирением и соотношением *Firmicutes* и *Bacteroidetes* в толстой кишке [37]. В опытах на мышах было показано, что у тучных животных выявлена высокая численность популяции *Firmicutes* с одновременной меньшей численностью *Bacteroidetes*. «Подселение» мышам-гнотобионтам кишечной микрофлоры от особей с ожирением способствовало накоплению жировой массы и повышению массы тела у гнотобионтов при равном количестве

съемного животными стандартного корма. Полагают, что у гнотобиотических мышей при употреблении пищи блокируется сигнал обратной связи через ось «кишечник–мозг», приводя к гиперфагии и чрезмерному аппетиту [38]. Состав микрофлоры у тучных людей также отличается от микрофлоры лиц с нормальной массой тела: численность микроорганизмов *Bacteroidetes* у лиц с избыточной массой снижена на фоне повышенного количества *Firmicutes*, лучше извлекающих энергию из потребляемой пищи. У здоровых лиц с нормальной массой тела, наоборот, наблюдается сдвиг соотношения филумов в сторону преобладания *Bacteroidetes* [39]. Разнообразное питание с включением продуктов растительного происхождения изменяет качественный и количественный баланс микробиоты в сторону оздоровления, что может быть ключевым моментом в контроле над аппетитом и массой тела посредством ПВ.

В механизмах регуляции потребления пищи огромную роль играют конечные продукты ферментации ПВ – КЦЖК и их соли. У здоровых индивидуумов при физиологических условиях КЦЖК обнаруживаются в достаточно высоких концентрациях в проксимальной части толстой кишки, со снижением в дистальной части. Интралюминальная концентрация КЦЖК у человека составляет в среднем около 100 ммоль/л и включает ацетат ~60%, пропионат ~20–25% и бутират ~15–20%, однако их соотношение варьирует в зависимости от питания, состава микробиома, места ферментации и генотипа индивидуума. Являясь энергетическим ресурсом, КЦЖК обладают широким диапазоном полезных системных и локальных эффектов в организме, в том числе в ЖКТ: влияют на трофику слизистой оболочки, подавляют размножение болезнетворных бактерий, улучшают защитный барьер кишечника, увеличивают толщину муцинового слоя кишечной слизистой, снижая скорость абсорбции нутриентов [36, 40].

КЦЖК влияют на L-клетки с помощью различных механизмов: ингибирования ядерной гистондеацетилазы, изменяя транскрипцию экспрессии генов, контролирующей синтез гормональных пептидов, активации сопряженных с G-белком рецепторов, экспрессируемых на эндокринных клетках ЖКТ, изменения метаболизма ассоциированных транспортеров. Активируя на L-клетках кишечника рецепторы GPR41/FFAR3 и GPR43/FFAR2, КЦЖК стимулируют синтез и секрецию GLP-1 и PYY, усиливающих инкретиновый эффект (снижение глюкозы крови, повышение уровня инсулина), подавляя чувство голода. КЦЖК активируют также локализованные вдоль кишечного тракта рецепторы, реагирующие на свободные жирные кислоты (ненасыщенные средне- и длинноцепочечные), в результате чего в гипоталамус также поступает сигнал о синтезе и высвобождении GLP-1 и PYY [28, 41, 42]. Кроме того, гистологическими и электрофизиологическими методами показано, что в дистальной части слизистой тонкой и толстой кишки и адипоцитах у человека и экспериментальных животных под влиянием КЦЖК активируются рецепторы, экспрессируемые на афферентных волокнах

вагусного нерва. В опытах *in vitro* на культуре клеток слизистой оболочки и в опытах *in vivo* показано, что у нокаутных мышей с отсутствием этих рецепторов при проведении процедуры инфузии растворами КЦЖК высвобождение данных гормонов нарушено [43]. Проникая через кишечный эпителий в кровоток, КЦЖК как эндогенные сигнальные молекулы влияют на секрецию аппетит-регулирующих гормонов и отдельных нейротрансмиттеров [43, 44].

Индивидуальные продукты ферментации ПВ оказывают влияние на секрецию гормональных пептидов. Показано, что под действием пропионата (с наивысшей аффинностью к FFAR2) через механизм связи между КЦЖК и перистальтикой кишечника у грызунов и человека повышается секреция анорексигенных пептидов GLP-1 и PYY. Повышение концентрации пропионата в толстой кишке предотвращает прибавку массы тела у людей с избыточным весом. Ацетат, способный проникать через ГЭБ, вызывает активацию нейронов гипоталамуса, что приводит к более быстрому насыщению, длительному ощущению сытости и угнетению аппетита [45]. Имеется и противоположное мнение: ацетат у грызунов способен активировать парасимпатическую нервную систему и промотировать повышенную секрецию грелина и глюкозостимулируемого инсулина, способствуя гиперфагии. Бутират вызывает снижение аппетита, влияя на регуляцию экспрессии гена лептина в адипоцитах, повышая толерантность к глюкозе [45, 46].

Таким образом, ПВ влияют на моторику ЖКТ, изменяют реологические свойства желудочно-кишечного содержимого и абсорбцию нутриентов, состав кишечной микробиоты и соотношение продуктов ферментации и посредством КЦЖК участвуют в стимуляции гормональных рецепторов. Данные механизмы действия ПВ опосредованно вовлечены в индукцию сигналов, модулирующих секрецию аппетит-регулирующих гормонов.

Влияние пищевых волокон на секрецию гормонов желудочно-кишечного тракта

ПВ, отличающиеся по химической структуре и физико-химическим свойствам, по-разному влияют на секрецию пептидных гормонов, вовлеченных в механизмы регуляции аппетита. Позитивный эффект на секрецию ключевых пептидных гормонов зависит от оптимального количества и продолжительности потребления ПВ.

β-Глюканы злаков являются растворимыми, вязкими и высокоферментируемыми ПВ, найденными в составе клеточных стенок эндосперма зерновок ячменя, овса, ржи, пшеницы, кукурузы, риса, сорго, составляют от 3 до 4,5% от общей сухой биомассы зерна. Данные НПС позитивно влияют на липидемический и гликемический контроль.

Эффект β-глюканов анализируют при использовании их либо в виде изолированных НПС или функциональных ингредиентов, либо в составе натуральных продуктов. Действие β-глюканов зависит от источника и моле-

кулярной массы, обуславливающих вязкость, а также от употребленного количества ПВ. Полагают, что для достижения эффекта на постпрандиальную секрецию гормонов, а также на сытость и массу тела необходимо потребление β -глюканов в диапазоне 4–6 г, которое будет оказывать свое влияние как минимум в течение 4 ч после очередного приема пищи [47, 48].

Физиологический эффект β -глюкана ячменя (0,6 и 2% в диете, 12 нед) наблюдали на модели мышей с ожирением, индуцированным высокожировым рационом, содержащим ячменную муку. У животных при потреблении корма с 2% β -глюкана регистрировали снижение скорости эвакуации содержимого желудка, замедление транспорта и абсорбции нутриентов за счет повышенной вязкости желудочно-кишечного содержимого. Было выявлено изменение состава микробиоты, повышение количества КЦЖК, особенно бутирата, которые промотировали через рецепторы GPR-41/FFAR3 и GPR-43/FFAR2 повышенную секрецию GLP-1 и PYY. У животных, содержащихся на рационе с 2% β -глюкана, уровни обоих гормональных пептидов повысились на 60–70% по сравнению с контролем на фоне снижения лептина (на $\approx 20\%$). Кроме того, наблюдали снижение постпрандиального уровня глюкозы (как за счет вязкости химуса, так и снижения активности α -амилазы), улучшение чувствительности к инсулину, а также снижение приема пищи на 20–25% и массы тела. Авторы не исключают вовлечения кишечных гормонов (триггером могли выступать липиды) в механизм «подвздошного тормоза» – дополнительного фактора, вносящего вклад в формирование чувства насыщения и сытости [49].

К аналогичным выводам пришли авторы, исследовавшие влияние β -глюкана из хлопьев овса (0,7; 3,5 и 7% в течение 6 нед) на суточное потребление энергии и формирование чувства сытости у мышей с ожирением, индуцированным высокожировым рационом. Была установлена позитивная корреляция между уровнем PYY3-36 и дозами β -глюкана (средней и высокой): уровень гормона в плазме натошак ($26,46 \pm 1,33$ пМ/л) повышался при наивысшей дозе на 36% по сравнению с таковым у животных, потреблявших рацион с низкой дозой, и контролем (рацион без β -глюкана). При высокой дозе β -глюкана уровень PYY3-36 возрастал на 47% на фоне снижения приема пищи на 13% в течение суток, при этом у тучных мышей по сравнению с контрольными было зафиксировано снижение экспрессии в аркуатном ядре гипоталамуса мРНК NPY на 35%. Усиление чувства сытости, как считают, опосредовано через активацию β -глюканом кишечно-гипоталамического анорексигенного пути – оси «PYY3-36–NPY» [50].

Эффект β -глюкана был проверен на здоровых добровольцах, употреблявших хлеб, обогащенный ячменным β -глюканом (3% ПВ, 16 нед). При потреблении продукта у обследуемых фиксировали более быстрое снижение чувства голода и ощущение более раннего наступления сытости, обусловленных тоническими сигналами, индуцированными растяжением стенок желудка. Данные субъективные ощущения были подтверждены регистра-

цией показателей, указывающих на снижение секреции грелина (снижение площади под кривой «концентрация–время» AUC 0–120 мин на 23%), к которому могло привести замедление скорости освобождения желудка, обусловленное ПВ [51]. Кроме того, в другой работе наблюдали повышение концентрации PYY (повышение площади AUC 0–120 мин на 16%), при этом на 19% снижалось потребление энергии во время обеда по сравнению с показателями у добровольцев при потреблении хлеба без добавки ПВ. Авторы заключили, что эффект сытости был опосредован гормонами и способствовал краткосрочному контролю над аппетитом [52]. При употреблении β -глюкана овса здоровыми женщинами (от 2,16 до 5,45 г на порцию еды) наблюдали постепенное в течение 2 ч повышение в плазме крови уровня ССК наряду с возникающим субъективным чувством сытости уже при употреблении 2,2 г ПВ. В зависимости от количества потребленного ПВ фиксировали повышение постпрандиальной секреции PYY с наивысшим пиком в первые 2 ч и снижение секреции инсулина. При потреблении здоровыми лицами с избыточной массой тела 3 видов зерновых, содержащих в разных количествах β -глюкан (2,2 и 5,5 г на прием пищи, $n=40$), был отмечен более высокий уровень PYY в плазме через 4 ч после приема пищи с большим количеством ПВ [52, 53].

Было проанализировано действие напитков, обогащенных разными ПВ (3 г β -глюкана из ячменя или 2,5 г ПВ из фруктов на порцию 250 мл), через 3 ч после их потребления участниками эксперимента. Оказалось, что оба напитка усиливали чувство сытости, но только употребление напитка с β -глюканом приводило к снижению суточного потребления энергии на 18–40%. Кроме того, напитки с ПВ вызывали снижение концентрации в крови грелина: с β -глюканом – на 8,1%, с фруктовыми ПВ – на 8,9%. Однако угнетение секреции грелина при употреблении напитков с фруктовыми ПВ было недостаточным для снижения потребления энергии. Обогащенные ПВ напитки вызывали изменение откликов и других гормонов, в частности при употреблении напитка с β -глюканом у обследуемых наблюдали повышение содержания гормона РР на 34,6% и улучшение постпрандиального метаболизма глюкозы. Позитивный эффект вязкого β -глюкана на сытость авторы связали с подъемом уровня гормонов, снижающих аппетит [53].

Инулин является важнейшим запасным углеводом, накапливается в корнях и луковицах многих растений (цикорий, топинамбур, артишок, девясил, лук, чеснок и др.). В результате частичного ферментативного гидролиза инулина получают фруктаны с короткой цепью (<10 единиц) – фруктоолигосахариды (олигофруктоза, ФОС). Фруктаны инулинового типа в зависимости от степени полимеризации являются либо растворимыми, либо нерастворимыми ПВ.

Инулины не обладают адсорбирующими и гелеобразующими свойствами, но хорошо ферментируются микробиотой толстой кишки до КЦЖК, газов и молочной кислоты. Потребление инулина модулирует состав микробиома в толстой кишке, снижая отдельные виды

Firmicutes и стимулируя рост *Bacteroides* spp., особенно популяции *Bifidobacterium* spp., играющей ключевую роль в ферментации инулина. Продукты ферментации инулина способствуют благоприятным изменениям кишечной слизи, индуцируя формирование более высоких микроворсинок и более глубоких крипт, а также более плотный муциновый слой в толстой кишке. Фруктаны инулинового типа, включенные в рационы, влияют на промоторы дифференцировки клеток кишечного эпителия нейрогенин 3 и нейро D, что приводит к увеличению количества L-клеток [54].

Включение инулина (7,5%, 2 и 14 нед) в высокожировой рацион мышам дикого типа и их сородичам с нокаутом рецепторов FFAR2 в 1,5 раза повышало концентрацию PYY (84,9±19,3 пмоль/л) в крови мышей дикого типа по сравнению с уровнем гормона у контрольных животных (54,7±17,0 пмоль/л), получавших стандартный рацион без инулина. Подъем концентрации PYY у нокаутных животных оказался незначительным. На культуре кишечной ткани у мышей дикого типа, содержащихся на рационе с инулином, было выявлено увеличение популяции *Bifidobacterium* spp. и увеличение в эпителии толстой кишки количества и плотности распределения новых эндокринных клеток. Повышение количества секретирующих PYY L-клеток на 87% повлекло за собой повышение секреции PYY на 127%, а повышение количества L-клеток, секретирующих GLP-1 на 73%, повысило концентрацию GLP-1 на 54% по сравнению с уровнем у животных на рационе без инулина. Полагают, что продукты ферментации инулина активируют рецепторы GPR43/FFAR2 на апикальных мембранах L-клеток. Повышенная секреция PYY, индуцированная продуктами ферментации инулина, подавляла через орексигенные нейроны аркуатного ядра гипоталамуса продукцию NPY и AgRP. Повышение уровня GLP-1 не зависело от данных рецепторов и происходило за счет увеличения количества GLP-1-секретирующих L-клеток. За счет инкретинового эффекта GLP-1 наблюдали улучшение гомеостаза глюкозы, что вызывало снижение потребления пищи, аппетит и массу тела на ~20% у животных дикого типа. Влияние продуктов ферментации инулина на клеточную дифференцировку благоприятствовало большей реализации потенциала PYY [55].

У лабораторных крыс при внесении в стандартную диету ФОС (10 г ФОС на 90 г корма, 4 нед) была выявлена повышенная концентрация GLP-1(7-36) в плазме и повышенная в 2 раза секреция гормона в проксимальной части толстой кишки на фоне уменьшения количества потребляемой пищи, снижения аккумуляции массы жира и прибавки массы тела. Этот эффект был также отнесен к двойному увеличению количества эндокринных L-клеток в слизистой кишки под влиянием ФОС. Авторы предположили, что конечные продукты ферментации ФОС были вовлечены в модуляцию метаболизма клеток слизистой толстой кишки, а также оказывали позитивное влияние на экспрессию гена проглюкагона. Эти наблюдения были подтверждены исследованиями *in vitro* на культуре клеток кишечного эпителия, а также

при инфузии толстой кишки бутиратом, рассматриваемым в качестве ключевого регулятора дифференциации кишечных клеток [56, 57].

Включение ФОС (10% w/w, 7 нед) в рацион экспериментальным животным с нормальной массой тела и мышам с генетически обусловленным ожирением и ожирением, индуцированным высокожировым рационом, вызывало повышенную экспрессию гена проглюкагона в проксимальной части толстой кишки, обусловившую повышенный уровень GLP-1 в портальной вене, что привело к улучшению гомеостаза глюкозы и чувствительности к лептину, снижению аккумуляции жира и прибавки массы тела. Примечательно, что у крыс, содержащихся на высокожировом рационе, при употреблении ФОС было обнаружено снижение активности фермента дипептидилпептидазы IV (деградирующего GLP-1), что также способствовало более высокому уровню в крови экспериментальных животных данного короткоживущего гормона [54]. При употреблении фруктанов разной степени полимеризации (10 г на 100 г корма, 3 нед) в экстрактах сегментов ткани кишечника и в сыворотке крови лабораторных крыс было обнаружено повышение уровня GLP-1(7-36)-амида на 45% и снижение уровня циркулирующего грелина на 25–30% по сравнению с контролем (стандартная диета) [58].

Аналогичным экспериментом на крысах, потреблявших ФОС (10% w/w, 4 нед) показано, что на фоне повышения в 1,91 раза концентрации КЦЖК в толстой кишке уровни гормональных пептидов также повышались: GLP-1 – в 3,2 и PYY – в 3,1 раза. В содержимом слепой кишки был обнаружен более высокий уровень сукцината и бутирата и относительно низкий – ацетата и пропионата по сравнению с контрольной группой. У крыс, получавших с кормом ФОС, была увеличена экспрессия гена *ffar2* в клетках дистальной части подвздошной кишки. Эти изменения за счет повышенной секреции анорексигенных пептидов привели к снижению количества потребляемой пищи на 17%, массы общего жира тела – на 35% и уменьшению прибавки массы тела на 37% по сравнению с контрольной группой животных [59]. При внесении в рацион крыс фруктанов (5%, 4 нед) из зерна ячменя и стеблей пшеницы в крови у экспериментальных животных наблюдали повышение уровня PYY и GLP-1 в 2 раза, при этом уровень лептина в плазме оставался близким к контролю, несмотря на то что масса жира снизилась на 20% по сравнению с контролем [60].

Существует мнение, что фруктаны в малых дозах (<10 г/сут) не влияют у человека на аппетит и сытость. Позитивный эффект может быть замечен только при потреблении ФОС в более высоких дозах (>16 г/сут) и при более продолжительном времени употребления (12–16 нед). Показано, что ежедневное употребление здоровыми лицами 16 г ФОС в течение 13 дней способствовало поддержанию повышенной постпрандиальной концентрации PYY в плазме, что благоприятствовало ощущению сытости и снижению потребления общей энергии на 10–11% [58, 61]. Длительное потребление

ФОС (21 г/сут, 12 нед) 49 лицами с избыточной массой тела или ожирением приводило к снижению потребления энергии на 29% и снижению массы тела на $1,03 \pm 0,43$ кг (уже к 6-й неделе) на фоне улучшения регуляции уровня глюкозы. На финальный день обследования наблюдали супрессию секреции грелина и лептина (tAUC на $\approx 20-23\%$) и повышение уровня в плазме PYY (tAUC на $\approx 13\%$), без изменения секреции GLP-1 [62].

Ежедневное потребление 30 г ФОС (8 нед) 22 лицами с избыточной массой тела и ожирением приводило к увеличению в плазме концентрации пропионата и бутирата, к подавлению аппетита и снижению потребления пищи на 12,9%, без изменения массы тела и жира у обследуемых. Со стороны гормонов регистрировали повышение концентрации PYY (на $\approx 25\%$) и незначительное повышение GLP-1 [63]. Аналогичные результаты были получены при ежедневном потреблении здоровыми лицами этой добавки (30 г, 2 нед или 35 г и более, 5 нед), вызвавшей снижение уровня глюкозы в крови, повышение секреции PYY и снижение уровня грелина [64]. Прием ФОС + пектин (15 г и 30 г/сут, 3 нед) приводил у здоровых и с избыточной массой лиц к снижению потребления энергии в зависимости от дозы на 6,6 и 10,4% по сравнению с контролем. Полагают, что комбинация этих ПВ вызывала сытость за счет растяжения стенок желудка и замедления освобождения его содержимого, действия КЦЖК на рецепторы L-клеток GPR43/FFAR2 и GPR41/FFAR3, что индуцировало повышенную продукцию аппетит-регулирующих пептидов [65].

Пектины – высокомолекулярные гетерополисахариды, присутствующие во всех наземных растениях и в ряде водорослей. Особенно много пектинов во фруктах, корнеплодах, ягодах. Физико-химические и функциональные свойства пектина определяются степенью полимеризации макромолекул и метилэтерификации карбоксильных групп остатков α -D-галактуроновой кислоты основной углеводной цепи – гомогалактуронана.

Пектин – высокоферментируемый субстрат для микрофлоры толстой кишки, оказывающий благотворное влияние на кишечную микробиоту и обладающий выраженными сорбционными свойствами. Данный НПС обладает локальным и системным действием, в том числе гипогликемическим и гиполипидемическим. Физиологический эффект пектина в ЖКТ связан с высокой вязкостью и способностью волокна к образованию гелеобразной субстанции, что оказывает влияние на скорость эвакуации содержимого желудка, время кишечного транзита и на абсорбцию нутриентов [66].

В экспериментах на крысах с ожирением было исследовано влияние яблочного пектина (ЯП), добавленного в высокожировые рационы с высоким и низким содержанием белка (белок гороха и казеин молока). При включении ЯП (10% корма, 4 нед) в рационы, содержащие белки, у животных фиксировали более раннее формирование чувства сытости, что приводило к снижению на 23% количества потребляемой пищи, а также к снижению на 12% массы тела и на 44% общей массы жира. В плазме крови у животных, содержав-

шихся на высокожировом рационе с включением ЯП, обнаружили повышенный уровень PYY (168%), общего GLP-1 (151%), а также сниженный уровень лептина плазмы на 62%. При потреблении корма с ЯП и белком гороха уровень лептина снижался на 38%, а при добавлении казеина эффект отсутствовал. На пектинсодержащем рационе одновременно повышались концентрации ацетата (123%) и пропионата (118%). Высокое содержание ЯП в составе рациона в сочетании с высоким содержанием белка оказалось более эффективным для повышения сытости у животных, а также для снижения в плазме крови концентрации липидов и инсулина по сравнению с высокобелковым рационом без добавления ЯП [67].

Включение ЯП (3,3, 6,7 и 10% w/w, 4 нед) в стандартный рацион крыс с 5% целлюлозы (контроль) вызывало у животных не только дозозависимые эндокринные изменения, связанные с повышением финального уровня в плазме GLP-1 и PYY в 2,6 и 3,0 раза по сравнению с контролем, но и морфологические изменения слизистой кишки (гипертрофию слизистой оболочки, увеличение высоты и глубины крипт) уже на 8-й день эксперимента с сохранением эффекта до 4 нед. При «пектиновом» рационе у животных регистрировали большее количество *Bacteroides* и более высокое (почти в 2 раза) содержание в толстой кишке КЦЖК, которые активировали L-клетки, стимулируя секрецию гормонов сытости. Одновременно регистрировали снижение потребления пищи на 19%, массы жира – на 42% и прибавки массы тела – на 45%, как полагают авторы, еще и за счет снижения скорости опорожнения желудка, обусловленной вязкостью ПВ [67, 68].

Гуаровая камедь (гуаровая смола, камедь гуарового дерева) экстрагируется из эндосперма семян бобовых (индийская фасоль, индийская акация, гороховое дерево, *Cyamopsis tetragonolobus*); 85% гуаровой камеди представляет собой водорастворимый НПС, при растворении которого образуется высоковязкий гель благодаря высокой молекулярной массе до 200–300 кДа. Раствор гуаровой камеди в воде имеет самую высокую вязкость среди природных полисахаридов, лучшую биоразлагаемость и широко используется в качестве пищевой добавки E412.

У лабораторных крыс, содержащихся на рационе с гуаровой камедью (5% w/w, 21 сут), в слепой кишке было обнаружено 3-кратное повышение содержания КЦЖК, а в крови – повышенное содержание GLP-1 и PYY в $\approx 2,7$ раза по сравнению с показателями контрольных животных. Полагают, что повышенные концентрации GLP-1 и PYY обусловлены или стимулирующим действием КЦЖК на L-клетки, или индуцированным повышением их количества. Была выявлена позитивная корреляция между содержанием в слепой кишке КЦЖК и массой кишечной ткани. Гуаровая камедь в тонкой кишке формирует вязкую среду, замедляющую транзит нутриентов, усиливая сытость и снижая потребление пищи. Постпрандиальная повышенная секреция гормонов могла быть также следствием пролонгированного

транзита нутриентов в полости подвздошной кишки (вовлечение в «подвздошный тормоз») и нервных импульсов от эндокринных L-клеток [69].

Гуаровое волокно представляет собой растворимое невязкое волокно, полученное в результате контролируемого частичного ферментативного гидролиза гуаровой камеди. Химическая структура гуарового волокна и гуаровой камеди сходна, различие состоит лишь в меньшей длине основной цепи волокна со средней молекулярной массой ≈ 20 кДа. Гуаровое волокно по сравнению с другими ПВ ферментируется медленно, в течение более длительного времени, обеспечивая выраженный пребиотический эффект.

При включении гуарового волокна в состав диет (2,5 и 6 г на порцию еды, 2 нед) у лиц с нормальным индексом массы тела и с ожирением было обнаружено большое количество бутирата и пропионата в толстой кишке в результате длительно протекающей ферментации волокна. КЦЖК влияли на время транзита остатков пищи в толстой кишке и оказывали стимулирующее действие на L-клетки, вызывая повышенную секрецию ССК, что обеспечивало длительное ощущение сытости (более чем на 4 ч), приводило к снижению аппетита и снижению на 20% потребления калорий обследуемыми лицами [70].

Псиллиум – общее название, используемое для обозначения волокон, получаемых из растений рода *Plantago*. В высушенных и измельченных оболочках семян растений *P. ovate* и *P. psyllium* содержится наибольшее количество растворимых ПВ. Псиллиум является гелеобразующим волокном, в составе которого гелеобразующая фракция В составляет 85%; фракция остается в виде геля и в толстой кишке. Данное ПВ обладает высокой вододерживающей способностью на протяжении всего ЖКТ и низкой способностью к ферментации бактериальными штаммами толстой кишки человека.

Экспериментальным мышам в рацион с высоким содержанием жира был добавлен псиллиум (10% w/w, 12 нед), в результате чего в плазме крови животных был выявлен повышенный в 2 раза уровень GLP-1, сниженные на 70–75% уровень лептина сыворотки и на 25–30% содержание мРНК грелина по сравнению с контролем. Одновременно, начиная с 4 нед, регистрировали снижение уровня глюкозы натощак и повышающуюся чувствительность к инсулину на фоне снижения массы тела и массы жира у животных [71].

На молодых добровольцах ($n=16$) с нормальной массой тела было исследовано действие псиллиума, добавленного в изокалорические диеты, сбалансированные по основным макронутриентам. Псиллиум и белок сои были включены в диеты в разных количественных соотношениях: а) 7,6/2,8 г; б) 6,2/19,7 г; в) 23/2,6 г; г) 23/18,4 г. После потребления пищи, содержащей низкое количество белка и различное количество ПВ, в плазме крови была выявлена повышенная концентрация GLP-1 на фоне постпрандиального снижения в течение 2 ч глюкозы и инсулина. Однако после потребления пищи с высоким содержанием белка и высоким

уровнем ПВ (23 г) в течение первых 20 мин у обследуемых лиц в крови обнаружили снижение уровня GLP-1 ниже исходного с постепенным возвратом в течение 2 ч к препрандиальному значению, тогда как уровень общего пула РYY, наоборот, в первые 40 мин повышался и сохранялся повышенным в течение длительного времени. Уровень грелина при потреблении аналогичной тестовой диеты также снижался в первые 40 мин с последующим возвратом к исходному. Наиболее эффективное действие псиллиума было выявлено в диапазоне доз от 7,4 до 23 г. Показатели субъективного аппетита не изменялись при наличии псиллиума в диетах, содержащих разные количества белка. Данные результаты указывают на неоднозначный эффект ПВ, который зависел от присутствия в составе рациона белка как компонента пищи, традиционно рассматриваемого в качестве эффективного стимулятора сытости [72].

Влияние псиллиума тестировали при обследовании 38 женщин (1 мес) с ожирением и избыточной массой тела, в пре- и постменопаузе. При добавлении в высокоуглеводную пищу различных ПВ (12 г) – псиллиума и целлюлозы (в соотношении 3:1) и этих же ПВ в обратном соотношении (1:3), обнаружили, что оба ПВ в составе рациона в совокупности вызывали более ощутимое чувство сытости по сравнению с контролем. Оказалось, что при добавлении псиллиума в пищу подавление голода происходило более эффективно, чем при внесении целлюлозы, добавление которой вызывало более сильное чувство растяжения желудка без изменения концентрации ССК в крови. При приеме псиллиума концентрация циркулирующего ССК у обследуемых первоначально даже снижалась ($1,92 \pm 0,27$ пмоль/л против контроля $3,12 \pm 0,27$ пмоль/л), что могло быть обусловлено высокой вязкостью химуса в тонкой кишке за счет растворимого ПВ. Кроме того, время транзита углеводов до подвздошной кишки продлевалось из-за образовавшегося геля, тормозящего высвобождение продуктов гидролиза жира, необходимых для стимуляции клеток, секретирующих гормон ССК в верхней трети тонкой кишки [73].

Резистентный крахмал (RS, неперевариваемый крахмал) представляет собой крахмал или продукты его гидролиза, устойчивые к воздействию амилолитических ферментов тонкой кишки человека. RS встречается в природных крахмалосодержащих источниках (клубни картофеля, бобовые, зерна кукурузы, пшеницы, риса и других растений) и может возникать в виде модифицированных форм при переработке натурального сырья. В настоящее время RS подразделяется на 4 типа – RS1, RS2, RS3 и RS4.

Резистентный крахмал используется в производстве пищевых продуктов в качестве пищевой добавки. В толстой кишке RS становится доступным субстратом для бактерий рода *Bifidobacterium* и ферментируется с образованием КЦЖК, в основном бутирата. Потребление RS ≈ 20 г/сут позитивно влияет на гликемический и инсулиновый индекс, липидный состав крови, чувство насыщения и снижение потребления энергии [74].

Влияние RS2 (30% кукурузного RS в стандартной диете, 10 нед) исследовали в эксперименте на крысах, нормальных мышах и мышах с нокаутом гена рецептора GLP-1. На процесс ферментации RS2 в толстой кишке у животных и человека требуется обычно 2–4 сут. При действии продуктов ферментации наблюдали повышение уровней GLP-1 и PYY примерно вдвое в течение суток, а также фиксировали повышение толерантности к глюкозе у мышей с экспериментальным диабетом и снижение массы жира в теле грызунов дикого типа, но при этом данные эффекты отсутствовали у мышей, нокаутных по рецептору GLP-1 [75]. Результаты экспериментов *in vitro* на культуре эпителиальных клеток слепой кишки подтвердили заключение авторов о том, что продукты ферментации RS2 стимулируют секрецию GLP-1 и PYY [75].

В экспериментах на мышах (40 самцов, 8 нед), содержащихся на высокожировом рационе с легкоперевариваемым кукурузным крахмалом и кукурузным крахмалом, содержащим 60% RS, было показано, что рацион с высоким содержанием RS способствовал снижению уровня лептина у животных почти в 2,8 раза по сравнению с животными, потреблявшими легкоперевариваемый крахмал. Примечательно, что RS оказывал влияние на морфологию и метаболизм адипоцитов. У животных, в составе рациона которых содержался легкоперевариваемый крахмал, адипоциты были крупнее и обладали более низкой чувствительностью к инсулину [76].

Ежедневное потребление (30 г, 6 нед) кукурузного RS2 с высоким содержанием амилозы (в составе мафффинов) взрослыми здоровыми лицами с избыточной массой тела ($n=18$) приводило к улучшению гомеостаза глюкозы (снижению ее уровня в крови), почти двукратному снижению концентрации лептина, при этом регистрировали повышение уровня PYY, которое авторы связали со стимуляцией секреции гормона повышенным содержанием КЦЖК в дистальной части кишечника [77]. У здоровых лиц ($n=28$), употреблявших в составе завтрака цельнозерновой ржаной хлеб с добавлением кукурузной муки, содержавшей 60% RS2, также было обнаружено повышение уровня PYY (через 120 мин после еды), обусловленное стимулирующим действием продуктов ферментации RS2 на L-клетки [78].

Альгинаты. Источником данных НПС являются бурые морские водоросли. Альгинаты, образуя гель в желудке, вызывают повышенное растяжение его стенок, торможение скорости кишечной абсорбции нутриентов, модулируя инсулиногликемический ответ, т.е. реализуют свое действие посредством физиологических механизмов, связанных с вязкостью, высокой вододерживающей способностью, длительным контактом с химусом. Несмотря на то что гель слабо ферментируется в толстой кишке, альгинаты оказывают позитивное влияние на сытость и подавляют чувство голода. Полагают, что альгинат (от 0,25 до 15 г) эффективен в контроле над аппетитом у здоровых людей, снижая калорийность пищи и субъективный аппетит, влияя на массу тела. Однако, в отличие от пектина

и β -глюканов, влияющих на секрецию гормонов сытости, эффект альгината (капсулы 405 мг, 3 раза/сут, 7 сут + по 6 капсул на 8–10-е сутки) на секрецию CCK, GLP-1 и PYY у лиц с ожирением и избыточной массой тела ($n=48$) не выявлен [79, 80].

Целлюлоза представляет собой структурный компонент стенок растительных клеток. Богатыми источниками ПВ являются зерновые и отруби, фрукты, овощи, орехи. Интерес к этому виду ПВ обусловлен его вкладом в регуляцию массы тела за счет более быстрого насыщения во время потребления пищи с грубыми волокнами и сытости после еды. Предположения о механизмах действия целлюлозы на гормоны сытости ограничены и противоречивы. Целлюлоза резистентна к биологической деградации, обладает низкой вязкостью, набухает, увеличивая объем пищи и растяжение желудка.

В экспериментах на крысах было обнаружено, что уровень PYY в крови портальной вены возрастал на 14% при внесении в корм целлюлозы (5%, 21 день), тогда как уровень GLP-1 снижался примерно на 25% по сравнению с контролем [69]. В некоторых работах, однако, показано, что внесение целлюлозы в корм крысам в количестве 10% (4 нед) не влияет на уровень данных гормонов при сравнении с аналогичными показателями контроля, содержавшего 5% этого ПВ [67]. Добавка экспериментальным мышам целлюлозы (10% w/w, 12 нед) в рацион с высоким содержанием жира не повлияла на секрецию GLP-1 и мПНК грелина, но уровень лептина в сыворотке крови оказался выше на 30% по сравнению с показателем мышей, содержащихся на высокожировой диете [71].

Ежедневное потребление 30 г целлюлозы лицами с избыточной массой тела и ожирением приводило к снижению субъективного чувства голода и аппетита и к уменьшению на 16,4% потребления энергии. Влияние этого ПВ на секрецию гормональных пептидов оказалось небольшим: уровень PYY возрастал на $\approx 10\%$, а GLP-1 – на $\approx 15\%$ [63].

Таким образом, ПВ модифицируют деятельность ЖКТ и посредством различных механизмов оказывают влияние на секрецию аппетит-регулирующих гормонов, способствующих ранним сигналам насыщения и пролонгированным сигналам сытости.

Заключение

ПВ в составе обычного рациона, обогащенных или функциональных пищевых продуктов либо в виде биологически активных добавок к пище влияют на процессы пищеварения и усвоения пищи посредством различных физиологических механизмов, в основе которых лежат биологические и физико-химические свойства ПВ: гидрофильность, вязкость, способность к гелеобразованию, ферментируемость под действием микрофлоры толстого кишечника. ПВ посредством изменения моторики ЖКТ, замедления абсорбции нутриентов в тонкой